

*Sociedad Española de Acústica*

**Acústica Ambiental:  
análisis, legislación y soluciones**



**TEMAS DE ACÚSTICA**  
Sociedad Española de Acústica



# La colección

Esta colección pretende poner a disposición de los interesados en Acústica, así como de la propia comunidad acústica, en la más amplia acepción del término, un tratamiento en profundidad y con la máxima claridad posible de los temas de actualidad relacionados con la Acústica, ya sea por razones científicas, técnicas, sociales,...

Hace ahora 40 años, fue constituida oficialmente la Sociedad Española de Acústica, SEA, como asociación sin fin lucrativo y con el principal objetivo de promover el progreso de la acústica. Consideramos que las publicaciones de la SEA, entre ellas esta colección, cumplen de manera objetiva este fin y permiten dar a conocer el gran caudal de conocimientos y experiencias adquiridas en el trabajo diario en el aula, laboratorio y empresa del cada vez más numeroso colectivo de acústicos españoles.

La presencia de la acústica se manifiesta cada día con más fuerza en aspectos que se relacionan con las más diversas y variadas actividades de la sociedad actual, por ello, todos los campos de la acústica tienen cabida en esta colección, tanto en su vertiente científica, como en la tecnológica y de aplicación.

La reciente aparición en nuestro país de diversas normativas obligatorias en el campo de la acústica, tanto ambiental como edificatoria, nos ha hecho reflexionar sobre la conveniencia de publicar algún texto que ampliase los conocimientos sobre estas materias y ha tenido como primer resultado la publicación de este nuevo volumen de la colección, en el que han participado generosamente algunos de los muchos especialistas en los diferentes campos de la acústica ambiental.

Otros títulos de la colección:

La contaminación Acústica. Fuentes, Evaluación, Efectos y Control

Autor: *Amando García Rodríguez*

*Sociedad Española de Acústica*

**Acústica Ambiental:  
análisis, legislación y soluciones**



**TEMAS DE ACÚSTICA**  
Sociedad Española de Acústica

© Sociedad Española de Acústica

ISBN: 84-87985-18-1

Depósito Legal: M-36773-2009

**Colección: Temas de Acústica**

Edita: Sociedad Española de Acústica

Web: [www.sea-acustica.es](http://www.sea-acustica.es)

e-mail: [secretaria@sea-acustica.es](mailto:secretaria@sea-acustica.es)

Coordinadores: Antonio Calvo-Manzano y Antonio Pérez-López

Editora: Ana Delgado Portela

Diseño de la portada: Teófilo Zamarreño García

Impresión: Gráficas Elisa

## Prólogo

La colección “**Temas de Acústica**” que la Sociedad Española de Acústica (SEA) inició hace tres años se enriquece en esta ocasión con un nuevo libro sobre Acústica Ambiental.

En este libro se presenta la visión global de la problemática en Acústica Ambiental y, en sus nueve capítulos, se analizan los principales aspectos relativos a la nueva legislación y a las soluciones que integran la Contaminación Acústica. Es un tema de gran actualidad, sobre todo desde la aparición de las últimas disposiciones legislativas, la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido y sus desarrollos reglamentarios, los reales decretos 1513/2003 y 1367/2007, que han establecido el campo de actuación obligatorio en materia de acústica medioambiental, y que tendrán una importante proyección futura en el desarrollo de las estructuras urbanas.

Estos reglamentos varían sustancialmente el enfoque de la prevención y gestión de la contaminación acústica en nuestro país de manera similar, por otra parte, al del resto de los países de nuestro entorno, y han generado un gran interés por el conocimiento más detallado sobre la materia y sobre las diferentes actuaciones y procedimientos para mejorar el ambiente acústico.

Por ello, la Sociedad Española de Acústica pretende poner en manos de los lectores los aspectos más fundamentales referidos a la acústica ambiental: normativas, mapas acústicos y planes de acción, urbanismo, mediciones, pantallas, pavimentos, etc.

Dado el carácter multidisciplinario de la acústica, el libro está dirigido tanto a especialistas en acústica, como a profesionales de otros campos relacionados con la acústica ambiental, a los estudiantes, y muy en especial a los alumnos de los másteres en acústica.

En el libro colaboran diversos especialistas, miembros de la SEA, que han incluido las tecnologías más recientes en cada uno de los temas específicos de su respectivo capítulo, y a los que queremos agradecer su importante contribución y su intensa dedicación.

Esperamos que esta nueva publicación de la colección “**Temas de Acústica**” suponga una importante aportación a la bibliografía en Acústica y constituya un hito en la celebración del **40º Aniversario de la Sociedad Española de Acústica – SEA –**.

# Acústica Ambiental: análisis, legislación y soluciones

## Índice

### Capítulo 1. La acústica ambiental en España. Una mirada retrospectiva.

*Amando García Rodríguez*

1.1. Introducción general .....	15
1.2. Las fuentes de contaminación acústica.....	18
1.2.1 El tráfico rodado .....	18
1.2.2. El ruido de aviones .....	21
1.2.3. El ruido de trenes.....	22
1.2.4. El ruido de industrias.....	23
1.2.5. Otras fuentes de ruido.....	24
1.3. Evaluación de la contaminación acústica .....	26
1.3.1. Características generales del ruido urbano .....	27
1.3.2. Realización de mapas sonoros en España .....	28
1.3.3. La evolución temporal de la contaminación sonora.....	30
1.4. Los efectos de la contaminación acústica.....	31
1.4.1. Efectos sobre el aparato auditivo.....	32
1.4.2. Efectos mediados por el estrés .....	32
1.4.3. Interferencia con la comunicación verbal .....	33
1.4.4. Efectos sobre la realización de tareas.....	33
1.4.5. Perturbación del sueño .....	34
1.4.6. Molestia subjetiva.....	34
1.4.7. Efectos económicos.....	37
1.5. El control de la contaminación acústica .....	38
1.5.1. Medidas técnicas de control .....	39
1.5.2. Medidas administrativas de control.....	41
1.6. Bibliografía.....	42

### Capítulo 2. Aplicación de la Ley del Ruido. Estado de situación

*José Manuel Sanz Sá*

2.1. Introducción.....	49
2.2. Nuevas acciones frente al ruido ambiental.....	53
2.2.1. Acciones en la Unión Europea .....	54
2.2.2. Acciones en España.....	57



2.3. La evaluación de la contaminación acústica.....	66
2.3.1. Índices de evaluación. Definición y criterios de aplicación.....	66
2.3.2. Métodos de evaluación.....	71
2.3.3. Mapas de ruido.....	73
2.4. Zonificación en áreas acústicas. Áreas acústicas.....	77
2.4.1. Áreas acústicas. Criterios de zonificación acústica.....	79
2.4.2. Zonas de servidumbre acústica.....	82
2.5. Objetivos de calidad acústica.....	82
2.5.1. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas acústicas.....	83
2.5.2. Objetivos de calidad acústica para ruido y vibraciones aplicables al espacio interior de las edificaciones.....	84
2.6. Prevención y mejora de la calidad acústica.....	86
2.6.1. Integración de la zonificación acústica en los procesos de planificación territorial y urbanística.....	86
2.6.2. Intervención administrativa.....	87
2.6.3. Planes de acción.....	87
2.6.4. Planes zonales específicos.....	89
2.7. Límites de emisión de ruido y vibraciones aplicables a los emisores acústicos.....	90
2.7.1. Infraestructuras del transporte.....	91
2.7.2. Actividades.....	92
2.8. Concordancia entre objetivos de calidad acústica y aislamiento acústico en la edificación.....	93
2.9. La información y participación pública en los procesos de evaluación y gestión de la contaminación acústica.....	95
2.9.1. Estructura y funciones del SICA.....	96
2.9.2. Requerimientos de información. Plazos.....	97
2.9.3. Información que debe comunicarse.....	98
2.9.4. Estructura de la información.....	100
2.10. Bibliografía.....	101

### **Capítulo 3. Mapas estratégicos de ruido y planes de acción**

*Fernando Segués Echazarreta*

3.1. Los instrumentos de evaluación del ruido ambiental.....	103
3.1.1. Los índices del ruido ambiental.....	103
3.1.2. Los métodos de evaluación: medida y cálculo de niveles sonoros.....	105
3.1.3. Los mapas de ruido.....	107

3.2. Los mapas estratégicos de ruido (MER).....	113
3.2.1. Definición y contenido de los MER.....	113
3.2.2. El desarrollo de los trabajos de elaboración de los MER.....	116
3.3. Características técnicas de los MER.....	121
3.3.1. Aspectos comunes.....	121
3.3.2. Los mapas estratégicos de ruido de carreteras.....	122
3.3.3. Los mapas estratégicos de ruido de líneas ferroviarias.....	125
3.3.4. Los mapas estratégicos de ruido de aeropuertos.....	127
3.3.5. Los mapas estratégicos de ruido de aglomeraciones.....	130
3.4. Los planes de acción contra el ruido.....	133
3.4.1. Las posibles actuaciones.....	133
3.4.2. Contenido y requisitos de los planes de acción.....	135
3.5. Bibliografía.....	141

## **Capítulo 4. El control del ruido urbano. Planes de acción específicos**

*Plácido Perera Melero, Ricardo Fernández Molina*

4.1. Características específicas del ruido urbano.....	143
4.2. Sistemas de control del ruido urbano.....	144
4.2.1. Servicios municipales de control y su dimensionado.....	144
4.2.2. Sistemas de control permanentes.....	153
4.3. Planes de control específicos.....	160
4.3.1. Adecuación de los índices acústicos.....	162
4.3.2. Definición de los ámbitos de aplicación.....	163
4.3.3. Definición y ejecución de las actuaciones.....	163
4.3.4. Control de la eficacia de las actuaciones.....	170
4.4. Costo económico de los Planes de acción específicos.....	171
4.5. Bibliografía.....	172

## **Capítulo 5. Planeamiento urbanístico con criterios acústicos**

*Guillermo García de Polavieja*

5.1. Introducción.....	173
5.1.1 Una reflexión previa sobre la ciudad.....	174
5.1.2 El modelo de urbanismo vigente.....	176
5.1.3 Alcance del planeamiento como herramienta de prevención de la contaminación acústica.....	177

5.2. Estado actual. Marco normativo en España.....	178
5.3. Planeamiento urbanístico.....	180
5.3.1. Urbanismo: planificación y gestión.....	180
5.3.2. El proceso de planeamiento.....	181
5.3.3. Actores en el proceso ambiental.....	184
5.3.4. Planificación <i>ex novo</i> frente a intervención en el medio urbano consolidado (rehabilitación).....	186
5.3.5. Planificación urbana frente a planificación de infraestructuras de transporte. Servidumbres acústicas.....	188
5.4. Principios de intervención.....	189
5.4.1. Prevención (planificación) antes que corrección.....	189
5.4.2. Escalas de intervención: planificación para facilitar la gestión.....	190
5.4.3. Rentabilidad ambiental.....	191
5.4.4. Efectos diferidos.....	191
5.5. Objetivos y estrategias de intervención a cada escala.....	192
5.5.1. Estrategias en planeamiento territorial.....	192
5.5.2. Estrategias en planeamiento general.....	194
5.5.3. Estrategias en el planeamiento de desarrollo.....	204
5.6. Bibliografía.....	213

## **Capítulo 6. Normas y procedimientos de evaluación en Acústica Ambiental**

*Leopoldo Ballarín Marcos*

6.1. Normas y legislación.....	217
6.1.1. Normas, ámbito y evolución.....	217
6.1.2. Normas, elaboración y desarrollo.....	219
6.1.3. Normas aplicables y al uso en acústica ambiental.....	220
6.2. Procedimientos de medición.....	223
6.2.1. Análisis de los objetivos.....	224
6.2.2. Muestreo espacial.....	225
6.2.3. Muestro temporal, promediación.....	227
6.2.4. Técnicas más comúnmente utilizadas.....	232
6.3. Instrumentación de medida.....	233
6.3.1. Tipos de instrumentación.....	233
6.3.2. Aplicaciones generales.....	233
6.3.3. Sonometría básica.....	234
6.3.4. Funcionalidades.....	236
6.3.5. Análisis en frecuencia.....	239
6.3.6. Instrumentación específica para medidas ambientales.....	240
6.3.7. Monitorado permanente y semipermanente.....	240

6.4. Aspectos prácticos .....	242
6.4.1. Calibración y verificación .....	242
6.4.2. Incertidumbre .....	244
6.5 Bibliografía.....	246

## **Capítulo 7. Dispositivos reductores de ruido y pantallas acústicas. Generalidades Normativas y proyectos. *Dámaso Alegre Marrades***

7.1. Medidas correctoras y lucha contra la contaminación acústica generada por los transportes.....	249
7.2. Acciones sobre la propagación del sonido en infraestructuras .....	250
7.3. Dispositivos reductores de ruido: equipamiento específico .....	250
7.3.1. Pantallas acústicas .....	252
7.3.2. Cubriciones parciales o totales de la calzada o vía de circulación .....	269
7.3.3. Dispositivos especiales.....	269
7.4. Normativa a considerar para la definición y proyecto de pantallas acústicas .....	271
7.4.1. Normativa legal y ordenanzas .....	271
7.4.2. Normativa técnica de definición y cálculo .....	273
7.4.3. Normativa de control y aseguramiento de la calidad .....	274
7.5. Mercado CE de dispositivos reductores de ruido para carreteras. Evaluación de conformidad ...	289
7.5.1. Ensayo de tipo inicial .....	291
7.5.2. Control de producción en fábrica .....	291
7.6. Recomendaciones para la definición y proyecto de las dotacion es anti-ruido en infraestructuras .....	292

## **Capítulo 8. Aplicaciones acústicas de pavimentos**

*Fundación CIDAUT: Beatriz Bragado Pérez, Roberto Cordero Izquierdo, Jose Andrés González Ganso, María José Hernández Echegaray, Antonio Hidalgo Otamendi, Miguel Ángel Morcillo López*

8.1. Introducción al ruido neumático/pavimento.....	293
8.1.1 Antecedentes .....	293
8.1.2. Ruido de tráfico: fuentes en el ruido de tráfico.....	294
8.1.3. Generación y propagación del ruido neumático/pavimento .....	296
8.2. El ruido de rodadura .....	296
8.2.1. Descripción del ruido de rodadura .....	296
8.2.2. Mecanismos de generación y amplificación del ruido de rodadura.....	298
8.2.3. Mecanismos de propagación del ruido de rodadura .....	301
8.2.4. Factores de influencia en el ruido de rodadura: asfaltos.....	303
8.2.5. Otros factores de influencia en el ruido de rodadura .....	308



8.3. Revisión de los pavimentos sono-reductores existentes .....	312
8.3.1. Asfaltos porosos .....	313
8.3.2. Asfaltos porosos de doble capa .....	317
8.3.3. Stone Mastic Asphalt (SMA) .....	318
8.3.4. Asfaltos de capa delgada .....	320
8.3.5. Pavimentos poroelásticos .....	321
8.3.6. Reducción acústica .....	323
8.4. Métodos de medida del ruido de rodadura .....	323
8.4.1. Método estadístico de paso (método SPB) .....	324
8.4.2. Método estadístico de paso – Variante Backing Board (Método SPB-BB) .....	326
8.4.3. Método de paso controlado (Método CPB) .....	327
8.4.4. Método de proximidad (método CPX) .....	329
8.5. Caracterización de las propiedades intrínsecas de los pavimentos que influyen en el control del ruido de rodadura .....	332
8.5.1. Medida de absorción acústica .....	332
8.5.2. Medida de la impedancia mecánica .....	336
8.5.3. Medida de la textura .....	337
8.5.4. Medida de la resistencia a la rodadura .....	339
8.5.5. Determinación de la porosidad, tortuosidad y resistividad al flujo estático de aire .....	341
8.6. Herramientas para la simulación del ruido de rodadura .....	344
8.6.1. Modelo acústico del pavimento .....	344
8.6.2. Modelo neumático-pavimento .....	348
8.7. Agradecimientos .....	349
8.8. Bibliografía .....	349

## **Capítulo 9. Evaluación de las vibraciones en el espacio interior de las edificaciones**

*Jesús Alba Fernández, Romina del Rey Tormos*

9.1. Introducción a las vibraciones .....	353
9.1.1. Conceptos sobre el ruido de vibración .....	353
9.1.2. Visión histórica de la evaluación de las vibraciones: el factor K de vibraciones .....	355
9.2. Equipamiento para la medida de vibraciones .....	358
9.2.1. Acelerómetros y sus tipos .....	358
9.2.2. Parámetros más comunes .....	364
9.2.3. Errores comunes en el uso de acelerómetros .....	365



---

9.3. Objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior según el Real Decreto 1367/2007.....	368
9.3.1. Definición del índice de vibración .....	368
9.3.2. Objetivos de calidad y su cumplimiento .....	369
9.3.3. Métodos de evaluación para el índice de vibraciones .....	371
9.3.4. Procedimientos de medición de vibraciones .....	373
9.3.5. Ejemplos de medición y limitaciones.....	374
9.4. Reducción de vibraciones.....	376
9.4.1. Teoría básica de amortiguación .....	376
9.4.2. Suelo flotante: eficacia y limitaciones.....	379
9.4.3. Diseño básico de un sistema de amortiguación.....	381
9.5. Bibliografía.....	383
<b>Anejo 1. Legislación sobre Acustica Ambiental .....</b>	<b>385</b>
<b>Anejo 2. Breve reseña de los autores.....</b>	<b>443</b>

## Capítulo 1

### La acústica ambiental en España. Una mirada retrospectiva

*Amando García Rodríguez*

#### 1.1. Introducción general

El presente capítulo pretende ser, ante todo, una introducción general y de fácil lectura al tema de la contaminación acústica. Su objetivo fundamental es presentar una revisión general de los contenidos más importantes de este campo de trabajo, en la que se expondrán sucintamente las principales líneas de trabajo desarrolladas durante las últimas décadas del pasado siglo. En este contexto, y de acuerdo con lo que se anuncia en el título de este capítulo, hemos querido dedicar una especial atención a mencionar algunas de las aportaciones con las que los especialistas españoles han contribuido a los avances en esta materia. Para profundizar en los temas que se tratan a continuación, de muy diferente naturaleza, se recomienda consultar las referencias bibliográficas que se indican en cada caso (Celma et al., 1987) (Calvo-Manzano et al., 1991) (Sanz, 1990) (Lara et al., 1995) (García, 2006).

Para empezar nuestra exposición, habría que recordar que la contaminación sonora no es en absoluto un fenómeno nuevo, sino que, al contrario de lo que pudiera parecer, ha estado presente siempre en el mundo. Desde los tiempos más remotos, las personas han estado sometidas a una amplia variedad de sonidos, sumamente diversa en sus orígenes y en sus características físicas. La propia naturaleza es una fuente inagotable de ruidos, que en algunos casos, como en las erupciones volcánicas, los terremotos o las tormentas, pueden alcanzar una intensidad muy elevada. Sin embargo, los entornos acústicos más agresivos son una consecuencia directa de la actividad humana y se producen con especial relevancia en los lugares en que se concentra esa actividad, es decir, fundamentalmente en los medios urbanos y en los centros de trabajo (García, 2006).

La presencia generalizada de fuentes de ruido de muy diverso tipo en las antiguas ciudades fue ya mencionada por los clásicos. En este sentido, son muy conocidas las referencias del poeta hispano latino Marcial, que, en uno de sus *Epigramas*, se refería al carácter particularmente ruidoso de la Roma imperial, y describía cómo durante el día le impedían dormir los alumnos y el maestro de una escuela cercana a su casa. Cuando este ruido cesaba al fin, eran los horneros y los artesanos los que se encargaban de mantenerlo despierto. En particular, y por razones fáciles de entender, el poeta dedicó una mención especial al ruido que producía el trabajo de los caldereros. Este escritor se refería también a los gritos de los mendigos, a los golpes de los acuñadores de monedas y a los que los prestamistas producían al contar sus caudales con el fin de atraer a sus posibles clientes. Se cuenta que Plinio el Viejo, otro conocido poeta romano, había hecho construir su dormitorio con dobles paredes con el fin de que el ruido producido por sus esclavos o el que procedía del exterior de su vivienda no perturbara su descanso. En lo que puede ser un precedente de las actuales ordenanzas municipales sobre el ruido, se sabe que en esta misma ciudad se prohibió el tránsito de carretas durante las horas nocturnas con el fin de proteger en lo posible el sueño de los ciudadanos (García, 2006).

En cualquier caso, la degradación más importante del medio ambiente sonoro se produjo hacia mediados del siglo XIX, como consecuencia de la Revolución Industrial, la aparición de los modernos medios de transporte y el crecimiento de las aglomeraciones urbanas. En general, los niveles de contaminación acústica han aumentado notablemente en los tiempos más recientes, especialmente en los países desarrollados. Las personas que viven en ellos consumen cantidades ingentes de productos manufacturados de todo tipo, cuya fabricación suele estar acompañada por una emisión de ruido más o menos intenso en los centros industriales. Muchas de esas personas se desplazan con frecuencia hasta lugares más o menos alejados de sus residencias, exigiendo que los automóviles, trenes y aviones que utilizan con ese fin sean cada vez más potentes y veloces, lo cual se traduce inevitablemente en un incremento significativo de los niveles de contaminación acústica en los espacios abiertos. La mayoría de ellas no renuncian con facilidad a la utilización de sus vehículos privados para desplazarse por las ciudades en que residen (aunque muchos de esos desplazamientos podrían realizarse perfectamente utilizando diferentes medios de transporte público o incluso andando) y este hecho implica mayores niveles de ruido en las zonas urbanas, causando importantes problemas de todo tipo a una buena parte de sus residentes (Wilson Committee, 1976) (Organisation, 1991) (Gerges, 1998).

La contaminación acústica es hoy en día una de las mayores fuentes de molestia de las sociedades modernas, especialmente en los medios urbanos. En mayor o menor medida, todos estamos sometidos al ruido en nuestra vida cotidiana. Estamos expuestos a él en los hogares, en la calle, en los centros de trabajo, cuando utilizamos un vehículo de transporte, incluso durante nuestro tiempo libre. Para la mayoría de las personas que viven en los países desarrollados, la contaminación acústica es hoy en día un elemento con el que hay que acostumbrarse a convivir, aunque pueda ser motivo de numerosas quejas o comentarios más o menos adversos. Mucha gente opina que la contaminación sonora es una secuela inevitable del desarrollo tecnológico de las sociedades modernas.

Los diferentes estudios realizados a lo largo de las últimas décadas por numerosos autores en todo el mundo han demostrado que la contaminación sonora afecta a la salud de las personas, produciendo una amplia serie de efectos fisiológicos y psicológicos de naturaleza muy diversa, cuya importancia depende de las condiciones concretas existentes en cada caso. Hay que recordar que todos podemos resultar afectados por la percepción de un sonido determinado y no por la de otro de características similares a las del primero. En particular, la cuantía de la molestia que nos produce un ruido no sólo depende de su nivel sonoro, sino también de nuestro estado de ánimo y de la actividad que estamos realizando en un momento concreto. Estas últimas consideraciones se pueden relacionar con la definición del ruido como un “sonido no deseado por el receptor” o como una “sensación auditiva molesta”. El carácter impreciso de estas definiciones tiene su origen en la subjetividad con que enjuicamos las características de un sonido determinado, tales como los niveles de energía sonora más o menos elevados o las variaciones bruscas de la intensidad y la frecuencia (Kryter, 1985) (Berglund et al., 1995) (García, 2006).

En un informe de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) se decía que en las décadas de los años sesenta y setenta se produjo un desarrollo muy importante de los modernos medios de transporte y de sus índices de utilización, originándose un aumento notable de los niveles de ruido ambiental. En dicho informe se decía que unos 130 millones de habitantes de los países miembros de la Unión Europea estaban expuestos a niveles sonoros continuos equivalentes diurnos  $L_{eqd}$  en el exterior de sus lugares de residencia inaceptables (por encima de 65 dBA) y unos



300 millones más vivían en zonas acústicamente deficientes (entre 55 dBA y 65 dBA). Según ese informe, España ocupaba el segundo lugar, por detrás de Japón, en el ranking mundial de países en los que la contaminación acústica era más alta y se estimaba que un 23% de nuestros conciudadanos estaban expuestos a niveles sonoros equivalentes diurnos superiores a 65 dBA. Esta afirmación se recuerda con frecuencia en los medios de comunicación cuando hablan de este problema, aunque hace ya mucho tiempo que fue rechazada de plano por los especialistas de nuestro país, basándose en la forma en que fue realizado el informe en cuestión (Organisation, 1986) (Celma et al., 1987).

Hay que reconocer que, hasta tiempos relativamente recientes, no se ha prestado demasiada atención al estudio de la contaminación acústica y de sus efectos por parte de las diferentes administraciones. Esta actitud estaba motivada sobre todo por el hecho de que, en términos generales, su peligrosidad no es grave o inmediata, y, salvo situaciones excepcionales, los niveles de presión sonora a los que están sometidos las personas en su vida cotidiana no son lo bastante elevados como para atentar gravemente contra su salud. En este mismo sentido, habría que señalar también el hecho de que la emisión de ruido está asociada a actividades que, por una razón u otra, consideramos indispensables para nuestras actuales formas de vida (Calvo-Manzano et al., 1991) (García, 2006).

En general, la evolución de los niveles de contaminación sonora en España a lo largo de estas últimas décadas ha sido muy similar a la de otros países de nuestro entorno, aunque no estaría de más recordar que todas las grandes ciudades de nuestro país y sus zonas metropolitanas experimentaron un notable crecimiento como consecuencia de los fuertes movimientos migratorios que se iniciaron durante los años cincuenta del pasado siglo y que no ha cesado desde entonces. La fuerte demanda de viviendas, acompañada con demasiada frecuencia por la inexistencia de una adecuada planificación urbanística, ha fomentado la especulación y ha sembrado la mayoría de nuestras ciudades, grandes o pequeñas, con inmensos bloques de hormigón, sin que exista una delimitación clara entre las zonas de tipo residencial, comercial y aún industrial. La escasez de espacios abiertos, la poca anchura de muchas de nuestras calles, la abundancia de edificios de baja calidad y los comportamientos de algunas personas, han contribuido a que los niveles sonoros a los que se ven expuestos muchos ciudadanos durante las 24 horas del día sean excesivamente elevados (Serra y Daumal, 1991) (Arizmendi, 1995) (García, 2006).

Sin embargo, al contrario de lo que sucedía en otros países próximos, hasta hace pocos años, ni la administración ni los ciudadanos mostraban demasiada preocupación por la contaminación sonora. Esta situación ha cambiado considerablemente en la actualidad. El ruido ambiental es ahora objeto de atención para los responsables políticos, los medios de comunicación se ocupan cada vez con mayor insistencia de este problema y millones de personas son plenamente conscientes de que los niveles de ruido a que están expuestas cotidianamente afecta negativamente a su bienestar y calidad de vida.

A lo largo de las últimas décadas, por parte de diferentes autores e instituciones, se han llevado a cabo en nuestro país numerosos estudios sobre este tema. Una buena parte de estos trabajos ha consistido en la realización de los mapas sonoros de muchas ciudades españolas, de tamaño y características muy diferentes. Habría que recordar que el mapa sonoro de una ciudad proporciona una información de enorme importancia no sólo para controlar la contaminación sonora en esa ciudad, mediante la aplicación de medidas de muy diversa naturaleza, sino también para orientar con fundamento cualquier actuación urbanística que se pueda suscitar en la misma (García, 2006).

## 1.2. Las fuentes de contaminación acústica

Es un hecho conocido por todos que las fuentes sonoras existentes en los medios urbanos presentan una extraordinaria variedad. A título indicativo, bastará con indicar que, en un estudio realizado hace ya algunos años por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Valencia con el fin de analizar la molestia que dichas fuentes producen sobre los residentes en esta ciudad, se mencionaban en el cuestionario utilizado con tal fin un total de 38 fuentes sonoras diferentes, entre las que se mencionaba el tráfico de vehículos, los ferrocarriles, los tranvías, los aviones, los helicópteros, las industrias y talleres, las obras públicas y la construcción, las escuelas, las campanas de las iglesias, los comercios y mercados, la recogida de basuras, los gritos y voces en la calle, los locales de ocio, los acondicionadores de aire, los animales domésticos y los fuegos pirotécnicos, entre otras (García, 2006).

En todo caso, los principales objetos sonoros que constituyen el medio acústico en los espacios abiertos están relacionados con los sistemas de transporte de personas y mercancías. Es evidente para todos que estos sistemas han contribuido en gran medida al desarrollo y bienestar de las sociedades modernas. En un tiempo relativamente corto, nuestras ciudades han crecido hasta límites que eran inimaginables hace tan sólo unas pocas décadas y su existencia tal como las conocemos hoy en día sería del todo inviable sin la existencia de sistemas de transporte rápidos, seguros y eficaces, independientemente de que éstos sean públicos o privados. Los desplazamientos cotidianos de numerosas personas (por ejemplo, desde sus hogares hasta sus centros de trabajo) cubren en algunas ocasiones unas distancias muy grandes, consumiendo en ello una parte de su tiempo libre. Los deseos de movilidad de mucha gente, tanto por estricta necesidad como por puro placer, no podrían satisfacerse sin recurrir a los modernos medios de transporte. Aunque la disponibilidad de los modernos sistemas de transporte ha producido grandes beneficios económicos y sociales para toda la humanidad, nadie puede negar que su impacto sobre el medio ambiente es muy negativo en varios sentidos. Entre los efectos de los diferentes medios de transporte sobre el medio ambiente, la contaminación sonora es uno de los más valorados. Como es natural, el estudio del ruido producido por los medios de transporte ha sido objeto de atención por parte de numerosos investigadores de todo el mundo. En este sentido, habría que destacar especialmente los trabajos realizados en España por el Instituto de Acústica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, que se ha venido ocupando con asiduidad de este tema desde hace mucho tiempo. Sus aportaciones en este campo siguen siendo actualmente una referencia obligada para todos los acústicos de este país (Nelson, 1987) (Santiago, 1991) (Santiago et al., 2000) (García, 2006).

### 1.2.1. El tráfico rodado

Todos los autores coinciden en señalar que el tráfico rodado es la fuente sonora más importante y generalizada en las zonas urbanas de los países desarrollados. Ésta es también, con diferencia, la fuente sonora que produce más perturbaciones y molestias sobre los residentes urbanos. Estas afirmaciones se basan en los resultados encontrados en las medidas de los correspondientes niveles sonoros y en la evaluación de la molestia que estas fuentes sonoras producen en los residentes urbanos. El estudio llevado a cabo en el Reino Unido en la década de los años sesenta por parte del llamado Comité Wilson, y que se considera generalmente como el primer intento serio de estudiar este problema de una forma global, llegó a la conclusión de que el ruido producido por el tráfico rodado era



la fuente predominante de la molestia originada por este factor medioambiental en las zonas urbanas. En el tiempo transcurrido desde entonces, la importancia del tráfico rodado como fuente principal de ruido en todas las zonas urbanas no ha hecho sino aumentar de forma continuada. Los niveles de contaminación sonora producidos por el tráfico rodado suelen alcanzar valores muy elevados en las grandes vías de circulación urbanas o interurbanas, que, en muchos casos, soportan densidades de tráfico muy elevadas tanto durante el día como durante la noche. Los datos existentes al respecto demuestran que en cualquier gran ciudad existen muchos enclaves en los que los niveles sonoros medios diurnos alcanzan valores del orden de 75-80 dBA. En estos casos, el impacto sonoro sobre las personas que residen en estos lugares puede llegar a ser tan insoportable que obligue a tomar medidas de control drásticas, tales como la limitación del volumen de tráfico o de su velocidad, el uso de pavimentos absorbentes en las calzadas, la construcción de pantallas acústicas en los lugares en los que esta medida se pueda aplicar, o el refuerzo de los sistemas de aislamiento acústico convencionales en las fachadas de los edificios afectados (Lamure, 1975) (Nelson, 1987) (Santiago, 1991) (Hickling, 1998) (García, 2006).

En el caso de España, hemos pasado desde una situación en que la presencia de vehículos a motor en nuestras calles era casi anecdótica (muchas de las personas con edades avanzadas recuerdan que podían jugar sin ningún problema en las calles de las ciudades o pueblos cuando eran niños), hasta la que podemos ver hoy en día cuando paseamos por muchas de nuestras avenidas y calles o contribuimos con nuestro vehículo a las cada vez más frecuentes congestiones de tráfico que caracterizan a nuestras ciudades, grandes o no tan grandes. Esta situación no nos debería sorprender demasiado si tenemos en cuenta que, según datos del Instituto Nacional de Estadística, en el año 2007 había más de veinte millones de automóviles de turismo censados en España, es decir, un automóvil cada dos habitantes, una situación que, sin duda, hay que saludar como el exponente de un nivel de prosperidad y bienestar notable, pero por la que también pagamos un precio nada desdeñable en términos de deterioro de las condiciones ambientales y el entorno en que transcurre la vida de los ciudadanos. La reflexión de que la mayoría de nuestras ciudades (y sobre todo sus centros históricos) no han sido planificadas para soportar la presencia de los miles y miles de vehículos que hoy circulan por sus calles hasta alcanzar límites casi insoportables es muy oportuna cuando hablamos de estos problemas.

Es importante tener presente también que la contaminación acústica producida por el tráfico rodado no se limita al centro de las grandes ciudades en las horas punta. Por un motivo u otro, en el curso de los últimos años, el periodo de relativo silencio nocturno se ha ido reduciendo cada vez más, y los suburbios de las grandes áreas metropolitanas, con un servicio de transporte público claramente desbordado por la demanda, se ven afectados también por un tráfico muy intenso a todas las horas del día. En una encuesta realizada a finales de los años setenta por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo sobre la calidad de vida en España, el ruido producido por el tráfico rodado era considerado por los ciudadanos como uno de los problemas medioambientales más importantes de las zonas urbanas. Todos los estudios llevados a cabo posteriormente sobre este tema, en una amplia muestra de ciudades de nuestro país, de muy diferentes tamaños, han confirmado plenamente este diagnóstico (Calvo-Manzano et al., 1991) (García, 2006).

Los niveles sonoros producidos por los vehículos a motor dependen de numerosos factores, entre los que podemos destacar la naturaleza del vehículo considerado (es decir, automóviles, camiones, mo-

tocicletas, etc.), los sistemas de control de ruido que se hayan podido implantar en dichos vehículos por parte de los fabricantes, el estado mecánico en que se encuentre dicho vehículo (por ejemplo, la puesta a punto del motor o el estado de conservación del dispositivo de expulsión de gases), el modo en que está operando el vehículo en un momento dado (por ejemplo, la situación es diferente si el vehículo mantiene constante su velocidad o si está acelerando o frenando), la naturaleza y condición de la calzada (tipo de pavimento, situación de conservación, estado seco o húmedo del pavimento, pendiente, etc.) y las condiciones de propagación del sonido en el entorno (presencia de obstáculos, etc.) (Nelson, 1987) (Santiago, 1991).

En relación con las diferencias existentes entre los diferentes tipos de vehículos es interesante recordar también que, en términos generales, los niveles sonoros producidos por los motores de los automóviles y autobuses modernos son relativamente bajos y están mejorando constantemente gracias a los progresos constantes en la tecnología y el diseño de los vehículos. Dentro de la amplia gama de vehículos que actualmente circulan por las calles de nuestras ciudades, los que suscitan más críticas en este sentido son los vehículos pesados y, sobre todo, las motocicletas. En general, la fuente de ruido más importante de una motocicleta se localiza en el tubo de escape. Esta afirmación está justificada sobre todo en el caso de las motocicletas más ligeras, en las que, a pesar de las prohibiciones al respecto, son frecuentes las alteraciones del silenciador, por estimar que de esta forma se mejora su rendimiento o, sencillamente, porque a algunos conductores les agrada que su vehículo deje notar su presencia en las calles (Santiago, 1991) (García, 2006).

En esta rápida revisión, es oportuno también aludir a un fenómeno relativamente frecuente en el ruido producido por el tráfico rodado. Cuando un vehículo que circula por una calzada horizontal se enfrenta a un tramo de pendiente positiva, para mantener la velocidad es necesario aumentar significativamente el número de revoluciones del motor, con el fin de incrementar su potencia. Este hecho se traduce siempre en un aumento del nivel sonoro emitido. Si el vehículo es un automóvil de turismo, dicho aumento no es demasiado importante, pero si se trata de un vehículo pesado esa variación puede tener efectos importantes. No deberíamos olvidar tampoco que la existencia de los edificios de cierta altura que flanquean las calzadas contribuye de forma significativa a aumentar los valores de los niveles sonoros existentes en esa zona. Dependiendo de la relación entre la altura de los edificios colindantes y la anchura de la calzada, el incremento de dichos niveles sonoros puede superar fácilmente los 3 ó 4 dBA (Santiago, 1991) (García, 2006).

Todos los estudios realizados sobre la contaminación sonora producida por el tráfico rodado han puesto de manifiesto que, en general, el factor que más influye en los correspondientes niveles sonoros es la intensidad o densidad de tráfico. Esta afirmación es aplicable tanto al tráfico urbano como al tráfico por carretera. Cuando las observaciones y medidas llevadas a cabo en este sentido tienen una duración suficiente (por ejemplo, una hora), los resultados obtenidos en las oportunas medidas ponen de manifiesto siempre la existencia de una relación muy estrecha entre los valores encontrados para los niveles sonoros producidos por el tráfico rodado y los valores de la intensidad de ese tráfico. En general, la relación entre el nivel sonoro equivalente (expresado en dBA) y la intensidad del tráfico (expresada en vehículos/hora) responde a una ecuación logarítmica lineal, cuya pendiente y ordenada en el origen dependen de las condiciones específicas existentes en una situación determinada y, por lo tanto, deben determinarse de forma empírica en cada caso concreto (García y Bernal, 1985) (Santiago, 1991) (García, 2006).



### 1.2.2. El ruido de aviones

Tanto desde el punto de vista objetivo como subjetivo, el segundo lugar en importancia de las fuentes sonoras relacionadas con el transporte corresponde al tráfico aéreo. Como es sabido, el crecimiento en el tráfico de aviones ha sido espectacular en estos últimos años. De hecho, este tráfico se ha multiplicado por diez entre los años setenta y la actualidad. De todos los avances experimentados en el diseño de aviones durante todo este tiempo, el más importante ha sido el del motor de turboventilador dotado con una elevada relación de derivación, utilizado por primera vez en el año 1969 en los aviones Boeing 747. Aunque con alteraciones, esta tecnología se ha mantenido básicamente vigente hasta la actualidad, y ha hecho posible hacer frente a las demandas para una reducción en los niveles sonoros emitidos por las aeronaves, cada vez más exigentes. Los nuevos modelos de aviones, actualmente en construcción en los Estados Unidos y en Europa, serán todavía más silenciosos que los actuales. En cualquier caso, el ruido producido por la expulsión de los gases del motor será en el futuro el principal obstáculo para alcanzar mayores reducciones en los niveles sonoros producidos por los aviones (Nelson, 1987) (Eldred, 1998) (García, 2006).

En estos últimos años, la utilización generalizada de este rápido y eficiente sistema de transporte en el movimiento de personas y cargas se ha incrementado notablemente y, como consecuencia, muchos de los grandes aeropuertos y sus zonas de influencia tienen grandes dificultades operativas, hasta llegar casi a situaciones de saturación. Como es natural, estas circunstancias han contribuido a aumentar también la gravedad del impacto sonoro de los aviones, hasta el punto de que millones de personas de todo el mundo se ven expuestas actualmente al ruido producido por ellos, sobre todo en las proximidades de los aeropuertos, en los que convergen un gran número de aeronaves de todo tipo volando a baja altura en sus operaciones de aterrizaje o de despegue (Nelson, 1987).

Cuando se habla del impacto sonoro de un aeropuerto muchas personas piensan únicamente en el sobrevuelo de los aviones que lo utilizan. Sin embargo, en ese impacto intervienen también una extraordinaria variedad de fuentes sonoras de todo tipo presentes en ese espacio o su entorno, más allá de la simple presencia de los aviones en aire o en tierra. En consecuencia, una primera clasificación global de las fuentes de contaminación sonora asociadas a un aeropuerto permite dividir las en dos grandes categorías, las directas y las indirectas. Las primeras están relacionadas con la actividad básica del aeropuerto (operaciones de despegue y aterrizaje de los aviones), en tanto que las segundas son las inducidas por el funcionamiento de sus diferentes actividades y servicios, entre los que podríamos destacar los talleres de mantenimiento, los sistemas de transporte interior y exterior o los generadores de energía, entre otras muchas (Nelson, 1987).

En el caso de las zonas urbanas cercanas a un gran aeropuerto, sobrevoladas con relativa frecuencia por los aviones, la respuesta de una comunidad no sólo depende del ruido producido por una operación (despegue o aterrizaje) sino también el número de operaciones que tienen lugar en un determinado periodo de tiempo, por ejemplo, un año. En consecuencia, los conceptos de nivel sonoro y número de operaciones constituyeron la base de todos los índices de exposición desarrollados en el pasado para evaluar el impacto sonoro de las aeronaves sobre una comunidad. En el caso de Europa, estos índices han sido sustituidos en fechas relativamente recientes por el nivel sonoro día-tarde-noche  $L_{den}$  como indicador general para el ruido de aviones y cualquier otra fuente de ruido. Aunque en la determinación del índice  $L_{den}$  no se tiene en cuenta explícitamente el número de operaciones

ni otras características físicas singulares del ruido ambiental producido por los aviones, este indicador proporciona una base adecuada para expresar la importancia de la correspondiente exposición a los ojos del hombre de la calle y permite igualmente comparar la exposición al ruido de aviones con las originadas por otras fuentes de ruido, una ventaja nada desdeñable (Ford, 1987) (Directiva, 2002).

Puede ser interesante recordar también que, a principios de los años ochenta, se instalaron en España los primeros sistemas de medidas del ruido producido por los aviones en las cercanías de los aeropuertos de Madrid, Barcelona y Palma de Mallorca. A principios de la década de los noventa se montaron los primeros sistemas automáticos de monitorización, en los que una serie de terminales situados en los alrededores de esos aeropuertos están conectados a un ordenador central mediante líneas telefónicas. Estos sistemas permiten obtener una información completa de los niveles sonoros registrados en los puntos en los que están situados los monitores, así como datos muy precisos de las correspondientes trayectorias del vuelo de las aeronaves, un factor clave a la hora de evaluar el impacto acústico de un determinado aeropuerto (Guillamón, 2002).

Aunque los efectos de la contaminación acústica producida por los aviones sobre las personas que residen en las cercanías de los aeropuertos han sido muy estudiados en muchos países de todo el mundo, las conclusiones obtenidas en un aeropuerto dado no siempre son aplicables a otros, debido a que las características concretas del tráfico aéreo, las condiciones de las zonas residenciales afectadas o la actitud de los residentes ante esta fuente sonora, entre otros muchos factores, pueden variar considerablemente de un aeropuerto a otro (Centre, 1968) (Perera et al., 1982) (Bragdon, 1987).

Para concluir este apartado, tal vez sea interesante recordar que hace algunos años el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Valencia realizó un estudio piloto con el fin de evaluar la respuesta de las personas al ruido producido por los aviones en diferentes zonas urbanas en las proximidades de seis grandes aeropuertos españoles (Madrid, Palma de Mallorca, Barcelona, Sevilla, Valencia y Zaragoza). Para llevar a cabo este trabajo se encuestaron un total de 1800 residentes. La exposición al ruido de estas personas se evaluó aplicando el llamado Modelo Integrado de Ruido, desarrollado en Estados Unidos. Esta investigación demostró que los niveles de molestia subjetiva originados por los aviones en las zonas urbanas consideradas están relacionados con los correspondientes niveles de exposición al ruido (NEF), en términos muy similares a los encontrados en otros estudios de características análogas (García et al., 1993).

### 1.2.3. El ruido de trenes

La tercera de las fuentes sonoras relacionadas con el transporte son los trenes. En este caso, la emisión de ruido más importante se origina en las unidades motrices y en la interacción entre las ruedas y los carriles. Los correspondientes niveles de emisión sonora dependen sobre todo de la velocidad de los convoyes, aunque las diferencias entre ellos pueden llegar a ser importantes, dependiendo del sistema de tracción y de la naturaleza de los vagones y de los carriles. En particular, la introducción de trenes de alta velocidad ha originado muchos problemas de ruido. En cualquier caso, el número de estudios realizados para evaluar el impacto acústico de los ferrocarriles en las zonas urbanas es comparativamente mucho menor que los que se refieren a los automóviles y a los aviones. Los resultados encontrados en todos estos trabajos han demostrado con gran claridad que la respuesta subjetiva de los afectados por la contaminación sonora que producen los ferrocarriles no es tan negativa como la re-



lacionada con el impacto sonoro de otros medios de transporte (Santiago, 1991) (Hickling, 1998) (García, 2006).

Es importante recordar que el ferrocarril es el primer sistema de transporte de masas que ha existido en la historia de la humanidad. En un principio, su presencia se expandió muy rápidamente hasta cubrir casi todas las zonas habitadas del planeta. Sin embargo, en contraste con el aumento del tráfico por carretera y por aire, especialmente acusado hacia mediados del pasado siglo, el desarrollo de los ferrocarriles no fue tan espectacular. De hecho, en algunos países existió incluso un cierto retroceso en este sistema de transporte. Sin embargo, en estos últimos años, las cosas parecen haber cambiado. El desarrollo de los trenes de alta velocidad ha motivado un renovado interés en muchos países hacia este sistema de transporte, con el que actualmente se pueden alcanzar con facilidad velocidades superiores a los 300 km/h y que, por consiguiente, puede transportar a miles de viajeros en condiciones competitivas con las que, en la práctica, proporciona el tráfico aéreo, al menos para distancias no demasiado grandes. Sin embargo, no deberíamos olvidar que el notable desarrollo que está experimentando este sistema de transporte en los últimos años, unido a la creciente sensibilidad que muchas personas muestran ante los temas medioambientales en general, ha aumentado la preocupación de la sociedad española ante el ruido y las vibraciones producidos por los trenes, especialmente en los casos en que éstos circulan a velocidades elevadas por zonas densamente pobladas (Santiago, 1991) (Faus et al., 2003).

#### **1.2.4. El ruido de industrias**

Las industrias pueden ser también una fuente de ruido significativa en muchas zonas urbanas. Como es natural, al hacer esta afirmación somos conscientes de que los grandes centros industriales (metalurgia, cemento, astilleros, refinerías de petróleo, etc.) suelen estar situados en la actualidad a distancias más o menos grandes de las zonas propiamente residenciales. Sin embargo, sucede con demasiada frecuencia que, debido al espectacular y no siempre bien ordenado crecimiento de algunas ciudades, o a una deficiente planificación del uso del suelo por parte de las administraciones, algunas de las antiguas zonas industriales han sido absorbidas por ellas con el tiempo, haciendo muy difícil distinguir, en la práctica, entre zonas residenciales e industriales. Por otro lado, en todas nuestras ciudades existe un gran número de pequeñas industrias y talleres de muy diversa naturaleza e importancia, en general perfectamente integradas en el tejido urbano y con estrechas relaciones con él en muchos sentidos (entradas y salidas de trabajadores, proveedores y clientes, movimientos de materias primas y de productos manufacturados, operaciones de carga y descarga, etc.), que, sin duda, pueden producir un impacto sonoro directo o indirecto de relativa importancia sobre el entorno urbano que se encuentre en el entorno de las instalaciones industriales en cuestión (Lara, 1991) (Bell et al., 1994) (Gerges, 1998) (García, 2006).

Cuando se toma en consideración el problema del ruido industrial, hay que tener en cuenta ante todo que tiene dos aspectos claramente diferenciados, según ese ruido se refiera al existente en el interior de las industrias, cuyos afectados son los trabajadores de las mismas, o al exterior de las industrias, en cuyo caso los sujetos pasivos suelen ser las personas que residen en las proximidades de las mismas. El primero de estos dos aspectos no será tratado aquí. En relación con el segundo, habría que señalar ante todo que las industrias son una fuente de contaminación acústica más entre todas las que existen hoy en nuestras ciudades (tráfico, trenes, aviones, obras públicas, etc.), aunque, cierta-



mente, las industrias poseen características singulares en relación con las otras fuentes de ruido. En particular, no estaría de más recordar que la mayoría de las fuentes sonoras relacionadas con las industrias son estáticas y que éstas están localizadas en zonas específicas de las ciudades o su entorno (Lara, 1991) (García, 2006).

Los niveles de presión sonora radiados por las industrias al ambiente exterior dependen tanto de los niveles sonoros existentes en su interior como del aislamiento acústico de los correspondientes cerramientos. Por otro lado, hay que tener en cuenta que las instalaciones industriales no sólo generan ruido en los procesos de producción o manipulación que constituyen su actividad principal, sino también en todos los servicios que son necesarios para llevar a cabo dicha actividad. Dependiendo de la naturaleza de las industrias, hay casos en que existen muchas fuentes de ruido significativas al aire libre o sin la protección de cerramientos adecuados desde el punto de vista acústico. Ésta es una razón más para insistir siempre en la necesidad de que las industrias en general, y éstas en particular, se sitúen en polígonos industriales lo más alejados posible de las zonas urbanas propiamente residenciales. En términos generales, la solución de las molestias y perturbaciones de todo tipo producidas por el ruido generado por las industrias se puede alcanzar con una planificación adecuada de los diferentes usos del suelo y el cumplimiento estricto de todas las normas establecidas en la correspondiente legislación (Lara, 1991) (García, 2006).

### 1.2.5. Otras fuentes de ruido

El concepto de ruido comunitario es muy amplio y en ocasiones no muy bien comprendido. En general, se entiende por ruido comunitario aquél que está producido por una amplia variedad de fuentes sonoras asociadas a actividades o equipamientos que funcionan para satisfacer las diferentes necesidades de una determinada comunidad. En un sentido general y a gran escala, concretamente, en el ámbito de toda una ciudad, se podrían incluir en esta categoría los servicios de recogida de basuras, los mercados y establecimientos comerciales, los estadios deportivos, los locales de espectáculos y de ocio, las escuelas y centros culturales, las obras públicas y la construcción, o incluso los talleres y pequeñas industrias insertas en el tejido urbano, entre otros. Aunque algunas de las actividades o equipamientos que acabamos de citar no son demasiado ruidosas, su funcionamiento puede suponer el movimiento de muchas personas y vehículos de todo tipo, con el consiguiente impacto sonoro indirecto sobre los ciudadanos. Éste sería el caso, por ejemplo, de la afluencia de público a los mercados o grandes superficies, a los locales de ocio o espectáculos, o la concentración de niños y padres en las puertas de los colegios al iniciar o finalizar el horario escolar (Perera, 1991) (García, 2006).

En particular, aunque con un carácter temporal y con una distribución espacial más irregular que la de otras fuentes sonoras, las obras públicas y construcción son una fuente de molestia muy importante en todas nuestras ciudades. El uso de compresores, excavadoras y vehículos de todo tipo (con frecuencia en condiciones no óptimas desde el punto de vista de su emisión acústica) produce unos niveles de ruido tan elevados que son objeto de quejas constantes por parte de muchos residentes. Aún reconociendo que este tipo de actividades son inevitables, no se pueden olvidar las numerosas molestias de toda índole que producen, aunque no se pueda dejar de reconocer que, en el curso de los últimos años, los fabricantes de equipos y maquinaria destinados a las obras públicas y construcción han realizado un enorme esfuerzo para reducir los niveles de emisión de ruido por parte de las diferentes máquinas utilizadas por este sector. Sin duda alguna, esta reducción se ha visto favorecida por

un extenso abanico de normativas, así como por las peticiones de los posibles compradores ante los fabricantes para que todas esas máquinas sean cada vez más silenciosas (Braunschweig, 1991).

En un sentido muy diferente, ciertos equipos internos de las edificaciones, tales como las instalaciones de aire acondicionado o los ascensores y montacargas, pueden contribuir también a deteriorar el ambiente acústico en nuestras viviendas, añadiendo sus emisiones sonoras al ruido procedente del exterior de las mismas. Además de todas estas fuentes, hay que hacer una mención especial en este apartado al ruido producido por los propios vecinos y residentes, que suele ser con frecuencia una de las principales causas de quejas o denuncias en las comunidades urbanas, y que se relaciona sobre todo con el uso desconsiderado de muchos equipos domésticos, como aspiradores, lavadoras, lavavajillas, dispositivos de reproducción musical, o aparatos de radio o televisión. En el caso de zonas residenciales suburbanas, las quejas pueden estar relacionadas con la utilización por parte de los vecinos de cortacéspedes, sierras mecánicas u otros útiles de este tipo, o están originadas por los animales domésticos (caso de los ladridos de perros) o por la celebración de reuniones o fiestas sociales especialmente ruidosas.

Finalmente, habría que recordar que en las ciudades modernas existe también un número muy elevado de lo que podríamos incluir dentro de un apartado general de “otras fuentes sonoras”, que suelen caracterizarse por su naturaleza singular y ocasional, aunque, desgraciadamente, su impacto negativo se deja sentir con excesiva frecuencia. Este es el caso, por ejemplo, de las sirenas de que están dotados los coches de policía, bomberos y ambulancias, o de los diferentes tipos de alarmas acústicas, fijas o móviles, instaladas tanto en edificios como en automóviles, y que muchas veces se disparan sin que al parecer existan motivos objetivos para ello. La presencia de estos objetos sonoros de comunicación, en general no deseados por muchos de quienes los perciben, suele ser un factor de molestia significativo en las ciudades modernas. Aunque nadie puede negar su necesidad objetiva, son muchas las personas que consideran que, en algunos casos, el uso de estos sistemas acústicos resulta tan abusivo como superfluo.

En particular, las fuentes sonoras relacionadas con las actividades recreativas y de ocio (cuyas intensidades, espectros y localización pueden ser muy variados) tienen una trascendencia social muy acusada. En este grupo podríamos incluir fuentes sonoras tan diferentes como las voces de los niños que juegan en un parque o en el patio de alguna escuela, los gritos de las personas que asisten a una competición deportiva, los espectáculos y conciertos musicales al aire libre, las verbenas o fiestas callejeras, o el disparo de cualquier tipo de fuegos artificiales.

Dentro de esta modalidad de fuentes de ruido deberíamos dedicar una especial atención a los bares, pubs, discotecas y similares, unas actividades de ocio capaces de producir un impacto sonoro directo o indirecto muy importante sobre las personas que residen cerca de este tipo de establecimientos. Esta situación es relativamente frecuente en España (por supuesto, mucho más que en otros países de nuestro entorno), donde, desde hace ya algunos años, este tipo de actividades se ha convertido en el blanco de innumerables protestas y denuncias formales por parte de los residentes afectados, sobre todo durante los fines de semana y las épocas vacacionales, cuando estos locales están abiertos hasta altas horas de la madrugada y muchas de las personas que los frecuentan permanecen en las calles, charlando y consumiendo sus bebidas de forma ruidosa, sin que, al parecer, parezca importarles demasiado el descanso de los residentes en la zona. Este problema ha alcanzado recientemente una



gran importancia en muchos lugares de nuestro país y refleja como pocos el conflicto creado entre el derecho a la diversión y al ocio de las personas (sin límites?) y el derecho inalienable al descanso de otras. Entre otras aportaciones, este tema fue estudiado con detenimiento hace algunos años por un equipo de investigadores de la Universidad de Valencia (García et al., 1995).

### 1.3. Evaluación de la contaminación acústica

En términos generales, la evaluación de cualquier problema de contaminación acústica hace necesaria la realización de las medidas adecuadas a ese fin. Por ejemplo, si lo que se desea es conocer el nivel de emisión sonora de una cierta fuente sonora (por ejemplo, una máquina excavadora), no sólo será necesario definir con todo cuidado las condiciones de funcionamiento de esa máquina, sino también las condiciones del lugar en el que esa fuente se encuentra y opera en un momento determinado (espacios abiertos o cerrados, presencia de obstáculos próximos, etc.). La realización de estas medidas está condicionada por unos protocolos operativos muy rigurosos, perfectamente definidos a nivel científico y técnico. La referencia a los protocolos utilizados en cada caso concreto es un requisito obligado en los oportunos informes técnicos.

Como es natural, cuando lo que se pretende es la evaluación de la contaminación acústica a nivel de toda una ciudad o una zona más o menos extensa de la misma, los problemas son mucho mayores. La realización de un control efectivo de los niveles de contaminación acústica y la planificación adecuada de la lucha contra el ruido ambiental en una ciudad suele estar basada en la elaboración de lo que genéricamente se conoce como el “mapa sonoro” de la misma. El mapa sonoro de una ciudad o zona urbana es un conjunto de medidas de niveles sonoros, con una distribución determinada en el espacio y en el tiempo, de una forma tal que la información que proporcionan sobre el ambiente acústico de esa ciudad o zona urbana (acompaña de otros datos) sea lo suficientemente completa como para poder orientar adecuadamente las acciones generales de control de la correspondiente contaminación acústica. En particular, la realización del mapa sonoro de una ciudad debe poner de manifiesto dónde están situadas las zonas más ruidosas de la misma (con el fin de poder actuar en consecuencia si se desea corregir la situación) o los enclaves particularmente silenciosos (para preservar esa situación privilegiada en el futuro). Los trabajos de cartografía del ruido ambiental urbano son, ante todo, una fuente de datos de enorme importancia para los técnicos de planificación urbanística, en cuestiones tales como la apertura de nuevas calles o plazas, la regulación del tráfico, el establecimiento de espacios ajardinados o de zonas peatonales o la ubicación de centros comerciales, docentes u hospitalarios, entre otras cuestiones de indudable interés para cualquier ciudad moderna (Brown y Lam, 1987) (García, 2006).

Desde hace ya algunas décadas se han llevado a cabo una ingente cantidad de estudios y medidas de ruido ambiental (en inglés, *noise surveys*) en medios urbanos de todo el mundo. Entre los primeros ejemplos de este tipo de medidas cabe mencionar las llevadas a cabo a finales de los años veinte en la ciudad de New York con el objetivo de “estudiar el ruido y desarrollar los medios para reducirlo”. La lista de las principales fuentes de ruido ambiental identificadas en ese trabajo fue muy amplia. Estas fuentes estaban relacionadas con el tráfico rodado en general (automóviles, motocicletas, camiones, etc.), los sistemas de transporte público (autobuses, tranvías, trenes elevados, etc.), la realización de todo tipo de obras públicas (martillos neumáticos, excavadoras, compresores, operaciones de carga y descarga, escapes de vapor, etc.), las viviendas (gramófonos, fiestas sociales, instrumentos



musicales, ladridos de perros, etc.), las calles de la ciudad (música, comercios, garajes, paradas de taxis, etc.), la actividad del puerto y el río (sirenas, campanas, motores varios, etc.), la recogida o la distribución de productos (basuras, leche, alimentos, correo postal, etc.) y una extensa serie de otras fuentes de ruido diferentes a las ya citadas (aviones, ferrocarriles, pequeñas industrias, restaurantes, etc.). Aunque las ciudades han evolucionado mucho durante estos últimos años, la relación de las principales fuentes de ruido urbano apenas ha sufrido cambios y, en todo caso, esas fuentes siguen estando relacionadas hoy con las actividades humanas realizadas en esos entornos concretos, tal como ya hemos tenido ocasión de comentar en un apartado anterior de este capítulo (Brown et al., 1930) (García, 2006).

### 1.3.1. Características generales del ruido urbano

El campo acústico de una zona urbana está compuesto por una enorme variedad de fuentes sonoras diferentes. Algunas de esas fuentes sonoras son continuas, en tanto que otras funcionan esporádica o intermitentemente. Algunas de ellas están presentes en el mismo lugar en el que nos encontramos, en tanto que otras pueden estar más o menos alejadas de ese lugar. Algunas fuentes son de alta intensidad, en tanto que otras pueden ser apenas audibles. Algunas tienen un espectro de frecuencias amplio, en tanto que en otras ese espectro es de banda estrecha. La importancia de la contribución de todas estas fuentes sonoras al ambiente acústico de una cierta ciudad depende de sus características específicas, así como del lugar en el que se encuentran las fuentes y de la configuración urbanística de su entorno inmediato (Brambilla, 2001).

En la mayoría de las ciudades, la estructura básica de un mapa de ruido está determinada principalmente por el trazado urbanístico de sus calles y vías de tráfico principales. La presencia en estas calles de un número más o menos elevado de fuentes sonoras puntuales (vehículos) determina la existencia en la práctica de fuentes sonoras lineales orientadas a lo largo de las correspondientes líneas de tráfico, que dan lugar a la creación de un campo acústico con simetría semicilíndrica. Como es natural, esta forma geométrica ideal se ve fuertemente alterada por la presencia de los edificios y de las calzadas presentes en las estructuras urbanas. Superponiéndose a esta configuración básica, se pone de manifiesto la presencia de un número muy alto de fuentes sonoras singulares, tales como una industria, un estadio deportivo, un acondicionador de aire, un patio de recreo de una escuela, una excavadora, un altavoz, un avión aterrizando, etc., fuentes que presentan una gama de intensidades enormemente variada. En todo caso, es evidente que su influencia sobre el ambiente acústico general de una ciudad dada tiene un carácter localizado y tal vez esporádico, muy diferente de la omnipresencia espacial y temporal que caracteriza al tráfico rodado. Naturalmente, esta afirmación no nos debe hacer olvidar que la presencia de algunas de tales fuentes sonoras en unas determinadas zonas urbanas puede resultar tan significativa como el ruido de tráfico, y en ocasiones incluso mucho más que éste. Esta cualidad debe tenerse siempre en cuenta a la hora de evaluar el ambiente sonoro de un determinado entorno urbano.

En cualquier caso, es evidente que la superposición de los sonidos emitidos por todas las fuentes sonoras que puedan estar presentes en una ciudad o un gran espacio urbano da lugar a un campo acústico de extraordinaria complejidad, que se caracteriza por grandes variaciones en los niveles de ruido dependiendo de las fuentes presentes o predominantes en un determinado emplazamiento y de la variación de esta situación en el transcurso del tiempo. Dicho de otro modo, los niveles sonoros en los

medios urbanos se caracterizan por su importante variación espacial y temporal. En consecuencia, una buena parte de los esfuerzos realizados en la evaluación del ruido urbano en una gran ciudad está destinada a desarrollar métodos capaces de dar cuenta de forma adecuada de esta variación espacial y temporal (Brambilla, 2001).

Cualesquiera que sean las características de esta variabilidad temporal en un entorno determinado, ésta se produce siempre por encima de un cierto ruido de fondo, es decir, un nivel sonoro de baja intensidad y prácticamente estacionario producido por las condiciones acústicas del entorno cercano y remoto. Estas condiciones configuran lo que algunos investigadores conocen como “paisaje sonoro” de esa zona en particular, un enfoque muy interesante del ambiente acústico de los espacios naturales y urbanos, al margen de que éstos sean más o menos ruidosos. Puede ser importante recordar que los investigadores del Laboratorio de Psicoacústica del Instituto de Acústica del C.S.I.C. han realizado diferentes estudios relacionados con este tema y los aspectos perceptivos en acústica ambiental (Schaffer, 1977) (López et al., 2000) (Truax, 2001).

### 1.3.2. Realización de mapas sonoros en España

Como es natural, a lo largo de estas últimas décadas se han realizado una ingente cantidad de mapas sonoros en numerosas ciudades de todo el mundo. Aunque muchos de estos estudios se refieren a las grandes ciudades de los países industrializados, en los Estados Unidos y Europa, no es infrecuente el caso en que este tipo de trabajos se haya llevado a cabo en ciudades grandes, medias o incluso pequeñas de países en vías de desarrollo e incluso del tercer mundo. En las revistas especializadas se puede consultar la metodología, los objetivos y los resultados de muchos de estos estudios, de indudable valor científico e informativo (Mochizuki, 1967) (Price, 1972) (Malchaire, 1975) (Cosa, 1979) (Myncke, 1979) (Brown y Lam, 1987) (Bisio, 1996).

En este sentido, nos parece importante mencionar aquí que, a lo largo de las tres últimas décadas del pasado siglo se realizaron también los mapas sonoros de un buen número de ciudades españolas. En cualquier caso, no deberíamos perder de vista el hecho de que la forma y las condiciones en que esos estudios históricos fueron llevados a cabo tienen muy poco que ver con los objetivos y la metodología que han orientado en estos últimos años la realización de los denominados mapas estratégicos de ruido en nuestras grandes ciudades, elaborados en el marco de la Directiva Europea 2002/49/CE, la Ley del Ruido 37/2003 y los Reales Decretos 1513/2005, 1367/2007, 1371/2007 y 1675/2008, que desarrollan la aplicación de esas normas básicas en nuestro país. En este apartado nos limitaremos a presentar una visión general sobre algunos de esos trabajos, sin entrar en el tema de leyes y normativas, dado que esa cuestión será tratada en otros capítulos de este mismo libro (Directiva, 2002) (Ley, 2003) (Real Decreto, 2005) (Real Decreto, 2007a) (Real Decreto, 2007b) (Real Decreto, 2008).

Probablemente, las primeras medidas rigurosas de niveles de ruido ambiental en zonas urbanas de España fueron realizadas en los años setenta del pasado siglo por los investigadores del Instituto de Acústica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en algunos emplazamientos del centro de Madrid. Entre otras conclusiones, estas medidas pusieron claramente de manifiesto que la fuente de ruido ambiental más importante en esas zonas urbanas era el tráfico rodado. Los niveles sonoros medidos en dieciséis lugares diferentes de esos puntos durante el periodo diurno (todos con tráfico muy intenso) variaban entre los 68 y los 79 dBA (Santiago, 1968).



A finales de esa misma década, un grupo de investigadores del Departamento de Física de la Universidad de Santander llevó a cabo una serie de medidas de niveles de ruido ambiental en dicha ciudad con el fin de estudiar la aplicabilidad de un modelo semiempírico de predicción de dichos niveles sonoros en medios urbanos. Se tomaron en consideración un total de 24 emplazamientos urbanos diferentes, llevando a cabo las medidas en cuatro tramos horarios diferentes del período diurno. Los correspondientes niveles sonoros equivalentes (no representativos del conjunto urbano) variaban entre 70 y 82 dBA, con un valor medio de 74.8 dBA (García et al., 1977).

Tras algunas medidas previas, el primer mapa sonoro de la ciudad de Valencia fue realizado por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Valencia entre los años 1979 y 1981. En este trabajo se consideraron un total de 380 puntos de medida diferentes, cubriendo prácticamente todo el tejido urbano (según una retícula regular). Las correspondientes medidas fueron llevadas a cabo en periodo diurno, entre las 8.00 y las 22.00 horas. Los niveles sonoros equivalentes medidos variaban entre 56 y 81 dBA, con un valor medio de 69.9 dBA. En años posteriores fueron realizadas otras medidas de ruido ambiental en esta ciudad (García y Fajarí, 1981).

A lo largo de 1984, se confeccionó el mapa sonoro de la ciudad de Gandía, junto con otros estudios y medidas complementarios. Este mapa sonoro constaba de 47 puntos de medida diferentes, distribuidos de acuerdo con una retícula regular. Los valores de los correspondientes niveles sonoros equivalentes diurnos variaban entre 50 y 77 dBA, con un valor medio de 65.9 dBA. Estas medidas fueron acompañadas por la realización de una encuesta social muy completa con el fin de evaluar la respuesta subjetiva de los residentes ante el ruido ambiental (García y Romero, 1987).

Entre 1986 y 1991, en el marco de un convenio firmado entre el Ayuntamiento de Madrid y el Instituto de Acústica del C.S.I.C., se llevó a cabo un mapa acústico muy completo de la ciudad de Madrid. Este trabajo se basó en la realización de medidas en días laborables, entre las 10.00 y las 18.00 horas. Los emplazamientos estaban situados en los vértices de una retícula regular de 250 metros de lado. Los valores medios de los niveles sonoros equivalentes obtenidos en estas medidas variaban entre 48 y 81 dBA, con un valor medio de 67.5 dBA. Éste es tal vez el conjunto más completo de medidas de ruido ambiental urbano realizadas nunca en nuestro país (Pons et al., 1988).

En el año 1988 se llevó a cabo el mapa sonoro de Pamplona. Las 170 medidas de niveles sonoros en esta ciudad estaban regularmente distribuidas según un reticulado de 220 metros de lado. Todas las medidas se realizaron en periodo diurno, entre las 8.00 y las 22.00 horas, aunque en algunos de los puntos de medida se llevaron a cabo también medidas continuas durante las 24 horas del día y varios días consecutivos. Los valores medios de los niveles sonoros equivalentes diurnos variaban entre 46 y 81 dBA, con un valor medio de 65.9 dBA. Este estudio se completó con la realización de una encuesta entre los residentes de la ciudad sobre el problema del ruido ambiental y el desarrollo de una fórmula semiempírica de predicción (Arana y García, 1990).

Entre los años 1988 y 1989 se obtuvo el mapa sonoro de Zaragoza. Los trabajos fueron llevados a cabo por el propio Ayuntamiento de esa ciudad, con la colaboración de la empresa García BBM. En la realización de estas medidas se utilizó un reticulado regular de 200, 500 ó 1000 metros de lado (en función de las características de las zonas urbanas) y se obtuvieron los valores de los índices per-



centiles y los niveles equivalentes diurnos, nocturnos y a lo largo de las 24 horas del día. En particular, el valor medio de los niveles sonoros equivalentes en periodo diurno fue 64.3 dBA (Celma, 1990).

Durante todos estos años, se realizaron otras medidas de ruido ambiental en otras muchas ciudades de España, de características muy diferentes. Con el fin de abreviar esta exposición, dichos trabajos no serán citados explícitamente aquí. Una recopilación bastante completa de tales aportaciones se puede encontrar en un estudio realizado hace ya algún tiempo por el autor de este capítulo (García, 1996).

### 1.3.3. La evolución temporal de la contaminación sonora

En el pasado, la mayoría de las medidas de ruido ambiental en medios urbanos llevadas a cabo con el fin de confeccionar el mapa sonoro de una ciudad o de una zona urbana más o menos extensa se han basado en la realización de una serie de medidas diurnas de corta duración (15-20 minutos), en general distribuidas regularmente en el espacio a estudiar. Ahora bien, la información que suelen proporcionar los mapas sonoros obtenidos de este modo es incompleta, en tanto que en ellos no se suele contemplar la gran variabilidad temporal que caracteriza al ruido ambiental. En consecuencia, los estudios del ambiente acústico en los medios urbanos no deben limitarse sólo al periodo diurno, sino que deben incluir también el periodo nocturno, es decir, deben cubrir las 24 horas del día. De hecho, en la realización de este tipo de medidas se debería tener en cuenta también la variación de los niveles de contaminación sonora a lo largo de los siete días de la semana, e incluso la variabilidad estacional (invierno/verano), que se manifiesta con rotundidad en no pocos casos. Esta exigencia dificulta mucho la realización de las medidas o los cálculos a llevar a cabo en el sentido indicado. En numerosos libros y revistas se puede encontrar información sobre este tema (García y Garrigues, 1998) (Brambilla, 2001).

Sin embargo, la evolución temporal de los niveles sonoros en medios urbanos a la que queremos referirnos especialmente en este apartado no es la que se produce a lo largo de las 24 horas del día ni siquiera a lo largo de las diferentes épocas del año, sino a lo largo de periodos de tiempo mucho más dilatados que todo esto, concretamente a lo largo de varios años consecutivos. Aunque se trata de un tema de enorme importancia, no existe demasiada información objetiva sobre el mismo. Esta situación no resulta sorprendente si tenemos en cuenta que la realización del mapa sonoro de una gran ciudad, por ejemplo, exige la utilización de cuantiosos recursos humanos y materiales. En consecuencia, los intentos de repetir esos trabajos a lo largo del tiempo, por ejemplo, con una periodicidad de cinco años, suelen tropezar con muchas dificultades prácticas. Pese a ello, todos hemos escuchado o leído en alguna ocasión en los medios de comunicación que “el problema de la contaminación acústica se ha ido agravando considerablemente durante estos últimos años”, aunque estas afirmaciones son casi siempre el fruto de apreciaciones puramente subjetivas y carecen del necesario respaldo científico.

El tema que ahora nos ocupa fue estudiado por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Valencia hace algunos años. Este estudio consistió fundamentalmente en comparar los resultados encontrados en cuatro series diferentes de medidas de niveles de ruido ambiental en periodo diurno llevadas a cabo en condiciones comparables en una amplia muestra de emplazamientos de la ciudad de Valencia entre los años 1979 y 1992 (García y Fajarí, 1981) (García y Bernal, 1985) (García, 2006).

Los resultados más significativos de estas cuatro series de medidas son los valores medios de los niveles sonoros equivalentes medidos en esas condiciones. Estos valores fueron 69.9, 71.3, 69.0 y 70.5 dBA, con unas desviaciones típicas de 6.1, 4.3, 5.4 y 4.9 dBA, respectivamente. Evidentemente, las diferencias entre los valores medios del nivel sonoro equivalente encontrados en dichas medidas son extraordinariamente pequeñas y, en cualquier caso, muy inferiores a las correspondientes desviaciones típicas. A la vista de estos resultados, parece justificado establecer la conclusión de que los niveles medios de ruido ambiental diurno en la ciudad de Valencia se han mantenido prácticamente constantes durante los años indicados.

Nos parece importante recordar que, en términos generales, las variaciones que se puedan producir en los niveles de ruido ambiental existentes en una determinada ciudad están relacionadas directamente con las variaciones de sus niveles de actividad. Dado que, salvo situaciones singulares, la fuente de ruido ambiental más importante en las zonas urbanas es el tráfico rodado, las variaciones en los niveles de contaminación acústica en una ciudad estarán originadas sobre todo por las variaciones que haya experimentado dicho tráfico. Sin embargo, los resultados de nuestras medidas ponen de manifiesto que el aumento de tráfico rodado que sin duda ha soportado dicha ciudad (como reflejan los datos proporcionados en su día por el propio Ayuntamiento, y que fueron tenidos en cuenta en el mencionado estudio) no se tradujo en un incremento de los correspondientes niveles sonoros medios. Ante este resultado aparentemente paradójico, se debe concluir que los efectos negativos de dicho aumento en el tráfico rodado han sido compensados por otros factores significativos de este problema que pudieran haber variado también a lo largo de esos mismos años. Es probable que este papel compensador esté relacionado con las mejoras técnicas de los vehículos, el rejuvenecimiento general experimentado por el correspondiente parque de vehículos y la desaparición casi absoluta en nuestras calles de ciertos vehículos a motor muy pintorescos y particularmente ruidosos.

Aunque la conclusión a la que estamos refiriéndonos pueda parecer sorprendente, no es la única que apunta a una cierta estabilización (o incluso una ligera disminución) de los niveles medios de ruido observados a lo largo de estos últimos años en diferentes ciudades. Pese a que los datos de que disponemos al respecto son todavía muy escasos, la tendencia general en el sentido indicado se pone de manifiesto con relativa claridad. Si las políticas de control del ruido ambiental actualmente en vigor en la mayoría de los países europeos se refuerzan en los próximos años, es plausible confiar en que se produzca una mejora significativa respecto a la situación actual, por supuesto, siempre que la intensidad del tráfico rodado o la presencia de otras fuentes de ruido urbano no aumenten demasiado respecto a los valores actuales (Kozák, 1992) (Arana y García, 2001).

#### **1.4. Los efectos de la contaminación acústica**

La posibilidad de que la contaminación acústica produzca efectos negativos sobre la salud de las personas ha estimulado en gran medida la investigación de este campo y ha constituido una motivación importante en la lucha contra este fenómeno. En particular, los efectos de la exposición a niveles muy elevados de ruido ambiental en algunos centros de trabajo sobre la capacidad auditiva de los trabajadores son bien conocidos desde hace mucho tiempo. En este sentido, se considera que el riesgo de que los trabajadores sufran pérdidas auditivas es despreciable para niveles de exposición al ruido por debajo de 75 dBA durante las ocho horas de una jornada normal de trabajo. Por otra parte, la pérdida de la capacidad auditiva relacionada con la exposición de las personas a niveles elevados de



ruido urbano (lo que denominamos socioacusia) se ha convertido también en un problema importante para muchas personas, aunque los datos disponibles hoy sobre este problema ponen de manifiesto la existencia de una amplia variabilidad en la sensibilidad humana en relación con la exposición al ruido (Kryter, 1985) (Berglund et al., 1995).

De entrada, la cuestión de establecer con total claridad qué entendemos por salud y, por lo tanto, a qué nos referimos realmente cuando hablamos de los efectos del ruido ambiental sobre la salud, es fundamental en el contexto en que nos encontramos, aunque esa pregunta es muy difícil de responder. Según la definición de la Organización Mundial de la Salud, la salud de las personas no hay que entenderla como una simple ausencia de enfermedad, sino como un estado de completo bienestar físico, mental y social. En este sentido, los efectos más importantes de la contaminación sonora sobre la salud se pueden agrupar en seis grandes grupos: a) efectos sobre el aparato auditivo, b) efectos mediados por el estrés, c) interferencia con la comunicación verbal, d) efectos sobre la realización de tareas, e) perturbación del sueño, y f) molestia subjetiva (Taylor et al., 1987) (García, 1990) (Berglund et al., 1995) (Guski, 2001).

#### **1.4.1. Efectos sobre el aparato auditivo**

Sin duda alguna, los efectos del ruido sobre el aparato auditivo son los que mayor atención han merecido siempre por parte de muchos investigadores y, por lo tanto, los que se consideran mejor conocidos en la actualidad. El daño auditivo consiste básicamente en pérdidas de células ciliadas y modificaciones en su estructura y funcionamiento normal. Cuando los niveles acústicos superan ciertos valores límite, se pueden producir lesiones irreversibles en la cóclea. En este sentido, habría que distinguir dos tipos de efectos muy diferentes: el fulminante, producido por sonidos de intensidad muy alta, y el prolongado, como resultado de la persistencia de estímulos no tan elevados, pero que se mantienen durante tiempos de exposición dilatados, del orden de varios años. El efecto fulminante puede tener lugar, por ejemplo, en personas expuestas a explosiones o disparos de fuegos artificiales. La elevada presión sonora que se produce en tales casos no sólo afecta al oído interno, sino que provoca además lesiones anatómicas en el oído medio, con desgarramiento de la membrana del tímpano y luxación de la cadena osicular. Este efecto traumático ha sido observado para sonidos con niveles superiores a los 140-150 decibelios. Sin embargo, el efecto más significativo de la exposición continuada a niveles sonoros muy elevados es la hipoacusia inducida por el ruido (disminución de la capacidad auditiva). Este efecto es relativamente frecuente en el caso de personas expuestas a niveles de ruido ocupacional elevados, relacionados, por ejemplo, con la práctica de la caza o el tiro, la escucha de música amplificadas o la conducción de motocicletas (García, 1990).

#### **1.4.2. Efectos mediados por el estrés**

Desde hace algún tiempo se sabe que, además de los efectos específicos a los que acabamos de referirnos (sistema auditivo), la exposición al ruido produce también muchos efectos no específicos. En particular, diferentes autores han señalado que el ruido puede producir varios efectos mediados por el estrés, entre los que se han señalado sobre todo el incremento de la presión sanguínea, el ritmo cardíaco y la vasoconstricción. La magnitud y la duración de estos efectos vienen determinadas, en gran medida, por la sensibilidad individual ante el ruido y las formas de vida de las personas afectadas. Se ha relacionado también con las reacciones de estrés la ocurrencia



de alteraciones del aparato digestivo o disfunciones en el sistema inmunitario de defensa, por mencionar tan sólo algunos de los efectos más importantes. Sin embargo, hay que señalar que los resultados obtenidos hasta ahora en este sentido son un tanto contradictorios, apuntando claramente a la necesidad de realizar más estudios sobre el tema (Kryter, 1985) (García, 1990) (Berglund et al., 1995).

### **1.4.3. Interferencia con la comunicación verbal**

Como es bien sabido, la percepción del habla con suficiente integridad es un factor de enorme importancia para el bienestar social de las personas. De hecho, la interferencia con la comunicación oral (o con cualesquiera otras señales sonoras) es uno de los efectos de la contaminación acústica más generalizados y que más molestias provoca. Además de los efectos directos de dicha interferencia con la comunicación, que se manifiesta en una disminución más o menos significativa del nivel de inteligibilidad en las correspondientes comunicaciones orales, hay que recordar que la existencia de niveles de ruido ambiental particularmente elevados en algunos medios laborales puede contribuir a la ocurrencia de accidentes, al dificultar la percepción de ciertos mensajes sonoros de aviso o alarma por parte de los trabajadores, y puede producir también algunos problemas en la laringe de esos trabajadores, dado que éstos se ven obligados a forzar la voz continuamente con el fin de poder comunicarse con sus compañeros (Kryter, 1985) (Berglund et al., 1995).

Por razones fáciles de entender, la interferencia de la contaminación sonora con el habla adquiere una especial importancia en los procesos educativos, en cualquiera de sus niveles. En particular, las diferentes investigaciones llevadas a cabo sobre esta importante cuestión han puesto de manifiesto que la exposición de los niños en las aulas a niveles de ruido particularmente elevados (por ejemplo, los originados por el tráfico rodado intenso o por el sobrevuelo de aviones sobre los edificios) deteriora la calidad de los procesos cognitivos o el aprendizaje de la lectura. Durante estos últimos años los efectos del ruido ambiental sobre los alumnos en centros de enseñanza de nuestro país han sido estudiados por varios investigadores (Romero et al., 1992) (López, 1995) (Recuero, 1995).

### **1.4.4. Efectos sobre la realización de tareas**

Los posibles efectos adversos de la contaminación acústica sobre la realización de tareas (actividades mentales y psicomotoras) han sido motivo de preocupación desde hace mucho tiempo. Entre los varios mecanismos que se han propuesto para interpretar estos efectos habría que destacar la competencia del sonido con el mecanismo fisiológico de la atención (originando una cierta distracción o interferencia con la actividad considerada), la sobrecarga de estímulos (en términos tales en que esa sobrecarga se pueda traducir en un detrimento de la tarea a realizar), y la sensación de molestia generalizada producida por el ruido, asociada en algunas ocasiones a un sentimiento de inseguridad y peligro más o menos grave, o a la incapacidad de controlar debidamente el ambiente sonoro. Aunque existen situaciones en las que la recepción de ciertos mensajes sonoros (caso de la música ambiental) puede favorecer la realización de algunas actividades, está demostrado que el ruido perjudica la realización de tareas que requieren una especial concentración mental. Algunos autores han observado también que los ruidos de muy baja frecuencia producen somnolencia, con el consiguiente riesgo de accidentes laborales (García, 2006).

### 1.4.5. Perturbación del sueño

Una de las consecuencias más fácilmente identificables y negativas del impacto de la contaminación sonora sobre las personas es su interferencia con el sueño. Se sabe que este factor ambiental puede afectar considerablemente los patrones normales del sueño de las personas dificultando su inicio, interrumpiendo su transcurso o alterando sus patrones cíclicos. La exposición a niveles de ruido relativamente elevados durante la noche puede dar lugar también a la aparición de efectos secundarios, es decir, alteraciones que se manifiestan el día siguiente al de la exposición, y que suelen consistir en un aumento de fatiga, disminución del bienestar y deterioro en la realización de tareas. Con el fin de evitar estos efectos, los valores del nivel sonoro equivalente durante el sueño no deberían exceder los 30-35 dBA (Vallet, 1987) (Vallet, 2001).

En relación con los efectos de la contaminación acústica sobre el sueño de las personas, podríamos recordar que, durante los años ochenta y noventa, el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Valencia llevó a cabo una serie de investigaciones sobre este tema en diferentes localidades de la Comunidad Valenciana, entre las que podemos mencionar a Valencia, Gandía, Alcoy y Aldaya, entre otras. Estos estudios se basaron en la realización de una serie de encuestas sociales entre una muestra de residentes de tales localidades, constituida por un total de 4.500 personas. Como es natural, las respuestas individuales a las preguntas planteadas en los cuestionarios que se prepararon con este fin (orientadas a la evaluación de la molestia en general, la interferencia con el sueño o la perturbación de actividades, como efectos de la contaminación acústica a la que estaban expuestas cotidianamente las personas encuestadas en sus viviendas) dependen de las condiciones específicas existentes en los lugares en que viven, así como de su sensibilidad hacia las diferentes fuentes de ruido ambiental (García, 2006).

En particular, la importancia de la interferencia del ruido sobre el sueño de los encuestados fue evaluada a través de dos preguntas estándar relativas a la dificultad en conciliar el sueño y al número de despertamientos producidos durante la noche a causa del ruido ambiental. Aunque también en este sentido la variabilidad de las respuestas de los encuestados es elevada, los resultados de estos estudios pusieron de manifiesto que un 8 ó 10% de las personas entrevistadas tienen dificultades evidentes para conciliar el sueño o que se despiertan frecuentemente a causa del ruido ambiental al que están expuestos en sus hogares durante la noche. Ciertamente, este porcentaje es muy elevado. En particular, si introducimos la hipótesis perfectamente plausible de que la muestra de zonas urbanas incluidas en estos estudios en las ciudades de la Comunidad Valenciana es representativa del conjunto de ciudades españolas con más de 20.000 habitantes, el citado resultado supondría que al menos más de dos millones de españoles ven perturbado seriamente su sueño como consecuencia de la contaminación acústica (García, 2006).

### 1.4.6. Molestia subjetiva

Sin duda alguna, el efecto más importante de la contaminación acústica sobre las personas es la molestia subjetiva. La probabilidad de que se manifieste una sensación de molestia entre las personas expuestas al ruido aumenta con el número y el nivel sonoro de los episodios a que están expuestos. Este aumento suele ser más sistemático que cualquier otra reacción al ruido ambiental, hasta el punto de que, en la actualidad, los especialistas, los políticos o los jueces consideran que el porcentaje de



personas altamente molestas por la contaminación sonora en una cierta comunidad es el mejor indicador de la existencia de un problema de ruido en esa comunidad (Guski, 2001).

La definición de molestia más aceptada por los expertos es la formulada por Lindvall y Radford a principios de la década de los setenta. De acuerdo con estos autores, la molestia (en inglés, *annoyance*) es una sensación de malestar asociada con la presencia de un agente o condición al que una determinada persona o grupo de personas considera como el causante de efectos negativos o adversos para ellas. El significado de la palabra molestia está relacionado con el de la palabra perturbación (*disturbance*) o incomodidad (*nuisance*), hasta el punto de que, en más de una ocasión, todos estos términos se han utilizado como sinónimos para referirse a la disminución general del bienestar o la calidad de vida de las personas expuestas a niveles más o menos elevados de ruido ambiental (Lindvall et al., 1973) (Berglund et al., 1995) (Guski, 2001).

En las grandes ciudades de todo el mundo, las molestias producidas por el ruido ambiental pueden afectar a un porcentaje muy elevado de los residentes. La evaluación de la respuesta subjetiva de una determinada comunidad frente a la contaminación acústica suele basarse en la realización de encuestas personales o en el análisis de las reacciones que puede suscitar este problema entre los afectados. El objetivo fundamental de estos trabajos ha consistido generalmente en relacionar el nivel o cuantía de dicha molestia (como observable subjetivo) con los niveles sonoros a los que está sometida una cierta comunidad de personas. La existencia de factores de carácter individual (tales como la edad, el nivel de educación o la sensibilidad al ruido), así como variables propias de la fuente sonora considerada (como su intensidad o el carácter continuo o esporádico del ruido en cuestión), junto con otros condicionantes de naturaleza muy diversa determinan una gran variabilidad personal en la cuantía de la molestia ante la contaminación sonora, una cualidad que dificulta mucho la realización de este tipo de estudios (Berglund et al., 1995) (Martimortugués et al., 2003) (García, 2006).

Dado que la molestia que produce una exposición al ruido ambiental de una cierta persona es un observable completamente subjetivo, no se puede medir mediante ningún instrumento, a diferencia de lo que sucede, por ejemplo, con el observable “nivel de ruido”, que es una magnitud física y como tal se puede medir de forma objetiva contando con un instrumento, un sonómetro, y utilizando una unidad dada, el decibelio. Hoy por hoy, la única forma de evaluar dicha molestia es a través de la realización de encuestas sociales, utilizando cuestionarios con preguntas adecuadas a dicho fin, preguntas que no están estandarizadas, sino que son diseñadas libremente por los investigadores, de acuerdo con los objetivos de su trabajo (Langdon, 1976) (Aguerri et al., 1991)

En este sentido, puede ser interesante recordar que una de las preguntas incluidas en el cuestionario utilizado por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Valencia en una encuesta realizada en el año 1986 sobre 263 residentes de cinco emplazamientos diferentes de la ciudad de Valencia, con el objeto de evaluar el nivel de molestia que esas personas experimentaban ante la exposición al ruido de tráfico, decía textualmente “¿en que medida le molesta a Vd. el ruido de tráfico que percibe cuando se encuentra en su casa?”. Para responder a esta pregunta, los mencionados encuestados debían seleccionar una de las respuestas siguientes: mucho, bastante, regular, poco y nada. Procediendo de este modo, se proporcionaba un valor numérico (del uno al cinco, en este caso) a la citada escala semántica, lo cual facilitaba considerablemente el posterior tratamiento estadístico de los resultados obtenidos en la encuesta en cuestión (García, 1990).



Es probable que muchas de las investigaciones que se lleven a cabo en este mismo sentido en el futuro sigan las recomendaciones que se recogen en un estudio realizado en fechas relativamente recientes por la International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN). Los investigadores que realizaron este estudio sugirieron la inclusión de dos preguntas estándar en todos los cuestionarios destinados a evaluar la molestia subjetiva producida por la contaminación sonora, al margen de cuáles sean los objetivos de dichos cuestionarios. La inclusión de estas preguntas de referencia en las encuestas que se realicen en el futuro en este campo facilitará mucho la comparación entre los resultados obtenidos en estudios diferentes, un objetivo muy difícil de alcanzar cuando la evaluación de la molestia producida por la contaminación sonora se lleva a cabo utilizando preguntas planteadas de forma diferente (Fields et al., 1998) (García et al., 1999).

En ocasiones, cuando se analizan los resultados obtenidos para evaluar la molestia producida por la exposición a la contaminación sonora de una cierta comunidad, puede ser interesante determinar el porcentaje de personas que se declaran “altamente molestas” (*highly annoyed*) por el ruido ambiental cuando se encuentran en sus hogares. Con el fin de satisfacer esta condición, se recomendó hace algún tiempo la convención de considerar como tales el 25% superior de la escala numérica utilizada para cuantificar el nivel subjetivo de molestia (aproximadamente). Por ejemplo, si la escala en cuestión tiene once niveles, la aplicación de esta convención supondría tomar los tres niveles más altos de esa escala, en tanto que si la escala es de siete niveles, sólo habría que tener en cuenta los dos niveles superiores de la misma (Guski, 2001).

El estudio de la relación entre la exposición al ruido ambiental y la molestia que esa situación origina en las personas afectadas es una cuestión de enorme interés en el contexto que estamos considerando, dado que, en última instancia, lo que se pretende en estos estudios es determinar una relación causa-efecto. Para ilustrar este tema, es oportuno referirnos a un trabajo considerado como una de las aportaciones clave en este sentido y que consistió fundamentalmente en la comparación de los resultados encontrados en once estudios diferentes realizados durante las décadas de 1960 y 1970 en diferentes países de Europa y en Estados Unidos (incluyendo como fuentes de ruido principales el tráfico rodado, los aviones y los ferrocarriles). Como resultado de este trabajo, podemos afirmar, por ejemplo, que para un nivel sonoro equivalente día-noche del orden de 60 dBA, sólo un 8% de las personas que constituyen una cierta comunidad se consideran seriamente perturbadas por la contaminación sonora. Sin embargo, este porcentaje aumenta hasta el 24% para niveles sonoros de 70 dBA, y llega hasta el 60% para 80 dBA. Si tenemos en cuenta que en numerosas zonas urbanas de España los niveles sonoros equivalentes día-noche superan los 70 dBA, es muy fácil llegar a la conclusión de que la exposición al ruido ambiental constituye un problema de enorme importancia para muchos de nuestros conciudadanos (Schultz, 1978) (García, 2006).

Aunque el nivel de molestia que sufren las personas expuestas a la contaminación acústica depende fundamentalmente del correspondiente nivel sonoro, en el marco de una cierta relación de dosis-respuesta, diferentes estudios han demostrado que dicho nivel de molestia depende también de numerosos factores personales y sociales de los individuos afectados. Dentro de estos factores sociales podríamos incluir factores tan diversos como la valoración general de las diferentes fuentes de ruido por parte de los afectados o su confianza en las autoridades “responsables” de la situación que ha dado lugar a su actual situación. Se podrían incluir aquí, por ejemplo, desde la administración local hasta los responsables de un aeropuerto, de quienes mucha gente puede pensar que no se esfuerzan

lo suficiente para resolver o atenuar el problema que les afecta directamente. La evolución de una determinada exposición al ruido ambiental puede ser también un factor social de gran importancia. Es posible que las personas que han vivido en las proximidades de una autopista, una vía de ferrocarril, o un aeropuerto durante años hayan observado cómo los niveles de contaminación sonora a los que están expuestos han aumentado paulatinamente con el tiempo. Es bastante probable que esas mismas personas piensen actualmente que ese incremento seguirá produciéndose en el futuro y, como es natural, ese convencimiento les lleva a contemplar su situación actual con un mayor nivel crítico y de rechazo de lo que sería normal en otras circunstancias (Guski, 2001) (García, 2006).

### 1.4.7. Efectos económicos

Además de todos los efectos del ruido sobre la salud de las personas a los que nos hemos referido anteriormente, es interesante también tener en cuenta el hecho de que la exposición cotidiana a niveles más o menos elevados de contaminación acústica puede producir ciertos efectos económicos sobre los individuos y sobre las propiedades. Todos deberíamos ser conscientes de que el hecho de que la contaminación sonora tenga efectos más o menos importantes sobre la salud, el bienestar y la calidad de vida de las personas afectadas significa, en términos socioeconómicos, que el ruido ambiental tiene también un cierto coste social (Alexandre et al., 1987) (Organisation, 1991).

Como es sabido, en la sociedad actual, toda actividad económica va acompañada por una contrapartida monetaria. Por ejemplo, la compra de un par de zapatos es un acto voluntario de intercambio de esa mercancía por una cierta cantidad de dinero, según las leyes del mercado libre. Desgraciadamente, la realidad no responde siempre a un esquema tan simple como el que acabamos de indicar, dado que, en muchos casos, las actividades económicas van acompañadas por un cierto coste social, que generalmente no se tiene en cuenta. Para ilustrar esta afirmación, supongamos que en algún lugar de una ciudad se están construyendo unos edificios. Como ya hemos señalado en otro apartado, las obras de construcción son una fuente de ruidos muy frecuente en todas nuestras ciudades y, por lo tanto, una causa de molestias más o menos importantes para sus los residentes. Las personas que viven en la proximidad de dichas obras están sujetas al perjuicio que origina el ruido sin que tenga lugar una transacción de tipo económico que las compense por ello, dado que las empresas constructoras de edificios se consideran con pleno derecho para producir cualquier ruido. Si a este “derecho” a producir un ruido se le asignara un precio a pagar por el agente que lo origina, las reglas del mercado podrían reflejar más o menos ajustadamente el coste social del ruido producido y éste alcanzaría un nivel cuyo valor estaría relacionado con dicho precio. El problema radica en que la contaminación acústica es un problema al que no se le aplican las leyes del mercado. En general, ignoramos el coste social del ruido o, en otras palabras, no conocemos el precio que la sociedad estaría dispuesta a pagar para reducir los niveles de ruido a los que está expuesta. La evaluación del coste social de la contaminación sonora podría revestir una gran importancia como base de criterios objetivos para la promulgación de normativas orientadas a disminuir el impacto negativo de determinadas fuentes sonoras o actuaciones urbanísticas (Alexandre et al., 1987) (Martimortugués, 2005).

Sin embargo, hay casos en que el problema del que estamos hablando puede ser bastante más sencillo. Por ejemplo, en el mercado de la vivienda, el valor de una casa no sólo refleja el coste de la construcción propiamente dicha, sino que dicho valor depende también, más o menos acusadamente, de las condiciones del entorno en que esa vivienda está situada (proximidad a zonas verdes, abundancia



de equipamientos, existencia de una buena red de transporte público, ambiente silencioso, etc.). En este contexto, es posible que, entre otros factores, los niveles de contaminación acústica existentes en ese lugar afecten al precio (valoración) de la vivienda en cuestión. El tema resulta tan atractivo que no sorprende demasiado que muchos autores le hayan dedicado alguna atención a lo largo de estos últimos años. En este contexto, se han propuesto diferentes técnicas de evaluación del coste del ruido, que implican estrategias muy diferentes y que conducen a resultados también diferentes. Como acabamos de indicar, una de las aproximaciones más claras en tal sentido se basa en analizar la depreciación en el precio de una vivienda (tanto en operaciones de compra-venta como en operaciones de alquiler) motivado por el carácter más o menos ruidoso del entorno en que se encuentra tal vivienda. Como es natural, los resultados encontrados en la evaluación de esta depreciación muestran una gran variabilidad, y se suelen cifrar en el 1% del correspondiente coste por cada dBA de diferencia. De acuerdo con esta estimación, es posible calcular, por ejemplo, que una vivienda que tuviera un valor del orden de 400.000 euros, situada en un entorno urbano expuesto a un nivel sonoro de 50 dBA, experimentaría una depreciación de unos 80.000 euros si estuviera en un entorno expuesto a 70 dBA (Lambert, 2002)

### **1.5. El control de la contaminación acústica**

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico afirmó hace ya algunos años que la importancia de la contaminación acústica podía aumentar todavía más en el futuro, debido fundamentalmente a la utilización cada vez mayor de fuentes de ruido muy potentes (vehículos de transporte, aviones, maquinaria pesada, etc.), a la dispersión geográfica de estas fuentes de ruido (unida a una mayor movilidad de las personas), y a la extensión temporal del fenómeno (sobre todo durante las noches). A pesar de los muchos esfuerzos dedicados a controlar la contaminación acústica en estos últimos años, se ha estimado recientemente que un 25% de los europeos están expuestos, de una forma u otra, a niveles sonoros diurnos superiores a los 65 dBA. Muchos millones de personas de todo el mundo consideran hoy en día que los esfuerzos para controlar el ruido ambiental al que están expuestos cotidianamente debería ser un tema prioritario para las administraciones responsables (Organisation, 1986) (Organisation, 1991) (Barde, 1991).

El control del ruido ambiental reviste un enorme interés social y económico, que concentra los esfuerzos de numerosos profesionales en campos de trabajo tan diferentes como la física, la ingeniería, la arquitectura, el urbanismo, la salud, la sociología o el derecho. Al margen de quiénes sean los protagonistas de las iniciativas aplicadas para resolver un determinado problema, deberíamos insistir ante todo en que la lucha contra el ruido en las zonas urbanas es una responsabilidad del conjunto de la sociedad, es decir, de la administración y de los ciudadanos. Habría que recordar también que la contaminación sonora presenta diversos aspectos científicos, técnicos, económicos, políticos y sociales, con una casuística sumamente amplia. En consecuencia, su control requiere la utilización de un amplio abanico de estrategias muy diversas. En términos generales, el control del ruido urbano está basado en una asociación coordinada de iniciativas técnicas (dirigidas a la evaluación de cada problema en particular y a la propuesta de acciones destinadas a solucionarlo), un marco legal adecuado (basado en la existencia de leyes o normativas de todo tipo que orienten y respalden las correspondientes acciones), determinación política (voluntad de proponer y aplicar con decisión todas las acciones necesarias) y apoyo social (basado fundamentalmente en el reconocimiento de la importancia de este problema y en las contribuciones activas de los miembros de una cierta comunidad



para su solución). En este sentido, una adecuada educación ambiental y concienciación de los ciudadanos sobre el tema que nos ocupa puede jugar un papel de gran importancia. Junto con otras muchas iniciativas, la celebración regular del Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido, impulsada en nuestro país por la Sociedad Española de Acústica y otros organismos e instituciones públicas y privadas (consultar la página de Internet de la SEA), se sitúa en esa dirección (European Commission, 1997) (García 2001) (García, 2006).

### 1.5.1. Medidas técnicas de control

Es importante tener presente que, en principio, la tecnología moderna es capaz de resolver una gran parte de los problemas relacionados con la contaminación acústica a la que están expuestos de forma más o menos cotidiana millones de personas en los países desarrollados de todo el mundo, o, al menos, es capaz de reducir de forma significativa la gravedad de sus efectos. Lamentablemente, en muchos casos, las dificultades operativas, los costes económicos y el impacto social de las eventuales soluciones limitan o impiden totalmente la aplicación práctica de esas soluciones. En este sentido, no debemos olvidar nunca que las medidas de control del ruido son siempre más efectivas y mucho menos costosas cuando se aplican en las etapas iniciales del proceso responsable de la creación de un determinado problema (Organisation, 1991) (Gerges, 1998) (García, 2001).

La articulación de una política efectiva destinada a controlar con éxito el ruido ambiental exige la aplicación de una larga serie de acciones específicas tomadas en un orden secuencial. En el diseño de cualquier iniciativa para controlar un problema de contaminación sonora, debe tenerse en cuenta que estos problemas consisten siempre en una cadena con tres eslabones bien diferenciados: la fuente de ruido (caracterizada por una potencia, un espectro de frecuencias y una directividad determinados), el camino de transmisión del sonido (a través de medios sólidos, líquidos o gaseosos) y el receptor (que, en última instancia, son las personas expuestas al ruido considerado). Por lo tanto, las actuaciones a emprender para controlar ese ruido pueden aplicarse tan sólo a alguno de estos tres eslabones o a todos ellos en su conjunto.

En general, la opción más interesante consiste siempre en controlar el ruido en la propia fuente sonora. Por ejemplo, por lo que concierne al ruido producido por el tráfico rodado, estas acciones consisten en mejorar la tecnología de los vehículos individuales o un control adecuado de las condiciones del tráfico. El control del ruido en la misma fuente es especialmente aconsejable en el caso de vehículos pesados y especialmente ruidosos (por ejemplo, autobuses y camiones), dado que su contribución a los niveles generales de ruido de tráfico suele ser muy importante. En este sentido, deberíamos hacer también una mención especial a los altos niveles de ruido que suelen producir muchas motocicletas, sobre todo en el caso de que no dispongan de tubos de escape en condiciones adecuadas. Por lo que se refiere al camino de transmisión desde la fuente sonora al receptor (el segundo eslabón de la cadena anteriormente mencionada), debería subrayarse una y otra vez el importante papel que desempeñan las condiciones urbanísticas en la lucha contra el ruido en las ciudades. De hecho, una buena parte de las iniciativas propuestas para controlar la contaminación acústica en los medios urbanos suelen estar basadas en una planificación urbanística adecuada de las ciudades. Estas iniciativas están relacionadas con medidas tales como el incremento de la distancia que separa una determinada fuente de ruido ambiental (una autopista con alta intensidad de tráfico, un gran aeropuerto o una industria particularmente ruidosa) con las zonas de edificación más sensibles a la misma, que se puede con-

cretar con la interposición entre emisor y receptor de espacios abiertos o zonas verdes extensas. Una buena alternativa en algunos casos puede estar basada en la interposición entre emisor y receptor de actividades compatibles con el ruido, tales como centros comerciales, almacenes o espacios destinados al estacionamiento de vehículos, en condiciones tales que sirvan como pantallas sonoras eficaces para defender de su impacto a las mencionadas zonas sensibles (viviendas, hospitales, escuelas, etc.).

Por lo que se refiere al camino de transmisión del ruido, bastará con recordar la extraordinaria importancia que la planificación urbanística de las ciudades tiene sobre el problema que estamos tratando. En este sentido, es necesario considerar con la mayor atención aspectos tan diferentes como la adecuada distribución de los usos del suelo, el trazado de las principales vías de tráfico, la ubicación y tamaño de las zonas verdes, o el establecimiento de zonas peatonales, entre otros muchos. De una forma u otra, todos estos elementos afectan a la propagación de las ondas sonoras desde la fuente hasta el receptor. Naturalmente, muchos de esos aspectos ya están consolidados en la mayoría de nuestras ciudades, sobre todo en lo que se refiere a sus centros históricos, en los que es bastante difícil o imposible llevar a cabo acciones de cierta envergadura en el sentido indicado. En esos entornos sólo son posibles ciertas actuaciones puntuales, realizadas de forma inteligente (Maekawa, 1991) (Serra y Daumal, 1991) (Arizmendi, 1995).

Una actuación utilizada frecuentemente en la lucha contra el ruido ambiental se basa en la utilización de barreras acústicas, un tema del que se hablará en otro capítulo de este libro. La casuística en este sentido es sumamente variada, tanto en lo referente a las fuentes sonoras consideradas como a las características de estos elementos. Aunque, por razones fáciles de comprender, este tipo de actuaciones es de uso muy limitado en las zonas urbanas, podemos encontrarlas hoy en algunos enclaves singulares, como las vías de penetración en las ciudades de las autopistas o grandes arterias de tráfico. Hay que recordar aquí que diferentes grupos de investigación de nuestro país han llevado a cabo durante estos últimos años numerosos trabajos en este campo (Pérez-López, 1991), (Sanchis et al., 1997) (Pfretzschner, 2001) (Perdomo, 2002).

Finalmente, por lo que se refiere al tercero de los eslabones antes mencionados, es decir, los receptores, habría que hacer alguna alusión específica al aislamiento de los edificios en los que se encuentran los afectados por la contaminación acústica durante una buena parte del tiempo. Sin entrar a fondo en la materia, deberíamos recordar que el sonido se puede transmitir al interior de un edificio tanto por vía aérea como a través de sus estructuras. Entre las estrategias básicas para controlar la transmisión del sonido por vía aérea hay que mencionar la selección de materiales capaces de reducir la cuantía de dicha transmisión, la eliminación de las vías directas de transmisión por el aire y la utilización de materiales absorbentes en la propia construcción. Con relativa frecuencia, es necesario recurrir a una combinación de todas estas estrategias para conseguir que los niveles sonoros sean aceptables en el interior de los edificios. En cuanto a la transmisión de ruido a través de las estructuras de los edificios, hay que recordar ante todo que el sonido que se transmite a través de dichas estructuras está originado por una extensa variedad de fuentes, tales como los pasos de las personas, la caída de objetos, los cierres violentos de las puertas, o las vibraciones producidas por diversos dispositivos externos o internos a los edificios en cuestión, entre los que habría que destacar el movimiento de vehículos pesados, trenes o metro por las proximidades de los edificios, así como el funcionamiento de ascensores y otros equipos de los mismos. La reciente promulgación en nuestro país de nuevas normativas técnicas sobre la edificación es un factor de gran importancia en este sentido (Moreno et al., 1991) (García, 2001) (Real Decreto, 2007b).



### 1.5.2. Medidas administrativas de control

Como ya hemos indicado anteriormente, las estrategias desarrolladas para luchar contra la contaminación acústica en los medios urbanos incluyen una amplia serie de medidas administrativas, entre las que podemos mencionar las normativas reguladoras de la emisión de ruido por parte de determinadas fuentes sonoras, las regulaciones sobre el uso del suelo, la legislación sobre ciertos parámetros económicos, las normativas sobre los procedimientos operacionales de los vehículos de transporte, y la legislación de muy diversa naturaleza sobre investigación y desarrollo.

En todos estos sentidos, hay que tener presente ante todo que las regulaciones para el control del ruido se pueden promover a un nivel internacional, nacional, regional o local, dependiendo fundamentalmente de las circunstancias políticas, económicas o sociales que concurren en cada caso concreto, así como de la sensibilidad que muestren las correspondientes instancias administrativas en relación con la contaminación sonora y sus efectos. En realidad, los problemas no suelen radicar en la carencia de buenas regulaciones o normativas sino en la falta de decisión o firmeza en su aplicación. En la actualidad, podemos afirmar que las regulaciones sobre el ruido existentes no sólo están mal coordinadas entre sí, sino que con frecuencia no se aplican adecuadamente. Con frecuencia, los recursos disponibles para aplicar los programas de lucha contra el ruido ambiental son insuficientes, de forma que cualquier acción a gran escala se convierte en una tarea extraordinariamente compleja. Otro factor importante en este sentido radica en que los gobiernos centrales delegan con frecuencia la responsabilidad de desarrollar las correspondientes regulaciones o normativas a las autoridades locales, que no siempre disponen de los necesarios medios técnicos y personales para llevar a cabo una política adecuada de control del ruido ambiental en sus ámbitos de competencia (Organisation, 1991) (Miller, 1996) (Sanz, 1995) (García, 2006).

Dado que el tema de la legislación actual sobre el ruido ambiental en España (Ley del Ruido 37/2003) será estudiado en el siguiente capítulo de este libro, no lo trataremos en este apartado, aunque tal vez sea interesante recordar al respecto que, en ausencia de este marco legislativo, varias Comunidades Autónomas de nuestro país elaboraron en los años ochenta del pasado siglo diferentes legislaciones sobre el ruido ambiental y los medios para controlarlo. Entre estas disposiciones, se pueden citar a título de ejemplos las normativas promulgadas en el País Vasco (Decreto 171/1985), en el Principado de Asturias (Decreto 99/1985) y en la Comunidad Foral de Navarra (Decreto 48/1987). Por lo que se refiere a la Comunidad Valenciana, podemos recordar también que en aquellos mismos años se promulgó la Ley 2/1989 de Impacto Ambiental, y la Ley 3/1989 de Actividades Calificadas. Por otra parte, superando la situación de carencia existente con anterioridad, en la que las lagunas en este sentido eran muy abundantes, en esos mismos años muchas Corporaciones locales de nuestro país aprobaron ordenanzas municipales destinadas a controlar la contaminación acústica y las vibraciones en sus respectivos ámbitos de actuación. Los textos de muchas de estas disposiciones se pueden encontrar fácilmente en Internet, tal vez con la ayuda de un buen buscador.

Sin embargo, en no pocos casos, las normativas a las que acabamos de aludir se elaboraron sin llevar a cabo un análisis adecuado de estas cuestiones y de sus muchas implicaciones, lo cual se ha traducido en ocasiones en importantes deficiencias por lo que se refiere a las definiciones, índices de evaluación, requisitos de los dispositivos de medida y métodos de medida, por lo que pueden carecer del rigor necesario en cualquier normativa de contenido técnico. Por ejemplo,



en un estudio comparativo realizado hace algunos años de cinco legislaciones autonómicas diferentes (Madrid, Cataluña, Navarra, Andalucía, y Castilla y León) y dos ordenanzas municipales (Madrid y Barcelona), se pudo constatar que para la determinación de los niveles sonoros en zonas urbanas estas legislaciones establecen el uso del nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A, con dos excepciones (Andalucía y Castilla y León) que se decantan por utilizar con este fin el nivel sonoro máximo, una opción que puede plantear algunos problemas. Las diferencias entre las legislaciones de las que estamos hablando se ponen de manifiesto igualmente en los tiempos de medida, la corrección por tonos puros, la corrección por la presencia de ruidos impulsivos, o la definición de lo que se considera periodo diurno y periodo nocturno. El análisis de esta situación apunta a la necesidad de realizar algunos esfuerzos por equiparar las normativas sobre la contaminación acústica en las diferentes comunidades o ciudades de nuestro país (Arana et al., 2001).

## 1.6. Bibliografía

Aguerri, P., Ibáñez, A., y Celma, J., Estudio psicosociológico sobre la percepción ciudadana del ruido en Zaragoza, *Conference on Noise in Metropolitan Cities*, Sociedad Española de Acústica, Madrid, 1991.

Alexandre, A., y Barde, J.P., Economic instruments for transport noise abatement, *Transportation Noise. Reference Book*, Butterworths, London, 1987.

Arana, M., y García, A., Estudio del ruido ambiental en Pamplona, *Revista de Acústica*, vol. 21, pág. 57, 1990.

Arana, M., y García, A., Variación temporal de los niveles de contaminación sonora en Pamplona y Valencia, *Actas del XXXII Congreso Nacional de Acústica*, Sociedad Española de Acústica, Logroño, 2001.

Arana, M., Vela, A., San Martín, M.L., y García, A., Regulación de la contaminación sonora en España. Análisis comparativo de diferentes legislaciones, *Revista de Acústica*, vol. 32, núm. 3 y 4, pág. 7, 2001.

Arizmendi, L.J., Contaminación acústica y urbanismo, *La contaminación sonora. Evaluación, efectos y control*, Fundación Bancaja, Valencia, 1995.

Barde, J.P., Noise abatement policies in OECD countries: an assesment, *Conference on Noise in Metropolitan Cities*, Sociedad Española de Acústica, Madrid, 1991.

Bell, L.H., y Bell, D.H., *Industrial noise control*, Marcel Dekker Inc., New York, 1994.

Berglund, B., y Lindwall, T., *Community Noise*, Trabajo preparado para la Organización Mundial de la Salud (WHO), Stockholm University, 1995.

- Bisio, G., Case history: Noise level survey in a middle-size town and remarks on traffic restrictions, *Noise Control Engineering Journal*, vol. 44, pag. 201, 1996.
- Bragdon, C.R., Control of Airport Noise Impact, *Transportation Noise. Reference Book*, Butterworths, London, 1987.
- Brambilla, G., Physical assessment and rating of urban noise, *Environmental Urban Noise*, WIT Press, Southampton, 2001.
- Braunschweig, G.V., Noise of Public Works, *Conference on Noise in Metropolitan Cities*, Sociedad Española de Acústica, Madrid, 1991.
- Brown, E.F., Dennis, E.B., Henry, J., y Pendray, G.E., *City Noise*, Noise Abatement Commission, The Academic Press, New York, 1930.
- Brown, A.L., y Lam, L.C., Urban noise levels, *Applied Acoustics*, vol. 20, pág. 23-35, 1987.
- Calvo-Manzano, A., et al., *El ruido en la ciudad. Gestión y control*, Sociedad Española de Acústica, Madrid, 1991.
- Celma, J., Lasheras, R., Perera, P., y Santiago, S., editores, *El ruido como agente contaminante en la industria*, Ayuntamiento de Zaragoza y Mutua de Accidentes de Zaragoza, 1987.
- Celma, J., *Resultado del mapa de ruidos. Propuestas*, Servicio de Medio Ambiente, Ayuntamiento de Zaragoza, 1990.
- Centre Scientifique et Technique du Batiment, *La gene causée par le bruit autour des aéroports. Rapport de fin d'étude*, C.S.T.B., Paris, 1968.
- Cosa, M., y Nicoli, M., Nuova indagine statistica sulla rumorosità da traffico stradale a Roma basata su rilevamenti effettuati tutto l'arco delle 24 ore, *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, vol. 15, pág. 197, 1979.
- Directiva, 2002, *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 25 de Junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental*, Diario Oficial del 18 de Julio de 2002.
- Eldred, K.M., Airport noise, *Handbook of Acoustics*, John Wiley and Sons, New York, 1998.
- European Commission Green Paper, Future Noise Policy, *Noise/News International*, vol. 5, núm. 2, pág. 77, 1997.
- Faus, L., Romero, J., Jiménez, A., Marín, A., Sanchis, A., y Cerdá, S., Un primer estudio del ruido en los actuales trenes de la red ferroviaria española, *Revista de Acústica*, vol. 34, núm. 1 y 2, pág. 5, 2003.

Fields, J.M., DeJong, R.G., Flindell, I.H., Gjestland, T., Job, R.F.S., Kurra, S., Schuemer, A., Vallet, M., y Yano, T., Recommendation for shared annoyance questions in noise annoyance surveys, *Proceedings Congress on Noise Effects 98*, vol. 2, pág. 481, 1998.

Ford, R.D., Physical Assessment of Transportation Noise, *Transportation Noise. Reference Book*, Butterworths, London, 1987.

García, S., García A., Sandoval, A., y Villar, E., Niveles de ruido originados por el tráfico rodado en la ciudad de Santander, *Anales Instituto Estudios Industriales, Económicos y de Ciencias*, vol. 2, pág. 114, 1977.

García, A., y Fajarí, M., Medidas de ruido ambiental en Valencia, *Revista de Acústica*, vol. 12, pág. 29, 1981.

García, A., y Bernal, D., The prediction of traffic noise levels in urban areas, *Proceedings International Conference on Noise Control Engineering*, Munich, 1985.

García A., y Romero, J., Medidas de ruido de tráfico en la ciudad de Gandía, *Proceedings del Congreso nacional sobre el ruido como agente contaminante*, vol. II, Zaragoza, 1987.

García, A.M., *Estudio de los efectos del ruido ambiental sobre la salud en medios urbanos y laborales*, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, 1990.

García, A., Faus, L.J., y García, A.M., The community response to aircraft noise around six Spanish airports, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 164(1), pág. 45, 1993.

García, A., Albero, V., Calvo, F., Romero, J., Marcos, A., y Sánchez, J., Estudio del impacto acústico producido por los pubs y discotecas de la Comunidad Valenciana, *Revista de Acústica*, vol. 26, pág. 5, 1995.

García, A., Niveles de contaminación sonora en las zonas urbanas de la Comunidad Valenciana, *Ingeniería Municipal*, pág. 27, 1996.

García, A., Medidas de niveles de contaminación acústica en diferentes zonas urbanas de España, *Revista de Acústica*, vol. 27, núm. 3 y 4, pág. 7, 1996.

García, A., y Garrigues, J.V., 24-hour continuous sound-level measurements conducted in Spanish urban areas, *Noise Control Engineering Journal*, vol. 46, pág. 159, 1998.

García, A., García, A.M., Arana, M., y Vela, A., Evaluación de la molestia producida por el ruido ambiental, *Actas del XXX Congreso Nacional de Acústica*, Ávila, 1999.

García, A., Urban noise control, *Environmental Urban Noise*, WIT Press, Southampton, 2001.

García, A., *La contaminación acústica: fuentes, evaluación, efectos y control*, Sociedad Española de Acústica, Madrid, 2006.



- Gerges, S.N.Y., *Ruido. Fundamentos y control*, Universidad Federal de Santa Catalina, Florianópolis, Brasil, 1998.
- Guillamón, J.M., Sistemas de control e información pública, *Jornadas Internacionales sobre contaminación acústica en las ciudades*, Ayuntamiento de Madrid y Sociedad Española de Acústica, Madrid, 2002.
- Guski, R., Community response to environmental noise, *Environmental Urban Noise*, WIT Press, Southampton, 2001.
- Hickling, R., Surface transportation noise, *Handbook of Acoustics*, Wiley and Sons, New York, 1998.
- Kozák, J., Trends in traffic noise in Prague from 1976 to 1991, *Proceedings of the 17th Congress of the Association Internationale contre le bruit*, Praga, 1992.
- Kryter, K.D., *The effects of Noise on Man*, Academic Press, Orlando, 1985.
- Lambert, J., Annoyance and its cost, *Jornadas Internacionales sobre contaminación acústica en las ciudades*, Ayuntamiento de Madrid y Sociedad Española de Acústica, Madrid, 2002.
- Lamure, C., Noise emitted by road traffic noise, *Road traffic noise*, Applied Science Publishers, London, 1975.
- Langdon, F.J., Noise nuisance caused by road traffic in residential areas, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 37, pág. 243, 1976.
- Lara, A., y Stephens, R.W.B., editores, *Noise Pollution*, John Wiley and Sons, New York, 1986.
- Lara, A., Ruido industrial, *El ruido en la ciudad. Gestión y control*, Ayuntamiento de Madrid y Sociedad Española de Acústica, 1991.
- Lara, A., Acústica y medio ambiente, *La contaminación sonora. Evaluación, efectos y control*, Fundación Bancaja, Valencia, 1995.
- Lasa, J., Estudio sobre posible implantación de barreras acústicas en Bilbao, *Conference on Noise in Metropolitan Cities*, Sociedad Española de Acústica, Madrid, 1991.
- Ley, 2003, *Ley del Ruido 37/2003, del 17 de Noviembre de 2003*, Boletín Oficial del Estado del 18 de Noviembre de 2003.
- Lindvall, T., y Radford, E.P., Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors, *Environmental Research*, vol. 6, pág. 1, 1973.
- López, I., Efectos del ruido ambiental en la población escolar, *La contaminación sonora. Evaluación, efectos y control*, Fundación Bancaja, Valencia, 1995.

López I., Carles, J.L. y Herranz, K., El estudio de los aspectos perceptivos en la acústica ambiental, *Revista de Acústica*, vol. 31, núm. 3 y 4, pág. 1, 2000.

Maekawa, Z., Acoustic shielding in towns, *Conference on Noise in Metropolitan Cities*, Sociedad Española de Acústica, Madrid, 1991.

Malchaire, J.B., y Horstman, S.W., Community noise survey of Cincinnati, Ohio, *Journal Acoustical Society of America*, vol. 58, pág. 197, 1975.

Martimortugués, Gallego, J., y Domingo, F., Efectos del ruido comunitario, *Revista de Acústica*, vol. 34, núm. 1 y 2, pág. 31, 2003.

Martimortugués, C., y Canto, J.M., Creencias ambientales y coste social del ruido de ocio, *Revista de Acústica*, vol. 34, núm. 3 y 4, pág. 11, 2005.

Miller, R.L., Federal regulations and other activities in noise control, *Noise Control Engineering*, vol. 44, pág. 149, 1996.

Mochizuki, T., y Imaizumi, N., City Noises in Tokyo, *Journal of the Acoustical Society of Japan*, vol. 23, pág. 146, 1967.

Moreno A., de la Colina, C., Acústica de edificios, *El ruido en la ciudad. Gestión y control*. Ayuntamiento de Madrid y Sociedad Española de Acústica, Madrid, 1991.

Myncke, H., Cops, A., Gambart, R., y Steenackers, P., Traffic noise measurements in Antwerp and Brussels and their relation with annoyance, *Archives of Acoustics*, vol. 4, pág. 11, 1979.

Nelson, P.M., editor, *Transportation Noise. Reference Book*, Butterworths, London, 1987.

Organisation for Economic Cooperation and Development, *Fighting Noise*, Agencia de Publicaciones de la O.E.C.D., París, 1986.

Organisation for Economic Cooperation and Development, *Fighting Noise in the 1990s*, Agencia de Publicaciones de la O.E.C.D., París, 1991.

Perdomo, F., Aznárez, J., y Maeso, O., Aplicación del MEC en la evaluación de medidas para reducir el impacto acústico en el entorno de las carreteras, *Revista de Acústica*, vol. 32, núm. 1 y 2, pág. 14, 2002.

Perera, P., Pons, J., y Santiago, S., Medida y análisis de ruido de aeronaves en las cercanías de un aeropuerto, *Revista de Acústica*, vol. 13, pág. 5-18, 1982.

Perera, P., Ruido comunitario, *El ruido en la ciudad. Gestión y control*, Ayuntamiento de Madrid y Sociedad Española de Acústica, 1991.

- Pérez-López, Antonio, Control del ruido: apantallamiento acústico, *El ruido en la ciudad. Gestión y control*, Ayuntamiento de Madrid y Sociedad Española de Acústica, 1991
- Pons, J., Santiago, J.S., Mateos, E., y Perera, P., Acoustic map of Madrid, *Proceedings del Convegno Internazionale Il rumore urbano e il governo del territorio*, Modena, 1988.
- Pfretzschner, J., Simón, F., Rodríguez, R.M., y Moreno, A., Barreras acústicas, *Revista de Acústica*, vol. 32, núm. 1 y 2, pág. 1, 2001.
- Price, A.J., Community Noise Survey of Greater Vancouver, *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 52, pág. 488, 1972.
- Real Decreto, 2005, *Real Decreto 1513/2005 del 16 de Diciembre de 2005*, Boletín Oficial del Estado del 18 de Diciembre de 2005.
- Real Decreto, 2007a, *Real Decreto 1367/2007 del 19 de Octubre de 2007*, Boletín Oficial del Estado del 23 de Octubre de 2007.
- Real Decreto, 2007b, *Real Decreto 1371/2007 del 19 de Octubre de 2007*, Boletín Oficial del Estado del 23 de Octubre de 2007.
- Real Decreto, 2008, *Real Decreto 1675/2008 del 17 de Octubre de 2008*, Boletín Oficial del Estado del 18 de Octubre de 2008.
- Recuero, M., Condiciones acústicas en algunos centros de la Universidad Politécnica de Madrid, *La contaminación sonora. Evaluación, efectos y control*, Fundación Bancaja, Valencia, 1995.
- Romero, J., García, A., y García, A.M., Results of an exploratory study on the effects of environmental noise in spanish schools, *Proc. 17th AICB Congress*, Prague, 1992.
- Sanchis, A., Giménez, A., Marín, A., y Solana, P.E., Aplicación del MEC para la determinación de la atenuación del ruido producido por barreras, *Revista de Acústica*, vol. 28, 1997.
- Santiago, S., Climas de ruido de tráfico en Madrid, *Revista de Electrónica y Física Aplicada*, vol. 40, pág. 35, 1968.
- Santiago, S., Fuentes de ruido, *El ruido en la ciudad. Gestión y control*. Ayuntamiento de Madrid y Sociedad Española de Acústica, Madrid, 1991.
- Santiago, S., Delgado C., y Pons, J., Investigación en el campo del control del ruido, *Revista de Acústica*, vol. 31, núm. 3 y 4, pág. 1, 2000.
- Sanz, J.M., *El ruido*, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Centro de Publicaciones, Madrid, 1990.



Sanz, J.M., Aspectos normativos del ruido ambiental. Situación actual y perspectivas, *La contaminación sonora. Evaluación, efectos y control*, Fundación Bancaja, Valencia, 1995.

Schaffer, R.M., *The Tuning of the World*, The Canadian Publishers, Toronto, 1977.

Schultz, T.J., Synthesis of social surveys on noise annoyance, *Journal Acoustical Society of America*, vol. 64, pág. 377, 1978.

Serra, J., y Daumal, F., Ruido y planeamiento urbano, *El ruido en la ciudad. Gestión y control*, Ayuntamiento de Madrid y Sociedad Española de Acústica, 1991.

Taylor, S.M., y Williams, P.A. Health effects, *Transportation noise. Reference book*, Butterworths, London, 1987.

Truax, B., *Acoustic communication*, Ablex Publishing, Westport, 2001.

Vallet, M., Sleep disturbance, *Transportation noise. Reference book*, Butterworths, London, 1987.

Vallet, M., Effects of noise on health, *Environmental Urban Noise*, WIT Press, Southampton, 2001.

Wilson Committee, *Noise. Final Report*, Her Majesty Stationery Office, London, 1976.

## Capítulo 2

### Aplicación de la Ley del Ruido. Estado de situación

*José Manuel Sanz Sá*

#### 2.1 Introducción

Sin duda alguna, hoy nadie es ajeno a la enorme sensibilidad y preocupación que existe en la sociedad por todos los temas relacionados con el medio ambiente, entre los que aparece de forma creciente, la contaminación acústica y dentro de ésta, especialmente, el ruido ambiental.

Si tenemos en cuenta que la mayor parte de la vida de las personas transcurre en el interior de edificios, es comprensible que todos deseemos un grado aceptable de confort acústico en los mismos, de forma que nuestra calidad de vida no se vea afectada.

El ruido al que estamos expuestos en nuestras casas se genera tanto en el exterior de las viviendas, como en el interior de las mismas. En el primer caso, el “ruido ambiental” es debido, en su mayor parte, al tráfico viario y a otras fuentes como el tráfico ferroviario y el aéreo, las actividades e instalaciones industriales, comerciales, deportivo-recreativas y de ocio, la maquinaria y las obras de construcción, mientras que en el segundo caso es debido a las actividades ruidosas que en mayor o menor medida todos desarrollamos en nuestras casas, es el que llamamos “ruido de vecindad”.

La mecanización de actividades, el crecimiento de las actividades industriales, comerciales, turísticas y de ocio, los nuevos desarrollos urbanísticos, así como el espectacular aumento del tráfico rodado, ferroviario, aéreo y portuario, están generando altos niveles de exposición de la población a la contaminación acústica. Este tipo de contaminación se está extendiendo en el tiempo y en el espacio, y afecta negativamente a la salud y a la calidad de vida de los ciudadanos.

Este hecho se constata por los resultados provisionales de la reciente Encuesta de hogares y medio ambiente 2008[8], publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), en 2009. Esta encuesta pone de manifiesto que el problema más habitual en nuestro país, en su conjunto, es el de los ruidos, tanto de los procedentes de la calle, como de los originados por los vecinos en el interior de sus viviendas, que se estima afectan al 25,1 % de los hogares, situándose por delante de otros tipos de contaminación y otros problemas ambientales.

Para tratar de mejorar esta situación, al abordar las acciones de protección frente a la contaminación acústica, es preciso considerar a ésta de forma diferenciada atendiendo tanto a su origen, como a sus características propias. Así, podemos distinguir entre: el “ruido en el ambiente laboral” que es el experimentado durante el periodo de trabajo en los recintos laborales; el “ruido de vecindad”, considerando como tal el causado por las actividades cotidianas de las personas en sus viviendas o por su comportamiento en el entorno de las mismas; el “ruido en el interior de recintos de ocio”; y

el “ruido ambiental” que es el producido por los medios de transporte y las actividades industriales, comerciales, recreativas, de ocio, etc. que se desarrollan tanto en el ambiente exterior, como en el interior de edificaciones.

Hay que tener en cuenta que las acciones emprendidas para hacer frente al ruido no son recientes. Durante más de veinte años, la política medioambiental de la Unión Europea sobre el ruido se ha centrado en el establecimiento de niveles máximos de emisión sonora exigidos a vehículos, aeronaves y máquinas y en la aplicación, en el ámbito comunitario, de acuerdos internacionales sobre ruido de las aeronaves, así como en establecer procedimientos de certificación.

En España, desde el año 1961, las principales actuaciones de prevención y control del ruido se han desarrollado en el ámbito de los Ayuntamientos a través de las Ordenanzas Municipales y mediante la incorporación a la acción municipal de departamentos de medio ambiente, una de cuyas competencias es la lucha contra el ruido. También, la Norma Básica de la Edificación NBE-CA 81, sobre condiciones acústicas de los edificios y sus posteriores modificaciones (última de 1988), han venido regulando las exigencias acústicas de las edificaciones.

Desafortunadamente, los efectos de este conjunto de acciones, que se han venido adoptado para reducir las emisiones sonoras en las distintas fuentes de ruido, han sido neutralizadas en gran parte por otras que actúan en sentido contrario tales como: la liberalización del transporte dentro de la Unión Europea; el incremento del parque automovilístico y del tráfico aéreo; las nuevas fuentes de ruido como las actividades de ocio y turismo; el incremento de las áreas industriales y de las actividades y otras.

Según informes recientes la evolución del ruido ambiental a partir de 1970 puede considerarse como estacionaria, aunque se observa una tendencia a la disminución de las zonas en que se dan niveles sonoros altos (puntos negros), y un aumento progresivo de aquéllas sometidas a un nivel sonoro medio (puntos grises). Se estima que en la actualidad, alrededor del 20 % de los habitantes de Europa occidental están expuestos a niveles de ruido que los científicos y los profesionales de la salud consideran excesivos.

Por lo que se refiere a la evolución futura del ruido ambiental en los próximos años, se prevé que dependerá no solo de las medidas de lucha contra el ruido que se están poniendo en marcha, o que se pongan próximamente, sino también de los cambios socio-económicos y tecnológicos que se produzcan. No obstante, parece evidente la necesidad de plantearse unos objetivos claros y precisos, y de actuar sobre los comportamientos de forma flexible y realista, impulsando iniciativas y articulando los instrumentos normativos y económicos para conseguir, en un futuro próximo, unos niveles sonoros en el medio ambiente satisfactorios para la totalidad de la población.

Por ello, al abordar el complejo problema del ruido ambiental hay que tener en cuenta los aspectos culturales, normativos y técnicos que en el mismo inciden, con el fin de dotar de la máxima eficacia a las actuaciones desarrolladas para su prevención y control. La Tabla 2.1 muestra un conjunto de medidas legales, técnicas y sociales que se pueden adoptar para lograr la adecuada gestión del ruido ambiental. Los instrumentos contemplados en la tabla incluyen: normas de emisión para fuentes individuales fijadas generalmente en la legislación; normas de emisión basadas en criterios de calidad



para el ruido; planificación de usos del suelo; medidas sobre las infraestructuras de transporte; instrumentos económicos; procedimientos operativos; investigación y desarrollo y acciones de educación e información.

**Tabla 2. 1. Actuaciones para la gestión del ruido ambiental**

Tipo de Medidas	Ejemplos
<b>Medidas Legales</b>	
Control de las emisiones	Valores límite de emisión: - Automóviles, motos y ciclomotores - Equipos de construcción y uso en el exterior - Plantas industriales
Control de la transmisión del sonido	Medidas de apantallamiento del ruido
Cartografía y zonificación acústica en el entorno de carreteras, ferrocarriles, aeropuertos e industrias y aglomeraciones	Programas de medida y modelización del ruido
Control de inmisiones	Limitación de los niveles de exposición: - Valores límite de inmisión nacionales - Campañas de medida y modelización - Regulación de situaciones complejas. Planes zonales - Regulación de las actividades recreativas
Límites de velocidad	Áreas residenciales y zonas hospitalarias
Aplicación de normativas	Planes de acción preventivos y correctivos
Requerimientos acústicos mínimos a los edificios	Código técnico para el aislamiento acústico de edificios
<b>Medidas de Ingeniería</b>	
Reducción de emisiones por modificación de la fuente	- Capas de rodadura silenciosas - Perfil de los neumáticos - Cambios en las propiedades de los motores
Aplicación de nuevas tecnología (MTD's)	- Vehículos - Material ferroviario - Aeronaves - Maquinaria de construcción y uso en el exterior
Reducción de la transmisión	- Encapsulamiento de maquinaria - Apantallamiento acústico
Orientación de los edificios	- Diseño y estructuración para usos tranquilos - Uso de edificios para apantallamiento acústico
Gestión del tráfico rodado	- Límites de velocidad - Regulación por medios electrónicos
Protección pasiva	- Aislamiento de viviendas - Diseño de fachadas
Planificación territorial y urbanística	- Zonificación acústica - Separación de usos incompatibles - Implantación de zonas de servidumbre acústica en el entorno de infraestructuras de transporte - Corredores by-pass para el tráfico pesado - Protección de áreas tranquilas

**Tabla 2. 1. Actuaciones para la gestión del ruido ambiental**

Tipo de Medidas	Ejemplos
<b>Educación e información</b>	
Concienciación del público	Información al público sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Efectos del ruido sobre la salud</li> <li>- Presentación de quejas</li> <li>- Niveles de exposición al ruido</li> <li>- Participación en los Planes de acción</li> </ul>
Elaboración de mapas de exposición al ruido	Publicación de los resultados
Formación de expertos en evaluación y gestión del ruido	Programa educativos en la Universidad y Escuelas
Potenciar programas de investigación y desarrollo	Generación de fondos de información sobre las necesidades de investigación científica
Potenciar cambios de comportamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de la velocidad de conducción</li> <li>- Uso de bocinas</li> <li>- Uso de altavoces para publicidad</li> <li>- Uso de sirenas y alarmas</li> </ul>

Sin duda la introducción de nuevos instrumentos plantea nuevos retos, ya que de su correcta aplicación dependerá el éxito de las acciones que se emprendan. Por ello, se hace necesario adaptar los modos de proceder actuales a los nuevos planteamientos. Ello supondrá realizar un esfuerzo importante de adaptación por parte de todos los agentes implicados en los procesos de evaluación y gestión de la contaminación acústica, siendo, sin duda, la adecuada formación y la difusión de la información los medios más eficaces para lograr esta adaptación.

Es de desatacar que en esta línea de actuación, en el marco de la Unión Europea, se ha definido, a partir de 1996, una nueva política de lucha contra el ruido ambiental y, en España, la mayoría de las Comunidades Autónomas han elaborado y desarrollado legislaciones específicas sobre la protección frente a la contaminación acústica, y más recientemente, esta protección se ha hecho más efectiva con la publicación de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, al constituir la norma básica, de carácter general y ámbito estatal, reguladora de este fenómeno.

En este capítulo se trata de exponer la situación actual de la regulación normativa sobre la protección de la contaminación atmosférica, analizando el contexto en el que se elaboró la Ley del Ruido, su contenido, y una vez completado su desarrollo reglamentario, en octubre de 2007, trata de evaluar el grado de desarrollo y aplicación de esta legislación básica, tomando en consideración que, en su mayor parte, les corresponde a las Comunidades Autónomas y Entes Locales el desarrollo y aplicación de legislación básica en materia de medio ambiente y el establecimiento en su caso de normas adicionales de protección. En la Figura 2.1 se muestra un esquema del marco legal referente a la contaminación acústica.

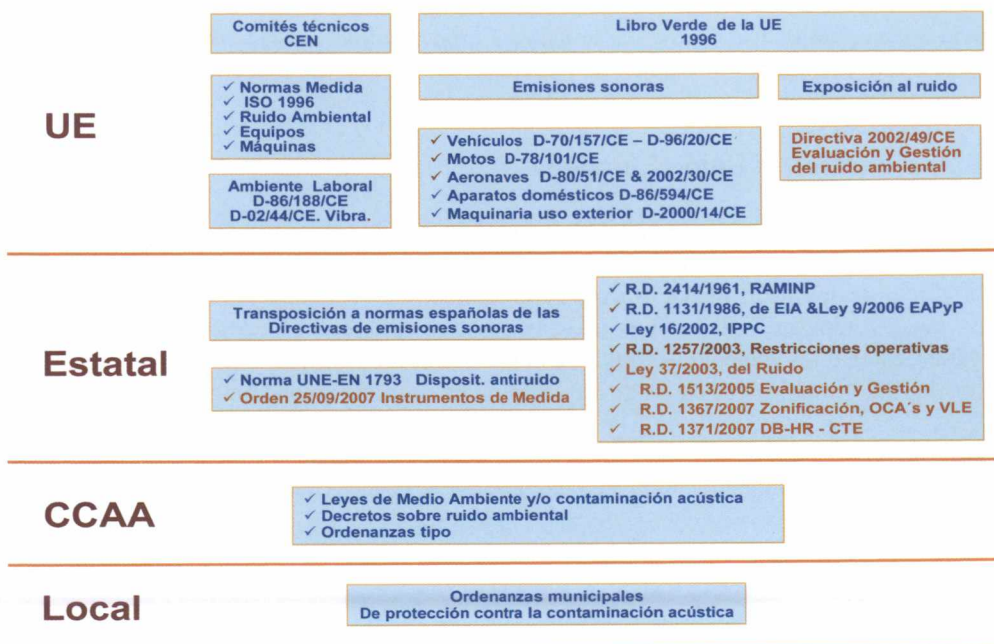


Figura 2.1. Esquema del marco legal referente a la contaminación acústica

## 2.2. Nuevas acciones frente al ruido ambiental

Frente a la exposición al ruido ambiental, las administraciones públicas, en todos sus ámbitos, han venido aplicando desde décadas diversas acciones para la protección y el conocimiento de la situación. Pero, aún así, los datos disponibles sobre exposición global al ruido de la población en la mayor parte de los países europeos son, por lo general, escasos, si se comparan con los obtenidos para conocer otros problemas medioambientales. Por otra parte, existen muchas lagunas y, a menudo, cuando los datos están disponibles no son fácilmente comparables entre sí debido a la utilización de diferentes metodologías para su obtención, y a los diferentes indicadores utilizados para expresarlos.

Sin embargo, y aún conociéndose esta situación, la contaminación acústica no ha sido tradicionalmente objeto de atención preferente en los planes y programas de protección del medio ambiente. La consideración del ruido como un problema local ha justificado en gran medida esta falta de interés, sin tener en cuenta que en muchos casos la fuente de ruido no es de origen local.

Ha sido en fechas recientes, concretamente a partir de la publicación por la Comisión Europea, en 1996, del “Libro Verde sobre la política futura de lucha contra el ruido”, cuando se constata: la escasa información disponible sobre la exposición al ruido de los ciudadanos; los elevados niveles de ruido registrados y su creciente evolución en el tiempo y en el espacio; los defectos y carencias observados en el análisis de los datos y de las medidas existentes para su prevención y control. Todo esto puso de manifiesto la necesidad de adoptar un nuevo enfoque en la lucha contra el ruido ambiental.



A continuación, se analizan someramente las acciones que, frente al ruido ambiental, se han venido llevando a cabo, tanto en el ámbito de la Unión Europea, como en los ámbitos estatal, regional y local, así como los nuevos instrumentos y medidas puestos en marcha como consecuencia de la aplicación del nuevo enfoque planteado en el libro verde.

### 2.2.1. Acciones en la Unión Europea

La política medioambiental comunitaria sobre el ruido ha consistido fundamentalmente en el establecimiento de niveles máximos de emisión sonora exigidos a vehículos, aeronaves y máquinas, con el objeto de lograr el mercado único y en aplicar, en el ámbito comunitario, los acuerdos internacionales sobre ruido de las aeronaves, así como en establecer procedimientos de certificación para garantizar que los vehículos y equipos cumplan, en el momento de la fabricación, los límites de emisión de ruido establecidos en las directivas comunitarias correspondientes.

A lo largo de los períodos de ejecución de los Planes de Acción Comunitarios se han ido publicando una serie de directivas reguladoras de los niveles de ruido que se pueden clasificar en los grupos siguientes:

- Ruido exterior producido por vehículos, aeronaves, maquinaria y equipos.
- Ruido en el ambiente laboral.
- Ruido producido por aparatos domésticos.

En el primer grupo de directivas se engloban aquellas que tienen por finalidad limitar las emisiones sonoras de los medios de transporte y maquinaria de uso en el exterior que se describen a continuación:

#### *Transporte viario*

La Directiva 70/157/CEE [2], adoptada en 1970, reguló los niveles de ruido producidos por los vehículos de motor (coches, camiones y autobuses). Esta directiva ha sido modificada nueve veces, la última mediante la Directiva 92/97/CEE [4], que entró en vigor en 1996.

Se trata de limitar el ruido producido por los vehículos en una situación típica de tráfico urbano, definida en la prueba de homologación. Todos los vehículos deben atenerse a los límites fijados y, por lo tanto, los modelos de producción deben diseñarse para emisiones de 1 dBA por debajo del límite para que haya margen para las tolerancias de producción.

Es de destacar que, con la aplicación de la actual normativa, los automóviles han reducido sus niveles de emisión de ruido en alrededor del 85% (8 dBA) y los camiones pesados en más del 90% (11 dBA). No obstante los valores anteriores, los resultados de una serie de estudios realizados ponen de manifiesto que la reducción real del ruido procedente del tráfico rodado ha sido mucho menor, de apenas 1-2 dBA.

Las razones que pueden explicar esta escasa eficacia son: la aplicación de límites más flexibles durante los primeros años; la lenta substitución de los vehículos más antiguos; el crecimiento significativo del tráfico y las limitaciones en términos de posibilidades de reducción de los ruidos causados por la interacción entre el neumático y el suelo. Además, el procedimiento de prueba (ISO

R 362 [10]) no refleja las condiciones reales de conducción y, sin un procedimiento de inspección regular que garantice el mantenimiento de las características acústicas, los niveles de ruido de los vehículos pueden aumentar a lo largo del tiempo. Por ejemplo, la manipulación indebida de los dispositivos de escape en las motocicletas puede aumentar los niveles de ruido en 10 dBA.

A medida que se reducían los límites de emisión, fueron ganando importancia los ruidos producidos por efecto de la rodadura, hasta convertirse en la fuente principal de ruido, sobre todo cuando se circula a velocidades mayores a 50 km/h. En la actualidad, se está trabajando en la regulación y clasificación de tipos de firmes y neumáticos más silenciosos, así como en introducir nuevas medidas técnicas en los vehículos, y se han conseguido avances en estas líneas de actuación.

### *Transporte ferroviario*

En 1983, la Comisión propuso una directiva sobre los niveles máximos permitidos de emisión sonora para los vehículos sobre carriles. Esta propuesta, aunque fue aprobada por el Parlamento Europeo, fue retirada por la Comisión en 1993. La causa de la retirada se debió en parte a los problemas técnicos no resueltos, pero el motivo principal fue el acceso sin restricciones de los vehículos sobre carriles de terceros países, que no estaban sujetos a los niveles de emisión de la Unión Europea.

En la actualidad la regulación del ruido producido por el ferrocarril en la Unión Europea se recoge en especificaciones técnicas para la interoperabilidad contenidas en Directivas y decisiones del Parlamento Europeo.

### *Transporte aéreo*

La Directiva 92/14/CEE [3], relativa a la limitación del uso de aviones objeto del Anexo 16 del Convenio relativo a la aviación civil internacional, volumen 1, segunda parte, capítulo 2, segunda edición (1988), que entró en vigor en abril de 1995, es la última de una serie de medidas legislativas iniciadas en 1979 (Directivas 80/51/CEE sobre limitación de las emisiones sonoras de las aeronaves subsónicas y 89/629/CEE relativa a la limitación de emisiones sonoras de los aviones de reacción subsónicos civiles) con el objetivo de limitar el ruido producido por las aeronaves civiles. Estas directivas tratan de aplicar en la Unión Europea las normas internacionales establecidas en el Anexo de Protección del Medio Ambiente (volumen I del Anexo 16) del Convenio de Chicago, dictadas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Esta directiva ha sido derogada por la Directiva 2006/93/CE [7], sobre la regulación del uso de aviones objeto del anexo 16 del convenio relativo a la aviación civil internacional, volumen 1, segunda parte, capítulo 3, segunda edición (1988).

Como consecuencia de la aplicación de estas directivas, la operación de los aviones subsónicos sin certificado de ruido (NNC) fueron prohibidos en los aeropuertos comunitarios hace varios años y, en aplicación del Capítulo 2 de la Directiva 92/14/CE [3], está prohibida la operación de los aviones con más de 25 años en estos aeropuertos, desde abril de 1995, aunque existen excepciones. Por otra parte, los aviones del Capítulo 2 han sido retirados de forma sistemática durante el período de 1995 a 2002 y, a partir del de 1 de abril de 2002, solo los aviones del Capítulo 3 pueden utilizar los aeropuertos comunitarios.

El establecimiento de normas y procedimientos para la introducción de restricciones operativas relacionadas con el ruido en los aeropuertos comunitarios está regulado en la Directiva 2002/30/CE [6]. Se trata de facilitar la introducción de restricciones operativas en los aeropuertos de forma coherente, con el fin de limitar o reducir el número de personas que padecen los efectos dañinos del ruido de los aviones, mediante la aplicación del concepto de “enfoque equilibrado”, para permitir la posibilidad de elección entre las medidas disponibles, con el fin de lograr el máximo beneficio medioambiental con el mínimo coste posible.

Actualmente, diversos organismos internacionales, tales como, el Comité sobre la Protección del Medio Ambiente (CAEP), de la OACI y la Conferencia Europea de Aviación Civil (CEAC) están considerando la posibilidad de aumentar las exigencias impuestas a las nuevas aeronaves.

### *Maquinaria de uso exterior y materiales de construcción*

Distintas directivas comunitarias han establecido valores admisibles de emisión sonora, códigos de ensayo y etiquetado con valores garantizados de emisión, para el control del ruido producido por determinados tipos de máquinas de uso en el exterior. La mayor parte de los valores de emisión fijados inicialmente se consolidaron en una segunda fase. Desde la entrada en vigor de las diferentes normas legislativas los niveles de emisión sonora de los distintos tipos de máquinas contemplados se han reducido entre 1 y 5 dBA.

Los tipos de máquinas de uso exterior contemplados por esas directivas son:

- Motocompresores.
- Grúas torre.
- Grupos electrógenos de soldadura.
- Grupos electrógenos de potencia.
- Trituradoras de hormigón.
- Martillos picadores neumáticos.
- Palas hidráulicas, de cable, cargadoras, y topadoras frontales.
- Máquinas corta césped.

La estructura de todas estas directivas es muy similar, facultando a cada Estado miembro a otorgar una Certificación de aprobación CE a aquellas máquinas que no superen los niveles de potencia acústica de ruido aéreo establecidos en las mismas.

Más recientemente, se ha publicado Directiva 2000/14/CE [5], sobre emisiones de ruido al medio ambiente producido por máquinas de uso en el exterior, que sustituye a las anteriormente en vigor. Esta directiva se aplica a un número de máquinas considerablemente más amplio de las cuales a algunas se les exigen límites máximos de emisión sonora, y a otras únicamente el etiquetado acústico.

### *Libro verde sobre la política futura de lucha contra el ruido*

La Comisión Europea publicó, en noviembre de 1996, el “**Libro Verde sobre la política futura de lucha contra el ruido**” [13]. Este hecho puede ser considerado como el primer paso en la puesta en



marcha de una política global contra el ruido, adoptando un nuevo enfoque, actualmente en desarrollo en el seno de Unión Europea.

En línea con esta nueva política, en el VI Programa Comunitario de Acción en materia de Medio Ambiente [1] se establecen las directrices de la política ambiental de la Unión Europea para el período 2001-2010, marcando como objetivo en materia de contaminación acústica la reducción del número de personas expuestas de manera regular y prolongada a niveles sonoros elevados.

Además, con el fin de proporcionar un marco en el ámbito comunitario y completar el conjunto de medidas comunitarias existente sobre el ruido emitido por las principales fuentes, en particular vehículos e infraestructuras de ferrocarril y carretera, aeronaves, equipamiento industrial y de uso al aire libre y máquinas móviles, así como para desarrollar medidas adicionales a corto, medio y largo plazo, en el año 2002 se aprobó la Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, cuyo primer objetivo fue emprender una serie de acciones para la evaluación y gestión de la exposición al ruido ambiental, mediante:

- La armonización de indicadores de ruido y métodos de evaluación.
- La agrupación de datos armonizados en mapas estratégicos de ruido, para un mejor conocimiento de la situación en las aglomeraciones y en el entorno de las grandes infraestructuras viarias, ferroviarias y portuarias.
- La elaboración de planes de acción para abordar las cuestiones relativas al ruido ambiental.
- La publicación de toda la información sobre ruido ambiental disponible.

Todos estos puntos se previó desarrollarlos en dos fases, la primera que ha finalizado en diciembre de 2007, y la segunda que finalizará en 2012.

Es de destacar que la aplicación de la Directiva 2002/49/CE, supone la adopción de índices ( $L_{den}$  y  $L_{night}$ ), y de métodos de cálculo y medición comunes para la evaluación de la exposición al ruido ambiental.

En la directiva se fijan, también, unos requisitos mínimos, orientaciones y objetivos generales en lo referente a: cartografía del ruido; planes de acción; información a la población y utilización de índices adicionales. Asimismo, esta directiva sienta las bases que permiten elaborar nuevas medidas comunitarias para reducir los ruidos emitidos por fuentes específicas, en particular los medios de transporte y los equipos al aire libre.

### 2.2.2. Acciones en España

La inexistencia en España, hasta el año 2003, de una ley básica sobre contaminación acústica ha tenido como consecuencia que la regulación de esta materia se encuentre dispersa en diferentes textos legales y reglamentarios, tanto estatales como autonómicos, así como en ordenanzas municipales ambientales y sanitarias de algunos Ayuntamientos.

Con el fin de mejorar esta situación se impulsó la elaboración de una ley, de carácter básico y ámbito estatal que, tomando en consideración el nuevo enfoque de las políticas contra el ruido de la Unión Europea, regulara de forma exclusiva la contaminación acústica, ajustada a las características,

costumbres y estado del medio ambiente acústico de nuestro país. Esta ley, conocida como “Ley 37/2003, del Ruido”, fue aprobada y publicada el 18 de noviembre de 2003.

### *Acciones en los Entes Locales*

Tradicionalmente en España, las principales actuaciones de prevención y control del ruido se han desarrollado en el ámbito de los Ayuntamientos a través de las Ordenanzas Municipales y de la incorporación a la acción municipal de departamentos de medio ambiente, en los que una de sus competencias es la lucha contra el ruido.

Inicialmente la gestión de protección contra el ruido tuvo una visión fundamentalmente sancionadora y sectorialista, es decir, solamente se recurría al procedimiento de imposición de multas y se penalizaban únicamente las actividades industriales y actos de conducta. Las actuales Ordenanzas tienden a ampliar el campo de actuación municipal respondiendo más a una gestión basada en la prevención.

La acción se realiza a través de las correspondientes licencias y autorizaciones municipales que abarcan todo tipo de actividades que, en algunos casos, incluyen el planeamiento urbano y la organización de actividades y servicios. Entre éstas se incluyen la organización del tráfico de los transportes, la recogida de residuos, la ubicación de edificios de especial sensibilidad, el aislamiento acústico y la planificación y proyectos de vías de circulación con sus elementos de aislamiento y amortiguación acústica.

Es de destacar que en la actualidad y de acuerdo con las disposiciones de la Ley 37/2003 del Ruido que contiene también disposiciones relativas a la distribución competencial en materia de contaminación acústica, sin perjuicio de la competencia de las Comunidades Autónomas para desarrollar la legislación básica estatal en materia de medio ambiente, se menciona la competencia de los Ayuntamientos para aprobar ordenanzas sobre ruido y para adaptar las existentes y el planeamiento urbanístico a las previsiones de la ley. En la Tabla 2.2 se muestran las disposiciones de la Ley del ruido sobre ordenanzas municipales y planificación territorial y urbanística.

**Tabla 2.2. La Ley del ruido y la planificación territorial y urbanística**

**Artículo 6.** Ordenanzas municipales y planeamiento urbanístico.

*Corresponde a los Ayuntamientos aprobar ordenanzas en relación con las materias objeto de esta ley. Asimismo, los Ayuntamientos deberán adaptar las ordenanzas existentes y el planeamiento urbanístico a las disposiciones de esta ley y de sus normas de desarrollo.*

**Artículo 17.** Planificación territorial.

*La planificación y el ejercicio de competencias estatales, generales o sectoriales, que incidan en la ordenación del territorio, la planificación general territorial, así como el planeamiento urbanístico, deberán tener en cuenta las previsiones establecidas en esta ley, en las normas dictadas en su desarrollo y en las actuaciones administrativas realizadas en ejecución de aquéllas.*

**Disposición transitoria segunda.** Planeamiento territorial vigente.

*El planeamiento territorial general vigente a la entrada en vigor de esta ley deberá adaptarse a sus previsiones en el plazo de cinco años desde la entrada en vigor de su Reglamento general de desarrollo.*

Se establecen asimismo criterios de prevención específica sobre condiciones acústicas en edificios, ruidos de vehículos, comportamiento de ciudadanos en la vía pública y en la comunicación diaria, trabajo en vías públicas, máquinas y aparatos susceptibles de producir ruidos, así como las condiciones de instalación y apertura de actividades.

### *Acciones en las Comunidades Autónomas*

Algunas Comunidades Autónomas han establecido regulaciones normativas específicas sobre ruido, utilizando criterios muy diferentes entre ellas. Un efecto de la entrada en vigor de la nueva legislación básica sobre contaminación acústica es que estas regulaciones se deben adaptar a lo establecido en ella. Actualmente nos encontramos en ese periodo de adaptación. A continuación se hace una breve descripción del estado actual de la normativa sobre contaminación acústica en las distintas Comunidades Autónomas.

En la Diputación Foral de Navarra, el Decreto Foral 135/1989, de 8 de junio, que deroga el Decreto foral 48/1987, establece las condiciones técnicas que deberán cumplir las actividades emisoras de ruidos o vibraciones, y la exigencia de realizar un estudio de impacto ambiental del ruido para proyectos de nueva construcción de autopistas, autovías, carreteras y vías de penetración a núcleos urbanos o remodelación del trazado de las existentes y la previsión de un plan de actuación del control de ruido y vibraciones a corto y medio plazo.

En las Islas Baleares, la Ley 1/2007, de 16 de marzo, contra la contaminación acústica de las Illes, que deroga el Decreto 20/1987, de 26 de marzo, para la protección del medio ambiente contra la contaminación por emisión de ruidos y vibraciones, se adapta a las disposiciones de la Ley 37/2003, del Ruido, aunque está pendiente su desarrollo reglamentario.

La Junta de Extremadura ha publicado el Decreto 19/1997, de 4 de febrero, de Reglamentación de Ruidos y Vibraciones, que deroga al anterior Decreto 2/1991 y establece la reglamentación de ruido y vibraciones aplicable a esta Comunidad Autónoma. El decreto regula los niveles de emisión sonora, en distintas zonas y locales en función de su uso, así como las vibraciones. Establece asimismo los niveles de ruido máximo admisibles por zonas y los niveles de ruido máximos transmitidos al interior de locales, así como el procedimiento de inspección y sancionador.

El Decreto 326/2003, de la Junta de Andalucía, aprueba el Reglamento de protección contra la contaminación acústica que desarrolla la Ley 7/1994, de protección ambiental, derogada por la Ley 7/2007, de gestión integrada de la calidad ambiental y regula los ruidos y vibraciones de todas las industrias, actividades, instalaciones, medios de transporte, máquinas en general, cualquier dispositivo o actividad susceptible de generar niveles de ruido o de vibraciones, que puedan causar molestia a las personas o riesgos para la salud y bienestar de las mismas. Este reglamento se está revisando actualmente con el fin de adaptarlo a las disposiciones de la nueva legislación básica sobre contaminación acústica.

El Principado de Asturias ha publicado, asimismo, el Decreto 99/1985, de 17 de octubre, por el que se aprueban las Normas sobre condiciones técnicas de los proyectos de aislamiento acústico y de vibraciones, aplicable a cualquier solicitud de licencia para la realización de una actividad susceptible de ser calificada como molesta por ruidos y vibraciones.



La Generalitat de Cataluña publicó inicialmente en 1995 una resolución por la que se aprobaba una ordenanza municipal tipo, reguladora del ruido y las vibraciones, cuyo objeto era establecer objetivos de calidad ambiental y regular las actuaciones municipales específicas en materia de ruidos y vibraciones. Posteriormente se publicó la Ley 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica, cuyo objeto es regular las medidas necesarias para prevenir y corregir la contaminación provocada por los ruidos y las vibraciones en zonas urbanas y núcleos de población, y establecer un régimen de intervención administrativa, aplicable a todo el territorio de la comunidad. Actualmente esta en fase de tramitación un proyecto de Decreto por el que se apruebe el Reglamento general de desarrollo de la Ley 16/2002 y se adapten sus anexos a la legislación básica del estado, sobre contaminación acústica.

La Xunta de Galicia publicó la Ley 7/1997, de protección contra la contaminación acústica, desarrollada por el Decreto 150/1999, por el que se aprueba el reglamento de protección contra la contaminación acústica, cuyo objeto es la protección de las personas contra los ruidos y vibraciones imputables a cualquier causa; en el decreto se establecen previsiones aplicables a las infraestructuras viales y al tráfico de vehículos.

En la Región de Murcia se publicó el Decreto 48/1998, sobre protección del medio ambiente frente al ruido, como desarrollo y ejecución de la Ley 1/1995, de protección del medio ambiente. En este decreto se incluyen específicamente las actividades, las industrias, las infraestructuras, los medios de transporte y el planeamiento de desarrollo junto a autopistas y autovías.

La Comunidad de Madrid ha publicado el Decreto 78/1999, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica en su territorio. En esta norma se incluyen todo tipo de fuentes de ruido, excepto las infraestructuras aeroportuarias de competencia estatal. Se hace especial hincapié en la prevención, estableciendo valores límite relacionados con los usos del suelo, integrando las medidas de protección con el planeamiento urbanístico y resaltando la importancia de la vertiente acústica en los procedimientos de evaluación del impacto ambiental de proyectos y en la calificación ambiental de determinadas actividades. Asimismo, incluye determinaciones relativas a la integración del ruido en la planificación urbanística, la consideración del ruido procedente del tráfico y las condiciones acústicas exigibles a las edificaciones.

La Comunidad Autónoma de Valencia ha publicado la Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de Protección contra la Contaminación Acústica, cuyo objeto es prevenir, vigilar y corregir este tipo de contaminación en la Comunidad Valenciana. Esta ley se ha desarrollado mediante los Decretos: 19/2004 por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor; 266/2004, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios; y 104/2006, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica.

Para finalizar este apartado, se remarca que dentro del proceso de adaptación de las legislaciones autonómicas a la nueva legislación básica sobre contaminación acústica, se ha publicado muy recientemente la Ley 5/2009, del Ruido, de Castilla y León que deroga el Decreto 3/1995, por el que se establecían las condiciones a cumplir por las actividades clasificadas, sobre niveles sonoros o de vibraciones, que se venía aplicando anteriormente.

### *Acciones en el ámbito estatal*

En el ámbito estatal, excluyendo las disposiciones sobre ruido relativas al medio ambiente laboral, la nueva legislación sobre contaminación acústica se encuadra en el marco legislativo existente en el momento de su elaboración que se expone a continuación.

El Reglamento de actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas, aprobado por el Decreto 2414/1961, de 30 de Diciembre, sometía a licencia municipal la instalación de industrias o actividades que pudieran producir incomodidades, alterar las condiciones normales de salubridad e higiene del medio ambiente, ocasionar daños a las riquezas públicas o privadas o cuando implicaran riesgos graves para las personas o bienes.

Es de destacar que, a pesar de su antigüedad, este Reglamento ha sido la principal base legal de actuación contra ruido ambiental de que disponían los Ayuntamientos, hasta su derogación en 2008, por la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, y ha venido desempeñado un importante papel en la prevención del ruido de las actividades clasificadas al facultar a los Entes Locales para exigir la adopción de medidas correctoras adecuadas, en la tramitación de las licencias, así como para examinar la idoneidad de los emplazamientos de acuerdo con la calificación de la actividad a implantar.

La Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación tiene por objeto evitar, reducir y controlar la contaminación originada por las instalaciones en las que se desarrolle alguna de las actividades industriales incluidas en su ámbito de aplicación, mediante el establecimiento de un sistema de prevención y control integrados de la contaminación, incluida la acústica, que incluye la aplicación de las mejores tecnologías disponibles, con el fin de alcanzar una elevada protección del medio ambiente en su conjunto.

Además, tanto la Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad, como la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres, y la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas o el Decreto 2816/82, sobre espectáculos públicos y actividades de ocio, establecen regulaciones en relación con la evaluación y gestión del ruido de determinadas actividades.

Por otra parte, la Norma Básica de la Edificación NBE-CA 81, sobre condiciones acústicas de los edificios, aprobada por Real Decreto 1909/1981, de 24 de julio y sus posteriores modificaciones (última de 1988), establecieron las exigencias acústicas que debían cumplir los materiales de construcción desde el punto de vista de la absorción y aislamiento acústicos, así como mostraba soluciones constructivas y recomendaciones sobre niveles de ruido tanto en el exterior como en el interior de las edificaciones, para garantizar un nivel acústico adecuado al uso y actividad de sus ocupantes, y su aplicación fue preceptiva en todo el Estado. Esta norma ha sido derogada por el RD 1371/2007 por el que se aprueba el DB-HR.

La reglamentación del ruido producido por los dispositivos mecánicos existe desde hace más de veinticinco años y consiste fundamentalmente en un conjunto de Reales Decretos que fijan niveles máximos de emisión de ruido a vehículos y motocicletas, aeronaves subsónicas y a determinadas máquinas de uso en el exterior. Estos Reales Decretos surgieron como transposición de las correspondientes directivas comunitarias.



Más recientemente, la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de las repercusiones de determinados planes y programas en el medio ambiente introdujo importantes cambios, para dar cumplimiento a las exigencias comunitarias previstas en las directivas sobre evaluación ambiental, así como para clarificar y racionalizar el procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

Esta ley junto al Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación Ambiental de proyectos y el Real Decreto 1131/1988, de 30 de Septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación Ambiental, constituyen la legislación básica en la materia, en la que se incluyen la evaluación de la contaminación acústica de los planes, programas y proyectos comprendidos en su ámbito de aplicación.

Como aplicación de esta legislación, en las declaraciones de impacto ambiental (DIA's) de las infraestructuras viales y ferroviarias, aeropuertos y actividades industriales, se ha venido exigiendo como condicionamiento ambiental a la construcción de tales infraestructuras, la no superación en las zonas habitadas o urbanizables de niveles continuos equivalentes de ruido de 65 dBA, durante el período diurno, y de 55 dBA, durante el período nocturno. Actualmente, estos valores se deben adaptar a lo establecido por la nueva legislación sobre contaminación acústica.

Por lo que se refiere a la medición del ruido, en diciembre de 1998, se publicó una Orden, derogada por la ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, que regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos. Esta Orden tiene por objeto desarrollar la Ley 3/1985, de 18 de marzo, de Metrología, en lo referente a la metrología legal aplicable a los instrumentos de medida de la contaminación acústica (sonómetros, sonómetros integradores-promediadores y calibradores sonoros).

Con el fin de que la protección contra la contaminación acústica (ruido y vibraciones) sea más efectiva, las acciones anteriores se han completado con la publicación de la Ley 37/2003, del Ruido, que constituye la legislación básica, de carácter general y ámbito estatal, reguladora de este fenómeno.

La Ley 37/2003, del Ruido, toma en consideración la legislación anterior e incorpora nuevos instrumentos dirigidos: a preservar la calidad acústica; a la actuación preventiva, a través de la integración de la planificación acústica en la ordenación territorial y urbanística; y a la evaluación y gestión del ruido. Éstos son los principales instrumentos de acción.

Entre los principales objetivos de la Ley del Ruido están prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica para evitar los riesgos y reducir los daños que ésta pueda causar en la salud de la población o en el medio ambiente. Por otra parte, para garantizar el bienestar y la calidad de vida de los ciudadanos, la ley ha introducido nuevos instrumentos dirigidos a la actuación preventiva y correctora, así como para la mejora de la evaluación y de la gestión del ruido ambiental.

Destaca en la Ley del Ruido su ámbito de aplicación que se extiende a los emisores acústicos, así como a las edificaciones en su calidad de receptores acústicos. El concepto de emisor acústico comprende cualquier actividad, infraestructura, equipo, maquinaria o comportamiento que genere contaminación acústica.



Se excluye de su ámbito de aplicación la contaminación acústica originada en la práctica de actividades domésticas o las relaciones de vecindad, siempre y cuando no exceda los límites tolerables de conformidad con los usos locales. Se excluye, también, la actividad laboral, en tanto que emisor acústico y respecto de la contaminación acústica producida por aquélla en el correspondiente lugar de trabajo, así como las actividades militares.

La ley contiene disposiciones relativas a la distribución competencial, en materia de contaminación acústica, entre las distintas administraciones públicas. En este sentido, sin perjuicio de la competencia de las Comunidades Autónomas para desarrollar la legislación básica estatal en materia de medio ambiente, se menciona la competencia de los Ayuntamientos para aprobar ordenanzas sobre contaminación acústica y para adaptar las existentes y el planeamiento urbanístico a las previsiones de la ley.

Además, se especifican las competencias de las diferentes Administraciones públicas en relación con las distintas obligaciones que en la ley se imponen, tal y como se muestra en la Tabla 2.3 También se regula la información que éstas han de poner a disposición del público.

**Tabla 2.3. Distribución de competencias entre administraciones públicas**

*1. Serán de aplicación las reglas contenidas en los siguientes apartados de este artículo con el fin de atribuir la competencia para:*

- La elaboración, aprobación y revisión de los mapas de ruido y la correspondiente información al público.*
- La delimitación de las zonas de servidumbre acústica y las limitaciones derivadas de dicha servidumbre.*
- La delimitación del área o áreas acústicas integradas dentro del ámbito territorial de un mapa de ruido.*
- La suspensión provisional de los objetivos de calidad acústica aplicables en un área acústica.*
- La elaboración, aprobación y revisión del plan de acción en materia de contaminación acústica correspondiente a cada mapa de ruido y la correspondiente información al público.*
- La ejecución de las medidas previstas en el plan.*
- La declaración de un área acústica como zona de protección acústica especial, así como la elaboración, aprobación y ejecución del correspondiente plan zonal específico.*
- La declaración de un área acústica como zona de situación acústica especial, así como la adopción y ejecución de las correspondientes medidas correctoras específicas.*
- La delimitación de las zonas tranquilas en aglomeraciones y zonas tranquilas en campo abierto.*

*2. En relación con las infraestructuras viarias, ferroviarias, aeroportuarias y portuarias de competencia estatal, la competencia para la realización de las actividades enumeradas en el apartado anterior, con excepción de la aludida en el punto tercero, corresponderá a la Administración General del Estado.*

*4. En los restantes casos:*

- Se estará, en primer lugar, a lo que disponga la legislación autonómica.*
- En su defecto, la competencia corresponderá a la Comunidad Autónoma si el ámbito territorial del mapa de ruido de que se trate excede de un término municipal, y al Ayuntamiento correspondiente en caso contrario.*

La Ley del Ruido se ha desarrollado reglamentariamente en dos fases que culminan con la publicación de las normas siguientes:

- Real Decreto 1513/2005, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Real Decreto 1367/2007, sobre zonificación, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1371/2007, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación.

Uno de los aspectos importantes del desarrollo de la Ley del Ruido, derivados de la aplicación de la Directiva 2002/49/CE y recogidos en Real Decreto 1513/2005, es el referente al contenido y calendario de los mapas estratégicos de ruido y los planes de acción derivados de los mismos que deben elaborarse y aprobarse siguiendo metodologías determinadas en unos plazos establecidos, así como la obligación de información al público de los resultados obtenidos.

Por otra parte, el Real Decreto 1367/2007, sobre zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas:

- Define los índices de ruido y de vibraciones, sus aplicaciones, efectos y molestias sobre la población y su repercusión en el medio ambiente.
- Delimita los distintos tipos de áreas y servidumbres acústicas definidas en el la Ley 37/2003.
- Establece los objetivos de calidad acústica para cada área acústica en que se zonifica el territorio, así como los aplicables en el espacio interior habitable de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales.
- Regula los emisores acústicos fijando valores límite de emisión o de inmisión según corresponda a las actividades e infraestructuras de transporte.
- Establece los procedimientos y los métodos de evaluación de ruidos y vibraciones.

Cabe destacar que las exigencias derivadas del desarrollo reglamentario de la Ley del Ruido, en lo que se refiere tanto a los objetivos de calidad acústica para el ruido en el ambiente exterior, como a los objetivos de calidad acústica de ruido y de vibraciones exigidos en el espacio interior habitable de las edificaciones, tienen importantes repercusiones sobre las condiciones acústicas exigibles a las edificaciones, que tiene su reflejo en Real Decreto 1371/2007, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación, mejorándolas sensiblemente, en relación a las exigencias de la norma básica de la edificación que se ha venido aplicando hasta ahora.

Por último, partiendo de la base de que el ruido ambiental no se puede eliminar, se describen, en los apartados que siguen, los instrumentos de evaluación y gestión, contemplados en la nueva legislación sobre contaminación acústica, para la prevención, la reducción o la mitigación de la exposición al ruido ambiental, siguiendo el planteamiento básico de actuación siguiente:

- Evaluación de la contaminación acústica. Mapas de ruido.
- Zonificación Acústica. Delimitación de Áreas acústicas.
- Aplicación de objetivos de calidad acústica.
- Evaluación de la calidad acústica. Mapas de conflictos.

- Planes zonales específicos y planes de acción preventivos y correctivos.
- Sistema básico de información.

La Figura 2.2 muestra de forma esquemática las acciones a llevar a cabo en el proceso de evaluación y gestión del ruido ambiental, de acuerdo con este planteamiento.

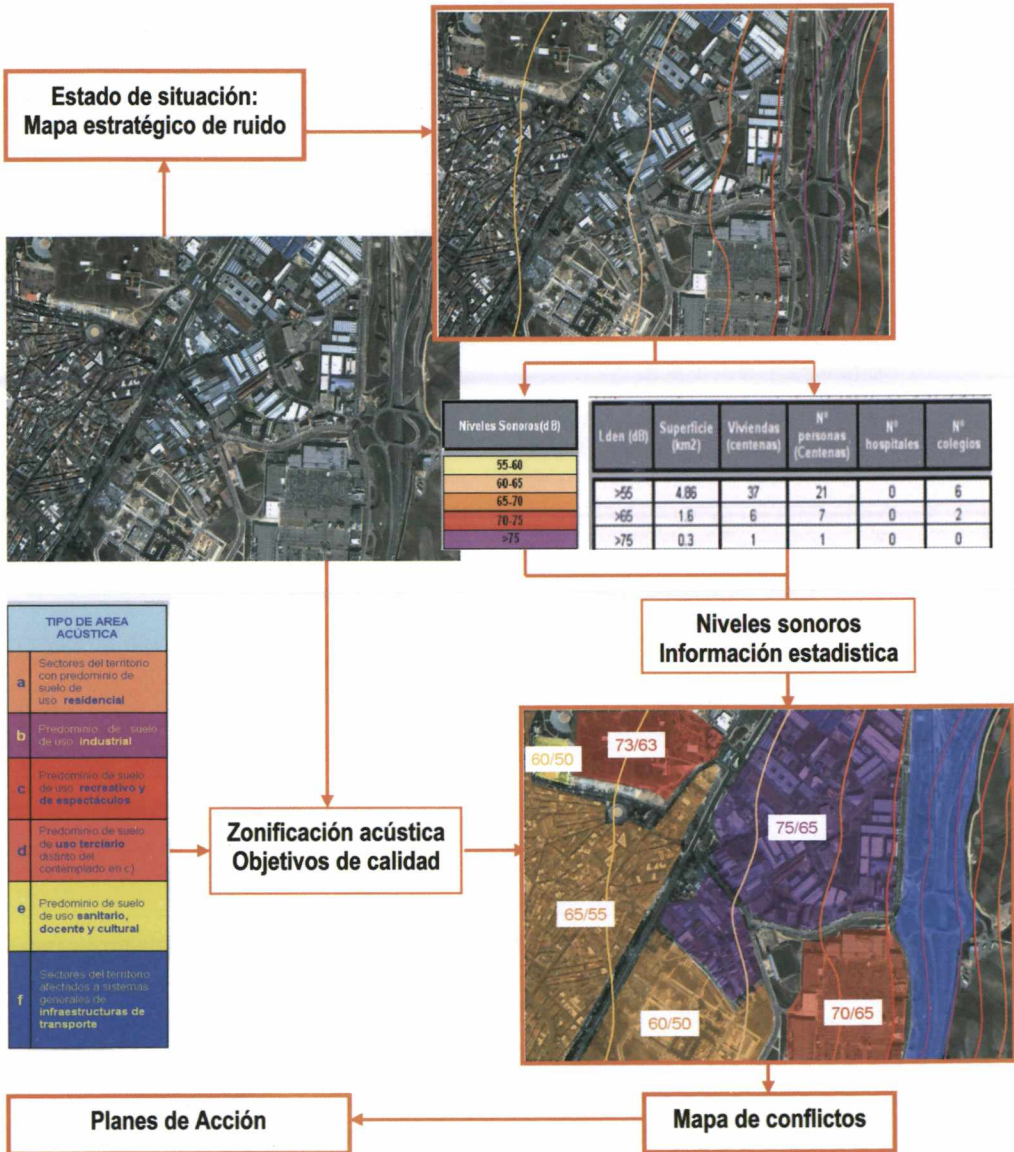


Figura 2.2. Esquema de actuaciones para la evaluación y gestión del ruido



### 2.3. La evaluación de la contaminación acústica

Un aspecto fundamental a considerar en el proceso de evaluación del ruido ambiental es la aplicación de criterios homogéneos que permitan hacer comparables entre sí las magnitudes de ruido evaluadas en distintos ámbitos territoriales. Por ello, partiendo del nuevo enfoque planteado para abordar el tratamiento del ruido ambiental y tomando en consideración los defectos observados en el análisis de las evaluaciones existentes, se considera prioritario adoptar medidas para mejorar la exactitud y la estandarización de los datos con objeto de que las diversas acciones que se planifiquen y adopten en el futuro resulten coherentes y más eficaces.

Atendiendo a esta finalidad, uno de los aspectos más novedosos incorporados por la nueva legislación es el que se refiere a los nuevos indicadores y procedimientos y metodologías establecidos para la evaluación del ruido y de las vibraciones y cómo estos deben ser usados en las distintas aplicaciones.

Así, se definen los índices de ruido y de vibraciones que se deben aplicar para la evaluación de los objetivos de calidad acústica y de los valores límite de inmisión, atendiendo a los distintos periodos temporales de evaluación establecidos en concordancia con los criterios marcados por la legislación comunitaria. En la Tabla 2.4 se muestran los índices de evaluación previstos en la nueva legislación básica sobre contaminación acústica.

*Tabla 2.4. Índices de evaluación de ruido y vibraciones*

<b>a) Evaluación del ruido:</b>	
$L_{den}$	Evalúa las molestias globales
$L_d$	Evalúa molestias globales en el periodo día
$L_e$	Evalúa molestias globales en el periodo tarde
$L_n$	Evalúa alteraciones de sueño en el periodo noche
$L_{Amax}$	Evalúa niveles sonoros máximos
$L_{Aeq, T}$	Evalúa niveles sonoros en el intervalo temporal de $T$ segundos
$L_{K_{eq}, T}$	Evalúa niveles sonoros, con correcciones por componentes tonales, de baja frecuencia o ruido de carácter impulsivo
<b>b) Evaluación de las vibraciones:</b>	
$L_{aw}$	Evalúa niveles de vibración máximos, en el espacio interior de edificios.

Con la aplicación de los nuevos índices se logra, por una parte, la caracterización del “clima sonoro” de un entorno, evaluado mediante promedios a largo plazo (un año), por otra, la evaluación de los efectos producidos por ruidos molestos que actúan en cortos periodos de tiempo, y que, por sus propias peculiaridades, su evaluación requiere correcciones que tengan en cuenta aquellas características del ruido que los hacen más molestos, especialmente en el caso de inspección de actividades. Lo primero tiene una especial aplicación en la elaboración de los mapas estratégicos de ruido y en la planificación acústica.

### 2.3.1. Índices de evaluación. Definición y criterios de aplicación

A continuación se describen los índices establecidos por la nueva legislación sobre evaluación y control de la contaminación acústica. Es importante tener en cuenta que en la definición de cada uno de ellos se contempla, además de las unidades (dB), los periodos temporales de evaluación y las condiciones de localización de los puntos de evaluación y de las condiciones de medida del ruido, tal y como se describen a continuación.

#### *Periodos temporales de evaluación*

Para la evaluación del ruido se han venido considerando dos periodos temporales, el correspondiente al día, por lo general de 16 horas, y el periodo nocturno de 8 horas. Con la nueva normativa se establecen los tres periodos temporales de evaluación diarios siguientes:

- Periodo día (*d*): al periodo día le corresponden 12 horas;
- Periodo tarde (*e*): al periodo tarde le corresponden 4 horas;
- Periodo noche (*n*): al periodo noche le corresponden 8 horas.

Como norma general, los valores horarios de comienzo y fin de los distintos periodos temporales de evaluación son los siguientes: periodo día de 7.00 a 19.00; periodo tarde de 19.00 a 23.00 y periodo noche de 23.00 a 7.00, hora local.

#### *Altura del punto de evaluación de los índices de ruido*

Para la selección del punto de evaluación podrán elegirse distintas alturas, si bien éstas nunca deberán ser menores que 1,5 m sobre el nivel del suelo, en aplicaciones, tales como:

- la planificación acústica,
- la determinación de zonas ruidosas,
- la evaluación acústica en zonas rurales con casas de una planta,
- la preparación de medidas locales para reducir el impacto sonoro en viviendas específicas y
- la elaboración de un mapa de ruido detallado de una zona limitada que ilustre la exposición al ruido de cada vivienda.

Cuando se efectúen mediciones en el interior de los edificios, las posiciones preferentes del punto de evaluación estarán al menos a 1 m de las paredes u otras superficies, a entre 1,2 m y 1,5 m sobre el piso, y aproximadamente a 1,5 m de las ventanas. Cuando estas posiciones no sean posibles las mediciones se realizarán en el centro del recinto.

### ***Evaluación del ruido en el ambiente exterior***

En la evaluación de los niveles sonoros en el ambiente exterior mediante índices de ruido, el sonido que se tiene en cuenta es el sonido incidente, es decir, no se considera el sonido reflejado en el propio paramento vertical (en general, ello supone una corrección de 3 dB en caso de medición).

#### **Definición de los índices de ruido**

A continuación se describen los índices de ruido establecidos:

#### ***Índice de ruido continuo equivalente $L_{Aeq,T}$***

El índice de ruido  $L_{Aeq,T}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en decibelios, determinado sobre un intervalo temporal de  $T$  segundos, definido en la norma ISO 1996-1: 1987.

Donde:

Si  $T = d$ ,  $L_{Aeq,d}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el período día;

Si  $T = e$ ,  $L_{Aeq,e}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el período tarde;

Si  $T = n$ ,  $L_{Aeq,n}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el período noche.

#### ***Índice de ruido máximo $L_{Amax}$***

El índice de ruido  $L_{Amax}$ , es el más alto nivel de presión sonora ponderado A, en decibelios, con constante de integración fast,  $L_{AFmax}$ , definido en la norma ISO 1996-1:2003, registrado en el periodo temporal de evaluación.

#### ***Índice de ruido continuo equivalente corregido $L_{K_{eq},T}$***

El índice de ruido  $L_{K_{eq},T}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, ( $L_{Aeq,T}$ ), corregido por la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y ruido de carácter impulsivo, de conformidad con la expresión siguiente:

$$L_{K_{eq},T} = L_{Aeq,T} + K_t + K_f + K_i$$

Donde:

$K_t$ : es el parámetro de corrección asociado al índice  $L_{K_{eq},T}$  para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes tonales emergentes.

$K_f$ : es el parámetro de corrección asociado al índice  $L_{K_{eq},T}$ , para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes de baja frecuencia.



- $K_i$ : es el parámetro de corrección asociado al índice  $L_{K_{eq},T}$ , para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de ruido de carácter impulsivo.
- Si  $T = d$ ,  $L_{K_{eq},d}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, corregido, determinado en el período día;
- Si  $T = e$ ,  $L_{K_{eq},e}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, corregido, determinado en el período tarde;
- Si  $T = n$ ,  $L_{K_{eq},n}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, corregido, determinado en el período noche.

**Índice de ruido continuo equivalente corregido promedio a largo plazo  $L_{K,x}$**

El índice de ruido  $L_{K,x}$ , es el nivel sonoro promedio a largo plazo, dado por la expresión que sigue, determinado a lo largo de todos los periodos temporales de evaluación “x” de un año.

$$L_{K,x} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_{K_{eq},x})_i} \right)$$

Donde:

- $n$ : es el número de muestras del periodo temporal de evaluación “x”, en un año.
- $(L_{K_{eq},x})_i$ : es el nivel sonoro corregido, determinado en el período temporal de evaluación “x” de la i-ésima muestra.

**Nivel equivalente día-tarde-noche  $L_{den}$**

El nivel equivalente día-tarde-noche  $L_{den}$  en decibelios (dB) se determina aplicando la expresión siguiente:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

Donde:

- $L_d \langle \rangle L_{day}$ : es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año;
- $L_e \langle \rangle L_{evening}$ : es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos vespertinos de un año;
- $L_n \langle \rangle L_{night}$ : es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año.

### Definición de los índices de vibraciones

En la evaluación de las vibraciones, para verificar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior de las edificaciones, se aplicará el índice acústico  $L_{aw}$ , que se define a continuación:

#### Índice de vibración $L_{aw}$

El índice de vibración,  $L_{aw}$  en decibelios (dB), se determina aplicando la fórmula siguiente:

$$L_{aw} = 20 \lg \frac{a_w}{a_0}$$

Siendo:

- $a_w$ : el máximo del valor eficaz (RMS) de la señal de aceleración, con ponderación en frecuencia  $w_m$ , en el tiempo  $t$ ,  $a_w(t)$ , en  $m/s^2$ .
- $a_0$ : la aceleración de referencia ( $a_0 = 10^{-6} m/s^2$ ).

Donde:

- La ponderación en frecuencia se realiza según la curva de atenuación  $w_m$  definida en la norma ISO 2631-2:2003 [12]: Vibraciones mecánicas y choque. Evaluación de la exposición de las personas a las vibraciones globales del cuerpo. Parte 2 Vibraciones en edificios 1 – 80 Hz.
- El valor eficaz  $a_w(t)$  se obtiene mediante promediado exponencial con constante de tiempo 1s (slow). Se considerará el valor máximo de la medición  $a_w$ . Este parámetro está definido en la norma ISO 2631-1:1997 [11] como MTVV (Maximum Transient Vibration Value), dentro del método de evaluación denominado “running RMS”.

### Aplicación de los índices acústicos

De acuerdo con lo establecido por la directiva comunitaria sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, en algunos casos, además del uso de los índices  $L_{den}$  y  $L_n$ , y cuando proceda  $L_d$  y  $L_e$ , puede resultar conveniente utilizar indicadores de ruido especiales con los valores límite correspondientes, como se muestra en los ejemplos siguientes:

- La fuente emisora de ruido considerada sólo está activa durante una pequeña fracción de tiempo (por ejemplo, menos del 20% del tiempo durante todos los períodos diurnos, vespertinos o nocturnos de un año);
- El número de casos en que se emite ruido es, en uno o más de los períodos considerados, en promedio muy bajo (por ejemplo, menos de un caso por hora, entendiéndose por caso un ruido que dura menos de cinco minutos, en particular el ruido del paso de un tren o de un avión);
- El contenido en bajas frecuencias del ruido es grande;

- La utilización del índice  $L_{amax}$  o  $SEL$  (nivel de exposición sonora [sound exposure level]) para la protección durante el período nocturno en caso de incrementos bruscos de ruido;
- Hay protección adicional durante el fin de semana o en un período concreto del año;
- Hay protección adicional durante el período diurno;
- Hay protección adicional durante el período vespertino;
- Se da una combinación de ruidos procedentes de fuentes distintas;
- Se trata de zonas tranquilas en campo abierto;
- El ruido contiene componentes tonales fuertes;
- El ruido tiene carácter impulsivo.

Por otra parte, en la nueva legislación básica se establece que los índices de ruido  $L_d$ ,  $L_e$  y  $L_n$  se usarán para la verificación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica aplicables a las áreas acústicas y al espacio interior de los edificios, así como para la evaluación de los niveles sonoros producidos por las infraestructuras, a efectos de verificar el cumplimiento de los valores límite y la delimitación de las servidumbres acústicas. En el caso de las infraestructuras ferroviarias y aeropuertos se utilizará además el índice  $L_{Amax}$ .

Para la evaluación del ruido, con el fin de verificar el cumplimiento de los valores límite aplicables a cualquier instalación, establecimiento o actividad de naturaleza portuaria, industrial, comercial, de servicios o de almacenamiento, se aplicarán los índices acústicos  $L_{Aeq, T}$ ,  $L_{K_{eq, T}}$  y  $L_{K, x}$ .

Además, para la evaluación de las vibraciones y para verificar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior de los edificios, así como para la evaluación de los niveles sonoros producidos por las infraestructuras y actividades se aplicará el índice acústico  $L_{aw}$ .

### 2.3.2. Métodos de evaluación

La evaluación de los índices acústicos se puede realizar aplicando metodologías de cálculo específicas, procedimientos de medición “in situ” utilizando la instrumentación adecuada, o mediante una combinación de ambas técnicas.

Si se realizan mediciones “in situ”, los instrumentos de medida utilizados para la evaluación del ruido deberán cumplir las disposiciones establecidas en la Orden del Ministerio de Fomento, de 25 de septiembre de 2007, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible, para los de “tipo 1/clase 1”.

Por otra parte, para la evaluación de las vibraciones mediante mediciones se deberán usar instrumentos de medida que cumplan las exigencias establecidas en la norma UNE-EN ISO 8041:2006 [16]. «Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida».

Por lo que se refiere a la evaluación del ruido ambiental aplicando metodologías de cálculo, en la Tabla 2.5 se muestran los métodos de cálculo para evaluar el ruido ambiental originado por las infraestructuras de transporte y las instalaciones industriales, recomendados por la directiva sobre evaluación y gestión del ruido ambiental y el Real Decreto 1513/2005. Es de destacar que estos métodos de cálculo recomendados son provisionales hasta que se adopten unos nuevos métodos comunitarios que se están elaborando en el seno de la Unión Europea.



Para la aplicación de los métodos descritos en la Tabla 2.5 es necesario tener en cuenta las orientaciones publicadas por la Comisión Europea [15] relativas a la adaptación de tales métodos a las definiciones de los nuevos índices de ruido ( $L_{den}$ ,  $L_d$ ,  $L_e$  y  $L_n$ ). Estas *Orientaciones* proporcionan datos de emisiones correspondientes a los ruidos procedentes de aeronaves, tráfico rodado y tráfico ferroviario. Conviene señalar que tales datos se proporcionan sobre la base de una revisión de los existentes que se encuentran disponibles para su utilización con los métodos de cálculo recomendados para evaluar el ruido procedente de los medios de transporte.

Aunque los datos de emisión facilitados en estas *Orientaciones* no pueden cubrir todas las situaciones concretas que se pueden producir en Europa, en especial por lo que respecta al tráfico rodado y ferroviario, se proporcionan medios para obtener datos suplementarios realizando las oportunas mediciones.

Por último, es de destacar que la utilización de los datos facilitados en las *Orientaciones* no es obligatoria, y se pueden utilizar otros, a condición de que sean adecuados para su uso con los métodos considerados.

**Tabla 2. 5. Métodos de cálculo recomendados para la evaluación del ruido**

<p><b>- RUIDO INDUSTRIAL:</b> ISO 9613-2: “Acoustics. Attenuation of sound propagation outdoors. Part 2: General method of calculation”.</p> <p>Para este método pueden obtenerse datos adecuados sobre emisión de ruido (datos de entrada) mediante mediciones realizadas según alguno de los métodos siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ISO 8297:1994 “Acoustics. Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment. Engineering method”;</li> <li>- EN ISO 3744: 1995 “Acústica: Determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido utilizando presión sonora. Método de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflectante”;</li> <li>- EN ISO 3746: 1995 “Acústica: Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido a partir de presión sonora. Método de control en una superficie de medida envolvente sobre un plano reflectante”.</li> </ul>
<p><b>- RUIDO DE AERONAVES EN TORNO A AEROPUERTOS:</b> ECAC.CEAC Doc. 29 “Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports”, 1997. Entre los distintos métodos de modelización de trayectorias de vuelo, se utilizará la técnica de segmentación mencionada en la sección 7.5 del documento 29 de ECAC.CEAC.</p>
<p><b>- RUIDO DEL TRÁFICO RODADO:</b> El método nacional de cálculo francés “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)”, mencionado en el “Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6” y en la norma francesa “XPS 31-133”. Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, esos documentos se remiten al “Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980”.</p>
<p><b>- RUIDO DE TRENES:</b> El método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado en “Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaï ’96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996”.</p>

### 2.3.3. Mapas de ruido

Los mapas de ruido son instrumentos de evaluación que consisten en la presentación de datos, sobre la base de un índice de ruido, referidos a una situación acústica existente o pronosticada en la que se indique la superación de cualquier valor límite vigente pertinente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un índice de ruido en una zona determinada.

La nueva legislación sobre contaminación acústica diferencia entre los dos tipos de mapas de ruido siguientes:

- a) Mapas estratégicos de ruido.
- b) Mapas de ruido no estratégicos.

Mientras los mapas de ruido no estratégicos se elaborarán por las administraciones competentes, al menos, para las áreas acústicas en las que se compruebe el incumplimiento de los objetivos de calidad acústica, los mapas estratégicos de ruido se deben elaborar y aprobar por las administraciones competentes, en unos plazos establecidos para cada uno de los grandes ejes viarios y ferroviarios, de los grandes aeropuertos y de las aglomeraciones.

Los mapas estratégicos de ruido son mapas de ruido diseñados para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona.

La identificación de las grandes infraestructuras del transporte y de las aglomeraciones sobre las que se deberán realizar mapas estratégicos de ruido, así como la elaboración de los mismos en unos plazos determinados, constituye una de las tareas prioritarias para la aplicación de la nueva legislación.

Ello es debido a que los mapas estratégicos de ruido son los instrumentos que suministran información uniforme sobre la exposición al ruido en distintas zonas del territorio, aplicando criterios homogéneos de evaluación que hacen comparables entre sí las magnitudes evaluadas en cada lugar.

Los mapas estratégicos de ruido se pueden elaborar aplicando métodos de cálculo, mediante la realización de mediciones “in situ”, o bien aplicando una combinación de estas dos técnicas.

Los mapas estratégicos de ruido se deben elaborar de acuerdo con los requisitos mínimos que se describen en la Tabla 2.6 y dan lugar a los mapas siguientes:

- Mapa de niveles sonoros de  $L_{den}$  en dB, a una altura de 4 metros sobre el nivel del suelo, con la representación de líneas isófonas que delimiten los rangos siguientes:

55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75.

- Mapa de niveles sonoros de  $L_n$  en dBA, a una altura de 4 metros sobre el nivel del suelo, con la representación de líneas isófonas que delimiten los rangos siguientes:

50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70.

- Mapa con los datos de superficies totales (en km<sup>2</sup>), expuestas a valores de  $L_{den}$  mayores que 55, 65, y 75 dB, respectivamente. Incluirán además el número total estimado de viviendas (en centenas), y el número estimado de personas (en centenas) que viven en cada una de esas zonas. En el mapa figurarán las isófonas correspondientes a 55, 65 y 75 dB y se incluirá información sobre la ubicación de las ciudades, pueblos y aglomeraciones situadas dentro de esas curvas.

La elaboración de los mapas estratégicos de ruido se realiza de acuerdo con una programación que se establece en el calendario siguiente:

- Antes del 30 de junio de 2007 los correspondientes a todas las aglomeraciones con más de 250.000 habitantes y a todos los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60.000 trenes al año, y grandes aeropuertos existentes en su territorio.
- Antes del 30 de junio de 2012, y después cada cinco años, los correspondientes a todas las aglomeraciones urbanas (> de 100.000 habitantes) y a todos los grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios existentes en su territorio.

**Tabla 2.6. Requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido**

Un mapa estratégico de ruido es la representación de los datos relativos a alguno de los aspectos siguientes:

- situación acústica existente, anterior o prevista expresada en función de un indicador de ruido;
- superación de un valor límite;
- número estimado de viviendas, colegios y hospitales en una zona dada que están expuestos a valores específicos de un indicador de ruido;
- número estimado de personas situadas en una zona expuesta al ruido.

Los mapas de ruido estratégicos pueden presentarse al público en forma de:

- gráficos;
- datos numéricos en cuadros;
- datos numéricos en formato electrónico.

Los mapas de ruido estratégicos para aglomeraciones harán especial hincapié en el ruido procedente de:

- el tráfico rodado;
- el tráfico ferroviario;
- los aeropuertos;
- los lugares de actividad industrial, incluidos los puertos



<p>El cartografiado estratégico del ruido servirá de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- base para los datos que deben enviarse a la Comisión;</li> <li>- fuente de información destinada a los ciudadanos;</li> <li>- fundamento de los planes de acción.</li> </ul>
<p>A cada una de estas funciones corresponde un tipo distinto de mapa estratégico de ruido.</p>
<p>Por lo que se refiere a la información a los ciudadanos y a la elaboración de los planes de acción, se necesita información adicional y más detallada, por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- una representación gráfica;</li> <li>- mapas que indiquen la superación de un valor límite;</li> <li>- mapas de diferencias que comparen la situación vigente con posibles situaciones futuras;</li> <li>- mapas que presenten el valor de un indicador de ruido a una altura de evaluación distinta de 4 m.</li> </ul>
<p>Los Estados miembro pueden establecer normas sobre el tipo y formato de esos mapas de ruido.</p>
<p>Se elaborarán mapas de ruido estratégicos de aplicación local o nacional correspondientes a una altura de evaluación de 4 m a los rangos de valores de <math>L_{den}</math> y <math>L_{night}</math> de 5 dB.</p>
<p>Con respecto a las aglomeraciones urbanas, se elaborarán mapas estratégicos especiales sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ruido del tráfico rodado</li> <li>- tráfico ferroviario</li> <li>- tráfico aéreo</li> <li>- industria</li> <li>- otras fuentes (si necesario).</li> </ul>

Un aspecto importante a considerar es la delimitación del ámbito territorial al que se extiende el mapa estratégico de ruido de una aglomeración. Para ello, se establecen criterios de densidad de población y proximidad que, aplicados al territorio de los términos municipales de las aglomeraciones, determinan la extensión del mapa de ruido.

En el caso de las grandes infraestructuras del transporte, el ámbito territorial de los mapas estratégicos de ruido se extenderá, como mínimo, hasta los puntos del territorio en el entorno de las grandes infraestructuras, que alcancen, debido a la emisión de niveles de ruido propios, valores  $L_{den}$  de 55 dB, y valores  $L_n$  de 50 dBA.

Al comienzo del año 2006 se habían identificado los ejes viarios cuyo tráfico superaba los seis millones de vehículos al año, los ejes ferroviarios cuyo tráfico superaba los 60.000 trenes al año, los grandes aeropuertos, y las aglomeraciones de más de 250.000 habitantes que, en una primera fase, debían tener elaborados sus mapas estratégicos de ruido antes de finalizar el año 2007.

A principio de 2009 se han identificado los ejes viarios cuyo tráfico superaba los tres millones de vehículos al año, los ejes ferroviarios cuyo tráfico superaba los 30.000 trenes al año, los grandes aeropuertos, y las aglomeraciones de más de 100.000 habitantes que, en una segunda fase, deberán tener elaborados sus mapas estratégicos de ruido antes de finalizar el año 2012.

A continuación se muestra el estado de situación de la aplicación de la nueva legislación en lo referente a la elaboración de los mapas estratégicos de ruido de las aglomeraciones y de las grandes infraestructuras del transporte.

### a) Aglomeraciones

En la Tabla 2.7 se enumeran las aglomeraciones que deben realizar mapas estratégicos de ruido. En la primera fase se han identificado 19 aglomeraciones mayores de 250.000 habitantes, de las que cuatro corresponden a aglomeraciones supra-municipales. Este conjunto de aglomeraciones comprende una población de 12,4 millones de habitantes, que representan el 26,9 % de la población española.

**Tabla 2.7. Aglomeraciones que tienen que elaborar mapas estratégicos de ruido**

<b>1ª Fase (2008): Aglomeraciones mayores de 250.000 habitantes.</b>			
Alicante	Gijón	Las Palmas de Gran Canaria	Valencia
Barcelona I	Madrid	Santa Cruz de Tenerife - San Cristóbal de la Laguna	Valladolid
Barcelona II	Málaga	Sevilla	Vigo
Baix Llobregat I	Murcia,		Zaragoza
Bilbao	Palma de Mallorca		Comarca de Pamplona
Córdoba			
<b>2ª Fase (2013): Aglomeraciones mayores de 100.000 habitantes.</b>			
Córdoba	Santa Cruz de Tenerife	Lleida	Valencia
Málaga	San Cristobal de la Laguna	Mataró	Castellón de la Plana
Sevilla	Santander	Tarragona	Elche
Granada	Albacete	Hospitalet de Llobregat	Badajoz
Huelva	Valladolid	Badalona	Vigo
Cádiz	Burgos	Santa Coloma de Gramanet	A Coruña
Algeciras	León	Madrid	Ourense
Jerez de la Frontera	Salamanca	Alcala de Henares	Palma de Mallorca
Dos Hermanas	Barcelonès I	Alcobendas	Agglomeración de Logroño
Almería	Baix Llobregat I	Alcorcon	Comarca de Pamplona
Jaén	Baix Llobregat II	Fuenlabrada	Bilbao
Marbella	Vallès Occidental I	Getafe	San Sebastián – Donosita
Zaragoza	Vallès Occidental II	Leganes	Vitoria - Gazteiz
Gijón	Gironés	Mostoles	Murcia
Oviedo	Reus	Torrejon de Ardoz	Cartagena
Las Palmas de Gran Canaria		Alicante	

Para la segunda fase, se han identificado las 62 aglomeraciones mayores de 100.000 habitantes, de las que siete corresponden a aglomeraciones supra-municipales. Este conjunto de aglomeraciones comprende una población de 18,7 millones de habitantes, que representan el 41,5 % de la población.

Al finalizar la primera fase de elaboración de los mapas estratégicos de ruido, prácticamente los mapas de todas las aglomeraciones han sido elaborados por los correspondientes Ayuntamientos o, en algún caso, por la Comunidad Autónoma, si bien, no todos ellos han completado el proceso de aprobación y comunicación. En la actualidad se pueden consultar los resultados de los mapas de 11 aglomeraciones en la página WEB (<http://sicaweb.cedex.es>). Esta página se actualiza regularmente, con las nuevas incorporaciones que se reciben en cada momento.

### **b) Grandes infraestructuras del transporte**

Por lo que se refiere a las infraestructuras del transporte, en la primera fase, se identificaron 10 aeropuertos con más de 50.000 operaciones año, 9.500 km de carreteras que superaban un tráfico de 6 millones de vehículos/año y 881 km de ejes ferroviarios que superaban los 60.000 trenes/año, de los cuales el 67,3 % y el 77,7 %, respectivamente, son de competencia estatal.

Para la segunda fase, se han identificado 13 aeropuertos con más de 50.000 operaciones al año, 12.900 km de carreteras que superaban un tráfico de 3 millones de vehículos al año y 1.342 km de ejes ferroviarios que superaban los 30.000 trenes al año.

Por lo que se refiere a las grandes infraestructuras, al finalizar la primera fase de elaboración de los mapas estratégicos, se ha completado la elaboración de los correspondientes a las carreteras de la Red del Estado y a las grandes infraestructuras ferroviarias y aeroportuarias, elaborados y aprobados por Organismos del Ministerio de Fomento.

En total, se han elaborado mapas estratégicos para un total de 4.779 km de carreteras por la Dirección General de Carreteras, los correspondientes a 685,1 km de ferrocarriles por ADIF (Administrador de Infraestructuras de Ferrocarril) y la Dirección General de Ferrocarriles y los de los diez aeropuertos incluidos en esta primera fase por AENA.

También se han realizado, por algunas Comunidades Autónomas, los mapas estratégicos de ruido de las grandes infraestructuras de transporte de su competencia. Los resultados de los mapas estratégicos de las grandes infraestructuras del transporte elaborados se pueden consultar, asimismo, en la página WEB (<http://sicaweb.cedex.es>).

## **2.4. Zonificación en áreas acústicas. Áreas acústicas**

Cada día se está prestando más atención a la calidad acústica del medio ambiente ya que está considerada, hoy, como uno de los objetivos medioambientales prioritarios. No obstante la anterior, por lo que se refiere a la contaminación acústica, no siempre disponemos de definiciones sólidas que nos guíen en el logro de los objetivos de calidad acústica deseables.



Estas definiciones son necesarias para lograr la efectiva identificación y delimitación de las áreas territoriales, para evaluar su calidad y para establecer objetivos, así como para abordar la planificación y adopción de las acciones precisas con el fin de, por una parte, mejorar la calidad acústica en el futuro y, por otra, evitar el deterioro de la calidad acústica en las zonas tranquilas de las aglomeraciones y en el campo abierto.

En la Tabla 2.8 se muestra un resumen de los impactos causados por el ruido ambiental sobre la salud, atendiendo a los efectos específicos que produce. Entre ellos destacan: las alteraciones del aparato auditivo; la interferencia con la comunicación hablada; las alteraciones del descanso y del sueño; los efectos psico-fisiológicos; la molestia y alteración de comportamientos, así como la interferencia con las actividades que se desarrollan.

**Tabla 2.8. Efectos producidos por el ruido. Tipo de efectos**

**- Efectos sobre el aparato auditivo.**

**Exposición aguda:**

Ruptura de la membrana del tímpano. Valor límite de seguridad  $L_{max}$  140 dB.

**Exposición crónica:**

Desplazamiento temporal o permanente del umbral auditivo. Valor límite de seguridad  $L_{eq}$  80 dBA.

**- Efectos mediados por estímulo del sistema nervioso:**

En general no existen evidencias suficientes que aseguren que la exposición a niveles de ruido elevados sea un factor de riesgo cardiovascular, aunque muchos datos aportados por estudios parecen apuntar hacia esa posibilidad.

**- Interferencias con el sueño.**

**- Interferencia con la comunicación oral.**

**- Efectos sobre las actividades mentales y psicomotoras.**

**- Molestia y reacción de la comunidad.**

**- Otros efectos del ruido:**

Estados de ansiedad, neurosis e irritabilidad.

Disminución de algunas funciones psicológicas.

Con el objeto de orientar sobre los efectos causados por la exposición al ruido ambiental y la consiguiente protección de la población, la OMS ha publicado el documento titulado "Guidelines for Community Noise" [9]. Con este documento se trata de consolidar el conocimiento científico actual del impacto sobre la salud causado por el ruido ambiental, así como de proporcionar una guía y recomendaciones que sirvan de base en el establecimiento de objetivos de calidad acústica para la protección frente a las molestias y los efectos nocivos derivados de la exposición al ruido ambiental.

Si partimos de la base de que la sensibilidad al ruido ambiental depende de las actividades que se desarrollan en una zona determinada en un periodo de tiempo, se observa la necesidad de proceder a la zonificación del territorio, asignando a cada fracción del mismo una tipología de área acústica en virtud de los usos predominantes previstos para el mismo.

Una vez delimitadas las áreas acústicas atendiendo a su grado de sensibilidad, procede fijar los objetivos de calidad acústica aplicables a cada uno de los tipos resultantes, de forma que se garantice un nivel mínimo de protección frente a la contaminación acústica.

Es de destacar que en relación con la zonificación acústica, se plantean dos supuestos especiales que son, de una parte, las reservas de sonidos de origen natural y, de otra, las zonas de servidumbre acústica. La peculiaridad que ambas comparten es que no tienen consideración de áreas acústicas, debido a que en ningún caso se contemplan para ellas objetivos de calidad acústica.

También es necesario tener en cuenta las distintas actividades que se realizan en el espacio interior habitable de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales, por ser las más sensibles al ruido y asignar unos objetivos de calidad acústica a alcanzar en el espacio interior de tales edificaciones.

### **2.4.1. Áreas acústicas. Criterios de zonificación acústica**

La asignación de un sector del territorio a uno de los tipos de área acústica depende del uso predominante actual o previsto para el mismo. A efectos de la aplicación de la nueva legislación sobre ruido, se definen las áreas acústicas como las zonas del territorio que comparten idénticos objetivos de calidad acústica. Se clasifican en atención al uso predominante del suelo, entre alguno de los tipos siguientes:

- a) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.
- b) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.
- c) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.
- d) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en el párrafo anterior.
- e) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera de especial protección contra la contaminación acústica.
- f) Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen.
- g) Espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica.

#### **Delimitación de los distintos tipos de áreas acústicas**

Los criterios siguientes se aplican para la zonificación acústica del territorio y delimitan los distintos tipos de áreas acústicas:

- La delimitación territorial de las áreas acústicas y su clasificación se basará en los usos actuales o previstos del suelo en la planificación general territorial o el planeamiento urbanístico. Por tanto, la zonificación acústica de un término municipal únicamente afectará, excepto en lo referente a las áreas acústicas de los tipos f) y g), a las áreas urbanizadas y a los nuevos desarrollos urbanísticos.
- Ningún punto del territorio podrá pertenecer simultáneamente a dos tipos de área acústica diferentes.

- La zonificación del territorio en áreas acústicas debe mantener la compatibilidad, a efectos de calidad acústica, entre las distintas áreas acústicas y entre éstas y las zonas de servidumbre acústica y reservas de sonido de origen natural.
- Si concurren, o son admisibles, dos o más usos del suelo para una determinada área acústica, se clasificará ésta con arreglo al uso predominante.
- La delimitación de la extensión geográfica de un área acústica estará definida gráficamente por los límites geográficos marcados en un plano de la zona a escala mínima 1/5.000, o por las coordenadas geográficas o UTM de todos los vértices y se realizará en un formato geocodificado de intercambio válido.
- Hasta tanto se establezca la zonificación acústica de un término municipal, las áreas acústicas vendrán delimitadas por el uso característico de la zona.
- Para el establecimiento y delimitación de un sector del territorio como de un tipo de área acústica determinada, se tendrán en cuenta los criterios y directrices que se describen a continuación.

Cuando en una zona coexistan o vayan a coexistir varios usos que sean urbanísticamente compatibles, se determinará el uso predominante con arreglo a los criterios siguientes:

- Porcentaje de la superficie del suelo ocupada o a utilizar en usos diferenciados con carácter excluyente.
- Cuando coexistan sobre el mismo suelo, bien por yuxtaposición en altura, bien por la ocupación en planta en superficies muy mezcladas, se evaluará el porcentaje de superficie construida destinada a cada uso.
- Si existe una duda razonable en cuanto a que no sea la superficie, sino el número de personas que lo utilizan, el que defina la utilización prioritaria podrá utilizarse este criterio en sustitución del criterio de superficie establecido en el punto segundo anterior.
- Si el criterio de asignación no está claro se tendrá en cuenta el principio de protección a los receptores más sensibles.
- En un área acústica determinada se podrán admitir usos que requieran mayor exigencia de protección acústica, cuando se garantice en los receptores el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica previstos para ellos, en el Real Decreto 1367/2007.
- La asignación de una zona a un tipo determinado de área acústica no podrá, en ningún caso, venir determinada por el establecimiento de la correspondencia entre los niveles de ruido que existan o se prevean en la zona y los aplicables al tipo de área acústica.

Para la delimitación de las áreas acústicas se seguirán las directrices generales siguientes:

- Los límites que delimiten las áreas acústicas deberán ser fácilmente identificables sobre el terreno tanto si constituyen objetos construidos artificialmente, calles, carreteras, vías ferroviarias, etc. como si se trata de líneas naturales tales como cauces de ríos, costas marinas o lacustre o límites de los términos municipales.
- El contenido del área delimitada deberá ser homogéneo estableciéndose las adecuadas fracciones en la delimitación para impedir que el concepto “uso preferente” se aplique de forma que falsee la realidad a través del contenido global.
- Las áreas definidas no deben ser excesivamente pequeñas para tratar de evitar, en lo posible, la fragmentación excesiva del territorio con el consiguiente incremento del número de transiciones.



- Se estudiará la transición entre áreas acústicas colindantes cuando la diferencia entre los objetivos de calidad aplicables a cada una de ellas superen los 5 dBA.

En la Tabla 2.9 se muestran los criterios para asociar los principales usos a las correspondientes áreas acústicas.

**Tabla 2. 9. Criterios para determinar los usos asociados a áreas acústicas**

<p><b>Áreas acústicas de tipo a).- Sectores del territorio de uso residencial:</b> Se incluirán tanto los sectores del territorio que se destinan de forma prioritaria a este tipo de uso, espacios edificados y zonas privadas ajardinadas, como los que son complemento de su habitabilidad tales como parques urbanos, jardines, zonas verdes destinadas a estancia, áreas para la practica de deportes individuales, etc. Las zonas verdes que se dispongan para obtener distancia entre las fuentes sonoras y las áreas residenciales propiamente dichas no se asignaran a esta categoría acústica, se considerarán como zonas de transición.</p>
<p><b>Áreas acústicas de tipo b).- Sectores de territorio de uso industrial:</b> Se incluirán todos los sectores del territorio destinados o susceptibles de ser utilizados para los usos relacionados con las actividades industrial y portuaria incluyendo: los procesos de producción, los parques de acopio de materiales, los almacenes y las actividades de tipo logístico, estén o no afectas a una explotación en concreto, los espacios auxiliares de la actividad industrial como subestaciones de transformación eléctrica etc.</p>
<p><b>Áreas acústicas de tipo c).- Sectores del territorio con predominio de uso recreativo y de espectáculos:</b> Se incluirán los espacios destinados a recintos feriales con atracciones temporales o permanentes, parques temáticos o de atracciones así como los lugares de reunión al aire libre, salas de concierto en auditorios abiertos, espectáculos y exhibiciones de todo tipo con especial mención de las actividades deportivas de competición con asistencia de público, etc.</p>
<p><b>Áreas acústicas de tipo d).- Actividades terciarias no incluidas en el epígrafe c):</b> Se incluirán los espacios destinados preferentemente a actividades comerciales y de oficinas, tanto publicas como privadas, espacios destinados a la hostelería, alojamiento, restauración y otros, parques tecnológicos con exclusión de las actividades masivamente productivas, incluyendo las áreas de estacionamiento de automóviles.</p>
<p><b>Áreas acústicas de tipo e).- Zonas del territorio destinadas a usos sanitario, docente y cultural que requieran especial protección contra la contaminación acústica:</b> Se incluirán las zonas del territorio destinadas a usos sanitario, docente y cultural que requieran, en el exterior, una especial protección contra la contaminación acústica, tales como las zonas residenciales de reposo o geriatría, las grandes zonas hospitalarias con pacientes ingresados, las zonas docentes tales como “campus” universitarios, zonas de estudio y bibliotecas, centros de investigación, museos al aire libre, zonas culturales etc.</p>
<p><b>Áreas acústicas de tipo f).- Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte y otros equipamientos públicos que los reclamen:</b> Se incluirán en este apartado las zonas del territorio de dominio público en el que se ubican los sistemas generales de las infraestructuras de transporte viario, ferroviario y aeroportuario.</p>
<p><b>Áreas acústicas de tipo g).- Espacios naturales que requieran protección especial:</b> Se incluirán los espacios naturales que requieran protección especial contra la contaminación acústica. En estos espacios naturales deberá existir una condición que aconseje su protección, bien sea la existencia de zonas de cría de la fauna, o la existencia de especies cuyo hábitat se pretende proteger. Asimismo, se incluirán las zonas tranquilas en campo abierto que se pretendan mantener silenciosas por motivos turísticos o de preservación del medio.</p>

La zonificación acústica del territorio en áreas acústicas se incluirá en la planificación territorial y en los instrumentos de planeamiento urbanístico, tanto a nivel general como de desarrollo.

Al proceder a la zonificación acústica de un territorio en áreas acústicas, se deberá tener en cuenta la existencia en el mismo de zonas de servidumbre acústica y de reservas de sonido de origen natural.

La delimitación de las áreas acústicas queda sujeta a revisión periódica que deberá realizarse, al menos, cada diez años desde la fecha de su aprobación.

#### **2.4.2. Zonas de servidumbre acústica**

Las zonas de servidumbre acústica son un nuevo instrumento de gestión contemplado en la nueva legislación sobre ruido ambiental. Estas zonas comprenden sectores del territorio afectados por el funcionamiento o desarrollo de las infraestructuras de transporte viario, ferroviario, aéreo, y portuario, así como los sectores de territorio situados en el entorno de tales infraestructuras, existentes o proyectadas, que podrán quedar gravados por servidumbres acústicas.

Con la implantación de zonas de servidumbre acústica se trata de conseguir la compatibilidad del funcionamiento o desarrollo de las infraestructuras de transporte con los usos del suelo, actividades, instalaciones o edificaciones existentes o que puedan localizarse en la zona de afectación por ruido.

En los sectores del territorio gravados por servidumbres acústicas, las inmisiones podrán superar los objetivos de calidad acústica aplicables a las correspondientes áreas acústicas y se podrán establecer limitaciones para determinados usos del suelo, actividades, instalaciones o edificaciones, con la finalidad de, al menos, cumplir los valores límites de inmisión establecidos para aquéllos.

Es de destacar que el planeamiento territorial y urbanístico incluirá entre sus determinaciones las que resulten necesarias para conseguir la efectividad de las servidumbres acústicas en los ámbitos territoriales de ordenación afectados por ellas. En caso de que dicho planeamiento incluya la adopción de medidas correctoras eficaces que disminuyan los niveles sonoros en el entorno de la infraestructura, la zona de servidumbre acústica podrá ser modificada por el órgano que la delimitó. Cuando estas medidas correctoras pierdan eficacia o desaparezcan, la zona de servidumbre se restituirá a su estado inicial.

#### **2.5. Objetivos de calidad acústica**

Un aspecto importante, contemplado en la nueva legislación, es la definición del concepto de “calidad acústica” como el grado de adecuación de las características acústicas de un espacio a las actividades que se realizan en su ámbito.

Esta definición permite fijar objetivos de calidad acústica aplicables tanto a las áreas acústicas (espacio exterior), como al espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales, siendo los objetivos de calidad acústica diferentes en función de la sensibilidad del tipo de área acústica o espacio interior que dependerá, a su vez, de las actividades que en ellos se realicen.

Es de destacar que se tratan de forma diferenciada los objetivos de calidad acústica fijados en el supuesto de áreas acústicas y edificaciones localizadas en áreas urbanizadas existentes y los exigibles a los futuros desarrollos urbanísticos.

También, con el fin de mantener y preservar, en las zonas tranquilas de las aglomeraciones y en el campo abierto, una buena calidad acústica ante futuras actuaciones y desarrollos, se establece como objetivo de calidad acústica que los niveles sonoros se mantengan por debajo de los 60 dBA durante los periodos día y tarde y de los 50 dBA durante el periodo noche. Además, se tratará de preservar la mejor calidad acústica que sea compatible con el desarrollo sostenible.

### **2.5.1. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas acústicas**

En las áreas urbanizadas consideradas como existentes, se establece como objetivo de calidad acústica para ruido el que resulte de la aplicación de los criterios siguientes:

Si en el área acústica se supera el correspondiente valor de alguno de los índices de inmisión de ruido establecidos en la Tabla 2.10, su objetivo de calidad acústica será alcanzar dicho valor. En estas áreas acústicas se deberán adoptar las medidas necesarias para la mejora acústica progresiva del medio ambiente hasta alcanzar el objetivo de calidad fijado, mediante la aplicación de planes zonales específicos. En caso contrario, el objetivo de calidad acústica será la no superación de estos valores.

Para el resto de las áreas urbanizadas, es decir, las existentes no contempladas en el párrafo anterior y los nuevos desarrollos urbanísticos, su objetivo de calidad acústica para ruido será la no superación del valor que le sea de aplicación según la Tabla 2.10, disminuido en 5 dB.

En el caso de los espacios naturales delimitados, por requerir una especial protección contra la contaminación acústica, como área acústica tipo g), sus objetivos de calidad se establecerán para cada caso en particular, atendiendo a aquellas necesidades específicas de los mismos que justifiquen su calificación.

Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica establecidos para un área acústica determinada cuando, para cada uno de los índices de inmisión de ruido,  $L_d$ ,  $L_e$ , o  $L_n$ , los valores evaluados en la misma, cumplen, en el periodo de un año, los criterios siguientes:

- a) Ningún valor supera los correspondientes valores fijados en la Tabla 2.10.
- b) El 97 % de todos los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados dicha tabla.



**Tabla 2. 10. - Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes**

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L <sub>d</sub>	L <sub>e</sub>	L <sub>n</sub>
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1)	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

*(1) En estos sectores del territorio se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a), del artículo 18.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.  
Nota: Los objetivos de calidad aplicables a las áreas acústicas están referenciados a una altura de 4 m.*

**2.5.2. Objetivos de calidad acústica para ruido y vibraciones aplicables al espacio interior de las edificaciones**

En el espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales se establecen como objetivos de calidad acústica para el ruido y para las vibraciones la no superación de los correspondientes valores de los índices de inmisión de ruido y de vibraciones que figuran en la Tabla 2.11.

Cuando en el espacio interior de las edificaciones a que se refiere el apartado anterior, localizadas en áreas urbanizadas existentes, se superen los valores límite de la Tabla 2.11, se les aplicará como el objetivo de calidad acústica alcanzar esos valores.

Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica establecidos para estos espacios cuando se verifiquen, referenciados a los índices y valores de la Tabla 2.11, los criterios siguientes:

a) Ruido:

Para cada uno de los índices de inmisión de ruido,  $L_d$ ,  $L_e$ , o  $L_n$ , los valores evaluados cumplen, para el periodo de un año, que:

- Ningún valor supera los valores fijados en la tabla
- El 97 % de todos los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados en la tabla.

b) Vibraciones:

Los valores del índice de vibraciones  $L_{aw}$ , evaluados cumplen lo siguiente:

i) *Vibraciones estacionarias:*

Ningún valor del índice supera los valores fijados en la tabla.

ii) *Vibraciones transitorias:*

Los valores fijados en la tabla podrán superarse para un número de eventos determinado de conformidad con el procedimiento siguiente:

- Se consideran los dos periodos temporales de evaluación siguientes: periodo día, comprendido entre las 07:00-23:00 horas y periodo noche, comprendido entre las 23:00-07:00 horas.
- En el periodo nocturno no se permite ningún exceso.
- En ningún caso se permiten excesos mayores a 5 dB.
- El conjunto de superaciones no debe ser mayor de 9. A estos efectos cada evento cuyo exceso no supere los 3 dB será contabilizado como 1 y si los supera como 3.

**Tabla 2.11. Objetivos de calidad acústica para vibraciones y ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones**

Uso del edificio	Índice de vibración	Índices de ruido <sup>(1)</sup>			
	$L_{aw}$	Tipo de Recinto	$L_d$	$L_e$	$L_n$
Vivienda o uso residencial	75	Estancias	45	45	35
		Dormitorios	40	40	30
Hospitalario	72	Zonas de estancia	45	45	35
		Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	72	Aulas	40	40	40
		Salas de lectura	35	35	35

<sup>(1)</sup> Los valores de la tabla se refieren a los valores del índice de inmisión de ruido resultantes del conjunto de emisores acústicos que inciden en el interior del recinto (instalaciones del propio edificio, actividades que se desarrollan en el propio edificio o colindantes, ruido ambiental transmitido al interior).

Nota: Los objetivos de calidad (ruido) aplicables en el espacio interior están referenciados a una altura de entre 1,2 m y 1,5 m.

## **2.6. Prevención y mejora de la calidad acústica**

Si lo expuesto en los apartados anteriores va dirigido a proporcionar información y definir criterios para evaluar la situación sobre la contaminación acústica, en este apartado se enuncian las medidas e instrumentos disponibles para actuar eficazmente procurando el máximo cumplimiento de los objetivos de calidad acústica.

Los instrumentos y medidas de actuación se pueden clasificar, con carácter general, en dos grandes bloques: la acción preventiva y la acción correctora.

Dentro de la acción preventiva caben las actuaciones siguientes:

- Integración de la zonificación acústica en los procesos de planificación territorial y urbanística.
- Intervención administrativa.
- Planes de acción.

Dentro de la acción correctora se consideran:

- Planes zonales específicos.
- Planes de acción sectoriales.

Se describen a continuación estos tipos de acciones.

### **2.6.1. Integración de la zonificación acústica en los procesos de planificación territorial y urbanística**

Distintos instrumentos de prevención pueden ser utilizados para procurar el máximo cumplimiento de los objetivos de calidad acústica. Entre ellos, la integración de la zonificación acústica en los procesos de planificación territorial y urbanística se considera imprescindible para tratar de evitar la aparición de los problemas ambientales más comunes que tienen su origen en el ruido y las vibraciones, a los que debemos enfrentarnos en la actualidad.

Así, de acuerdo con lo establecido en la nueva legislación básica, la planificación territorial y el planeamiento urbanístico deben tener en cuenta, siempre, los objetivos de calidad acústica aplicables a cada área acústica en que se zonifica el territorio a la hora de acometer cualquier clasificación del suelo, aprobación de planeamiento o medidas semejantes.

Además, los instrumentos de planificación territorial y urbanística deben incluir la zonificación acústica y los objetivos de calidad acústica aplicables a las distintas áreas acústicas y al espacio interior habitable de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales.

Todas las figuras de planeamiento deben incluir, de forma explícita, la delimitación correspondiente a la zonificación acústica de la superficie de actuación. Cuando la delimitación en áreas acústicas esté incluida en el planeamiento general se utilizará esta delimitación.



Las sucesivas modificaciones, revisiones y adaptaciones del planeamiento general que contengan modificaciones en los usos del suelo conllevarán la necesidad de revisar la zonificación acústica en el correspondiente ámbito territorial. Igualmente será necesario realizar la oportuna delimitación de las áreas acústicas cuando, con motivo de la tramitación de planes urbanísticos de desarrollo, se establezcan los usos pormenorizados del suelo.

Es de destacar que la delimitación por tipo de área acústica de las distintas superficies del territorio, que estén afectadas por la zonificación acústica, deberá estar terminada, en las aglomeraciones de más de 250.000 en el año 2008 y en el resto de las aglomeraciones, antes del año 2013.

### **2.6.2. Intervención administrativa**

El objetivo principal de la intervención administrativa sobre los emisores acústicos es la prevención. Por ello, el procedimiento de intervención debe tratar de asegurar la adopción de las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica que puedan generar los distintos focos de emisión de forma que no se supere ningún valor límite de emisión que les sea de aplicación, ni que contribuyan a la superación de los objetivos de calidad acústica.

Es importante destacar que esta intervención no supone, en ningún caso, la introducción de una nueva figura de autorización administrativa, sino que la evaluación de la repercusión acústica se integra en los procedimientos ya existentes de intervención administrativa, tales como, el otorgamiento de la autorización ambiental integrada, las actuaciones relativas a la evaluación ambiental de planes y al impacto ambiental de proyectos o las actuaciones relativas a la licencia municipal y normativa autonómica aplicable en esta materia.

También es importante señalar que los avances que se puedan producir en las mejores técnicas disponibles, que supongan una reducción significativa los índices de emisión sin que su aplicación suponga imponer costes excesivos, pueden dar lugar a la revisión de los actos de intervención administrativa previamente acordados, sin que de ello se derive indemnizar a los afectados.

Se contempla, asimismo, el autocontrol de las emisiones por los propios titulares de emisores acústicos como una medida de prevención muy eficaz.

La intervención administrativa no solo se aplica a los emisores acústicos, sino también a las edificaciones, al estar estas comprendidas en el ámbito de aplicación de la nueva legislación sobre contaminación acústica. En este sentido, es de destacar que se puede llegar a no conceder la licencia de construcción de edificaciones destinadas a viviendas, usos hospitalarios, educativos o culturales si, en las áreas acústicas donde se ubican, los índices de inmisión incumplen los objetivos de calidad acústica que les sean de aplicación.

### **2.6.3. Planes de acción**

Existen unos instrumentos intermedios que pueden ser tanto preventivos como correctores. Son los planes de acción en materia de contaminación acústica. Estos planes de acción tienen por objeto afrontar globalmente las cuestiones relativas a contaminación acústica, fijar acciones prioritarias para el caso de

incumplirse los objetivos de calidad acústica y prevenir el aumento de contaminación acústica en zonas que la padezcan en escasa medida.

La nueva legislación sobre contaminación acústica establece que, una vez elaborados y aprobados los mapas estratégicos de ruido de las aglomeraciones y de las grandes infraestructuras de transporte, se elaborarán los correspondientes planes de acción dirigidos a solucionar en el territorio afectado las cuestiones relativas al ruido y sus efectos y, en su caso, a su reducción. En la Tabla 2.12 se enumeran los requisitos mínimos que normativamente deben considerarse en la elaboración de los planes de acción.

Es decir, se deben elaborar, por una parte, planes de acción sectoriales para cada una de las grandes infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias y, por otra, planes de acción para cada una de las aglomeraciones en las que se han elaborado mapas estratégicos de ruido. Se fija un plazo de un año tras la aprobación del mapa estratégico de ruido para la elaboración del correspondiente plan de acción.

**Tabla 2.12. Planes de Acción. Requisitos mínimos**

<b>PLANES DE ACCIÓN</b>
<p><b>Los planes de acción incluirán, como mínimo, los elementos siguientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descripción de la aglomeración, los principales ejes viarios, los principales ejes ferroviarios o los principales aeropuertos y otras fuentes de ruido consideradas.</li> <li>- Autoridad responsable.</li> <li>- Contexto jurídico.</li> <li>- Valores límite establecidos con arreglo al artículo 5.4 de la Directiva 2002/49/CE.</li> <li>- Resumen de los resultados de la labor de cartografiado del ruido.</li> <li>- Evaluación del número estimado de personas expuestas al ruido, determinación de los problemas y de las situaciones que deben mejorar.</li> <li>- Relación de las alegaciones u observaciones recibidas en el trámite de información pública de acuerdo con el artículo 22 de la Ley del Ruido.</li> <li>- Medidas que ya se aplican para reducir el ruido y proyectos en preparación.</li> <li>- Actuaciones previstas por las autoridades competentes para los próximos cinco años, incluidas medidas para proteger las zonas tranquilas.</li> <li>- Estrategia a largo plazo.</li> <li>- Información económica (si está disponible): presupuestos, evaluaciones coste-eficacia o costes-beneficios.</li> <li>- Disposiciones previstas para evaluar la aplicación y los resultados del plan de acción.</li> </ul> <p><b>Medidas que pueden prever las autoridades dentro de sus competencias son:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Regulación del tráfico</li> <li>- Ordenación del territorio</li> <li>- Aplicación de medidas técnicas en las fuentes emisoras</li> <li>- Selección de fuentes más silenciosas</li> <li>- Reducción de la transmisión de sonido</li> <li>- Medidas o incentivos reglamentarios o económicos</li> </ul> <p><b>Los planes de acción recogerán estimaciones sobre la reducción del número de personas afectadas que sufren :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Molestias</li> <li>- Alteraciones del sueño</li> </ul>

En todo caso, los planes de acción deben contener las medidas concretas para cada caso que se consideren más adecuadas para la gestión del ruido ambiental, determinando las acciones prioritarias que se deban realizar en caso de superación de los valores límite, o de aquellos otros criterios que se estimen adecuados. Estas medidas deberán aplicarse, en todo caso, a las zonas relevantes establecidas por los mapas estratégicos de ruido.

Los planes de acción que han sido elaborados para las grandes infraestructuras de transporte y las aglomeraciones se pueden consultar en la página WEB (<http://sicaweb.cedex.es>). Esta página se va actualizando regularmente con la nueva información que va estando disponible en cada momento.

#### **2.6.4. Planes zonales específicos**

Con el fin de limitar y reducir el grado de exposición de la población a la contaminación acústica, en aquellas zonas degradadas acústicamente en las que se superan los objetivos de calidad acústica, se contemplan un conjunto de actuaciones a adoptar progresivamente en fases sucesivas, contenidas en los denominados planes zonales específicos y planes de acción sectoriales referidos en el apartado anterior.

La necesidad de acción correctora se hace patente de forma prioritaria en las zonas degradadas acústicamente declaradas como “Zonas de protección acústica especial”. Éstas comprenden áreas acústicas en las que se incumplen los objetivos de calidad acústica aplicables, aun observándose por los emisores acústicos los valores límite de emisión. Es de destacar que una vez declaradas estas zonas, se deben elaborar planes zonales para la mejora acústica progresiva del medio ambiente, hasta alcanzar los objetivos de calidad acústica correspondientes.

Se prevé que, cuando la aplicación de las medidas contenidas en los planes zonales no logren mejorar la situación, se puede declarar la zona como “Zona de situación acústica especial”, y puede admitirse la inviabilidad de que se cumplan en ella los objetivos a corto plazo, pero previendo medidas correctoras encaminadas a mejorar los niveles de calidad acústica a largo plazo y a asegurar su cumplimiento, en todo caso, en el ambiente interior.

La delimitación de las zonas degradadas acústicamente y el conocimiento del estado de situación de las mismas es un paso necesario previo al desarrollo y aplicación de las actuaciones de corrección. Por ello, se necesita disponer de la información sobre la cartografía del ruido, plasmada en los correspondientes mapas de ruido, y de la zonificación acústica del territorio, con el fin de poder fijar los objetivos de calidad acústica.

Un análisis de la diversidad de actuaciones que se deberán abordar por las distintas administraciones con competencia en la aplicación de las medidas contenidas en los planes zonales señala la necesidad de extremar su colaboración, tanto en la elaboración de los mapas estratégicos de ruido, sobre todo cuando incidan emisores acústicos diversos en el mismo espacio, con el fin de que se garantice la homogeneidad y coherencia de los resultados, como en la elaboración de sus correspondientes planes de acción, para evitar duplicidades innecesarias en los supuestos de concurrencia competencial, por razones de eficacia y eficiencia en la actuación pública.



## 2.7. Límites de emisión de ruido y vibraciones aplicables a los emisores acústicos

Otro de los aspectos novedosos de la nueva legislación básica sobre contaminación acústica es el control de las emisiones de los diferentes emisores acústicos clasificados en los tipos siguientes:

- Vehículos automóviles.
- Ferrocarriles.
- Aeronaves.
- Infraestructuras viarias.
- Infraestructuras ferroviarias.
- Infraestructuras aeroportuarias.
- Maquinaria y equipos.
- Obras de construcción de edificios y de ingeniería civil.
- Actividades industriales.
- Actividades comerciales.
- Actividades deportivo-recreativas y de ocio.
- Infraestructuras portuarias

Se fijan valores límite de inmisión de ruido aplicables a las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias, aeroportuarias y portuarias. También, a las nuevas instalaciones, establecimientos y actividades de naturaleza industrial, comercial, de servicios o de almacenamiento. Estos valores límite se podrán reducir si se producen cambios importantes en las mejores técnicas disponibles y ello no supone asumir costes excesivos.

Se trata de ponderar, de forma equilibrada, el tratamiento de las infraestructuras y actividades preexistentes y nuevas pues, aun cuando las obligaciones establecidas en las declaraciones de impacto ambiental de aquéllas han supuesto un nivel de protección acústica adecuado, el progreso del conocimiento científico y del desarrollo tecnológico hace posible y razonable alcanzar un nivel más ambicioso de protección contra el ruido a la hora de proyectar y acometer la construcción de nuevas infraestructuras y actividades.

En este punto es de destacar que tendrán la consideración de nuevas infraestructuras, para aquéllas que sean de competencia estatal:

- a) La construcción de un nuevo trazado en el caso de las carreteras o ferrocarriles que requiera declaración de impacto ambiental.
- b) Las obras de modificación de una infraestructura preexistente sujetas a declaración de impacto ambiental que supongan, al menos, la duplicación de la capacidad operativa de la infraestructura correspondiente, entendiéndose por tal:
  - en el caso de un aeropuerto, cuando las obras de modificación del mismo permitan duplicar el número máximo de operaciones por hora de aeronaves;

- en el caso de una carretera, cuando las obras de modificación permitan la duplicación de la máxima intensidad de vehículos que pueden pasar por ese tramo de carretera. La intensidad se expresará en vehículos por hora;
- en el caso de un puerto, cuando se duplique la superficie del suelo destinada al tráfico portuario;
- en el caso de una infraestructura ferroviaria, cuando la obra de modificación permita duplicar la capacidad de adjudicación de la infraestructura preexistente.

Es de destacar, asimismo, que para cada tipo de emisor acústico, los valores límite son diferentes y su valor depende del tipo de área acústica de la zona sobre la que se produce la afección.

Se regula, también, el control de las emisiones del resto de los emisores acústicos incluidos los vehículos a motor y los ciclomotores. Por lo que se refiere a estos últimos, teniendo en cuenta las dificultades existentes, en algunos casos, para comprobar sus emisiones acústicas cuando se encuentran en circulación, se ha contemplado una disposición transitoria que permite la determinación del nivel de emisión sonora con el vehículo parado. La transitoriedad de la disposición se extinguirá con la natural renovación del parque de vehículos.

Por lo que se refiere a las vibraciones, es de destacar que no se establecen valores límite de inmisión máximos específicos aplicables a las infraestructuras de transporte ni a las actividades. No obstante lo anterior, sí deberán adoptarse las medidas necesarias para no transmitir, al espacio interior de las edificaciones, vibraciones que contribuyan a superar los objetivos de calidad acústica que les sean de aplicación.

Se regulan también los métodos de evaluación de la contaminación acústica, así como el régimen de uso de los equipos de medida y los procedimientos que se empleen en la evaluación, tanto del ruido, como de las vibraciones.

### **2.7.1. Infraestructuras del transporte**

Las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias o aeroportuarias deberán adoptar las medidas necesarias para que no transmitan al medio ambiente exterior de las correspondientes áreas acústicas niveles de ruido mayores a los valores límite de inmisión establecidos en la Tabla 2.13. Hay que tener en cuenta que el  $L_{Amax}$  se aplica únicamente a las nuevas infraestructuras ferroviarias o aeroportuarias.

Cabe destacar que los valores límite de inmisión se aplicaran únicamente fuera de las zonas de servidumbre acústica.

Además, las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias o aeroportuarias deberán adoptar las medidas necesarias para evitar que por efectos aditivos, derivados directa o indirectamente de su funcionamiento, se superen los objetivos de calidad acústica para ruido.

**Tabla 2.13. Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias**

Tipo de área acústica		Índices de ruido			
		$L_d$	$L_e$	$L_n$	$L_{Amax(1)}$
<b>e</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	55	55	45	80
<b>a</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	60	60	50	80
<b>d</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	65	65	55	85
<b>c</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	68	68	58	88
<b>b</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	70	70	60	90

(1) *Aplicable únicamente a ferrocarriles y aeropuertos.*

Se considerará que las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias, aeroportuarias y portuarias respetan los valores límite de inmisión de ruido exigidos, cuando los valores de los índices acústicos evaluados mediante mediciones o por la aplicación de otros procedimientos de evaluación apropiados, cumplan, para el periodo de un año, que:

- Ningún valor promedio del año supera los valores de la Tabla 2.13.
- Ningún valor diario supera en 3 dB los valores de la citada tabla.
- El 97 % de todos los valores diarios no superan los valores de la tabla.

## 2.7.2. Actividades

Las nuevas instalaciones, establecimientos o actividades portuarias, industriales, comerciales, de almacenamiento, deportivo-recreativas o de ocio deberán adoptar las medidas necesarias para que no se transmitan al medio ambiente exterior de las correspondientes áreas acústicas niveles de ruido mayores a los establecidos como valores límite en la Tabla 2.14.

**Tabla 2.14. Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas actividades**

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		$L_{K,d}$	$L_{K,e}$	$L_{K,n}$
<b>e</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	50	50	40
<b>a</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	55	55	45
<b>d</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	60	60	50
<b>c</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	63	63	53
<b>b</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	65	65	55



De igual manera, cuando por efectos aditivos derivados directa o indirectamente del funcionamiento o ejercicio de una instalación, establecimiento o actividad de las relacionadas en el apartado anterior se superen los objetivos de calidad acústica para ruido, se deberán adoptar las medidas necesarias para que tal superación no se produzca.

Además, ninguna nueva instalación, establecimiento, actividad industrial, comercial, de almacenamiento, deportivo-recreativa o de ocio podrá transmitir a los locales colindantes, en función del uso de éstos, niveles de ruido mayores a los establecidos en la Tabla 2.15. Se considerará que dos locales son colindantes, cuando en ningún momento se produce la transmisión de ruido entre el emisor y el receptor a través del medio ambiente exterior.

Estos niveles de ruido se aplicarán, asimismo, a otros establecimientos abiertos al público no mencionados anteriormente, atendiendo a razones de analogía funcional o de equivalente necesidad de protección acústica.

Se considerará que las nuevas actividades respetan los valores límite de inmisión de ruido exigidos, cuando los valores de los índices acústicos evaluados mediante mediciones o por la aplicación de otros procedimientos de evaluación apropiados, cumplan, para el periodo de un año, que:

- a) Ningún valor promedio del año supera los valores fijados en las Tablas 2.14 y 2.15.
- b) Ningún valor diario supera en 3 dB los valores fijados en las citadas tablas.
- c) Ningún valor medido del índice  $L_{K_{eq},T_i}$  supera en 5 dB los valores de las citadas tablas.

**Tabla 2.15.- Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades.**

Uso del local colindante	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		$L_{K,d}$	$L_{K,e}$	$L_{K,n}$
<b>Residencial</b>	Zonas de estancias	40	40	30
	Dormitorios	35	35	25
<b>Administrativo y de oficinas</b>	Despachos profesionales	35	35	35
	Oficinas	40	40	40
<b>Sanitario</b>	Zonas de estancia	40	40	30
	Dormitorios	35	35	25
<b>Educativo o cultural</b>	Aulas	35	35	35
	Salas de lectura	30	30	30

En los procedimientos de inspección de actividades se considerará que una actividad en funcionamiento cumple los valores límite de inmisión de ruido establecidos, cuando los valores de los índices acústicos evaluados cumplan lo especificado en los apartados b) y c), del párrafo anterior.

### **2.8. Concordancia entre objetivos de calidad acústica y aislamiento acústico en la edificación**

Con el fin de compatibilizar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica para el ruido en el ambiente exterior, con los objetivos de calidad acústica de ruido y de vibraciones exigidos en el

espacio interior habitable de las edificaciones, se ha establecido una concordancia entre la calidad acústica en el exterior de edificaciones y las exigencias de aislamiento acústico de fachadas e instalaciones de las edificaciones, de tal forma que el nivel de aislamiento de la fachada dependerá de los niveles de ruido en el ambiente exterior de la zona donde se localiza la edificación.

En la Tabla 2.16 se muestran los valores de aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{2m,nT,Atr}$  en dBA, entre un recinto protegido de una edificación y el exterior, en función del índice de ruido día,  $L_d$ , del lugar donde se localiza el edificio, de acuerdo con las previsiones del Real Decreto 1371/2007, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación [14].

Es de destacar que, con las previsiones de la nueva normativa, una edificación es conforme con las exigencias acústicas derivadas de la aplicación de objetivos de calidad acústica al espacio interior de las edificaciones, cuando al aplicar el sistema de verificación acústica de edificaciones, se cumplan las exigencias acústicas básicas impuestas por el CTE.

Por último, es de resaltar que el «DB-HR Protección frente al ruido» es de aplicación obligatoria a partir del 24 de abril de 2009 y supone la entrada en vigor plena del Código Técnico de la Edificación.

**Tabla 2. 16. Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{2m,nT,Atr}$ , en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día,  $L_d$**

Índice de ruido $L_d$	Uso del edificio			
	Residencial y sanitario		Cultural, docente, administrativo y religioso	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

- El valor de  $L_d$ , puede obtenerse en las administraciones competentes o mediante consulta de los mapas estratégicos de ruido
- Cuando se prevea que algunas *fachadas*, tales como *fachadas* de patios de manzana cerrados o patios interiores, así como *fachadas* exteriores en zonas o entornos tranquilos, no van a estar expuestas directamente al ruido de automóviles, aeronaves, de actividades industriales, comerciales o deportivas, se considerará un índice de ruido día,  $L_d$ , 10 dBA menor que el índice de ruido día de la zona
- Cuando en la zona donde se ubique el edificio el *ruido exterior dominante* sea el de aeronaves según se establezca en los mapas de ruido correspondientes, el valor de *aislamiento acústico a ruido aéreo*,  $D_{2m,nT,Atr}$  obtenido en la Tabla 2.16 se incrementará en 4 dBA.

## **2.9. La información y participación pública en los procesos de evaluación y gestión de la contaminación acústica**

Otro aspecto importante, recogido en la nueva legislación sobre protección contra la contaminación acústica, es el referente al contenido de la información sobre los mapas estratégicos de ruido y los planes de acción, y el calendario en que esta información se debe poner a disposición del público.

En este sentido, se prevé que se ponga a disposición del público la información que permita identificar a las autoridades responsables de la elaboración y aprobación de los mapas estratégicos de ruido y planes de acción para aglomeraciones urbanas, grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos, así como los resultados de los mapas estratégicos y planes de acción elaborados.

Por otra parte, las Administraciones Públicas competentes deben velar porque los mapas estratégicos de ruido y los planes de acción que hayan elaborado y aprobado se pongan a disposición y se divulguen entre la población utilizando las tecnologías de la información disponibles que resulten más adecuadas, de acuerdo con la legislación vigente sobre derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente y de conformidad con los contenidos que se recogen en las normas sobre ruido ambiental.

Con el objeto de asegurar el cumplimiento de las obligaciones de información al público y a la Comisión Europea asumidas por España, derivadas de la aplicación del Directiva 2002/49/CE, así como para lograr una adecuada recopilación de la información sobre mapas estratégicos de ruido y planes de acción, se ha creado un Sistema Básico de Información de la Contaminación Acústica (SICA) dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Al SICA se puede acceder a través de la página [www.mma.es](http://www.mma.es) y en ella se facilita, de forma clara y fácilmente accesible, información actualizada sobre el ruido ambiental en general y sobre los mapas estratégicos de ruido y planes de acción en particular de las aglomeraciones urbanas, los grandes ejes viarios y ferroviarios y de los grandes aeropuertos.

Además, con el fin de perfeccionar el procedimiento de información al público, la Ley del Ruido prevé el trámite de información pública, por un período mínimo de un mes, previo a la aprobación de los mapas de ruido correspondientes a:

- Cada uno de los grandes ejes viarios, de los grandes ejes ferroviarios, de los grandes aeropuertos y de las aglomeraciones, entendiéndose por tales los municipios con una población mayor que 100.000 habitantes y con una densidad de población superior a la que se determina reglamentariamente.
- Las áreas acústicas en las que se compruebe el incumplimiento de los correspondientes objetivos de calidad acústica.

El trámite de información pública deberá realizarse, también, antes de la aprobación de los planes de acción en materia de contaminación acústica correspondiente a los ámbitos territoriales de los mapas de ruido, así como cuando se revisen o modifiquen debido a un cambio importante de



la situación existente del ruido y, en todo caso, cada cinco años a partir de la fecha de su aprobación.

Asimismo, se realizará, en todo caso, el trámite de información pública en la delimitación de las zonas de servidumbre acústica en el entorno de las infraestructuras nuevas de competencia estatal.

En lo referente a la información a la población sobre mapas estratégicos de ruido y sobre la elaboración de los planes de acción, se debe proporcionar información adicional y más detallada, por ejemplo:

- una representación gráfica,
- mapas que indiquen la superación de un valor límite,
- mapas de diferencias que comparen la situación vigente con posibles situaciones futuras,
- mapas que presenten el valor de un indicador de ruido a una altura de evaluación distinta de 4 m, en caso necesario.

### **2.9.1. Estructura y funciones del SICA**

El objeto del SICA es el cumplimiento de las obligaciones de suministro de información sobre contaminación acústica, con especial referencia a la Comisión Europea y a organismos internacionales, así como la gestión adecuada de la información que conviene a la elaboración de los mapas estratégicos de ruido y los planes de acción.

El SICA está constituido por el Centro de recepción, análisis y procesado de datos al que corresponden las funciones siguientes:

- Notificar a las autoridades competentes, con la periodicidad que se establece en el Real Decreto 1513/2005, el envío de comunicaciones.
- Establecer formatos homogéneos y organizar la información para comunicación a la Comisión Europea, de conformidad con los criterios establecidos por ésta.
- Recopilar la información referente a las autoridades competentes en la elaboración de mapas estratégicos de ruido y planes de acción.
- Recopilar la información referente a mapas estratégicos de ruido y planes de acción.
- Elaboración y gestión de un sistema telemático de información al público sobre la contaminación acústica.
- Elaboración y publicación de estudios sobre contaminación acústica, y de guías de buenas prácticas para la evaluación y gestión de la contaminación acústica.

Con el fin de llevar a cabo estas funciones, se ha desarrollado la estructura de funcionamiento del SICA de acuerdo con el esquema de la Figura 2.3.

Se observa que, dada la complejidad del proceso de generación de la información por la diversidad de agentes implicados, es prioritario establecer una colaboración estrecha entre las administraciones públicas que intervienen en el proceso, para que la información generada tenga un tratamiento



Figura 2.3. Estructura del sistema de información sobre contaminación acústica. (SICA)

homogéneo, con el fin de facilitar la comprensión de los resultados y el cumplimiento correcto y ágil de la obligación de notificación a la Comisión Europea y de información al público.

### 2.9.2. Requerimientos de información. Plazos

Los requerimientos de información sobre la contaminación acústica y los plazos de presentación vienen establecidos por la Ley 37/2003, del Ruido en donde se indica que, al objeto de que la Administración General del Estado cumpla las obligaciones de información a la Comisión Europea impuestas al Reino de España por la Directiva 2002/49/CE, las administraciones públicas competentes deben comunicar al Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino:

- Antes del 30 de junio de 2010 y cada cinco años desde dicha fecha, la relación de los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, los grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60.000 trenes al año, los grandes aeropuertos, y las aglomeraciones de más de 250.000 habitantes, y su delimitación territorial, presentes en su territorio.
- Antes del 31 de octubre de 2008, la relación de todos los grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios, así como todas las aglomeraciones, y su delimitación territorial, existentes en su territorio.
- Antes del 30 de septiembre de 2007-2012, la información resultante de los mapas estratégicos de ruido y
- Antes del 18 de octubre de 2008-2013, los resúmenes de los planes de acción.

El esquema de la Figura 2.4 muestra los requerimientos de información, actuaciones, fases y plazos referentes a los mapas estratégicos de ruido y a los correspondientes planes de acción.

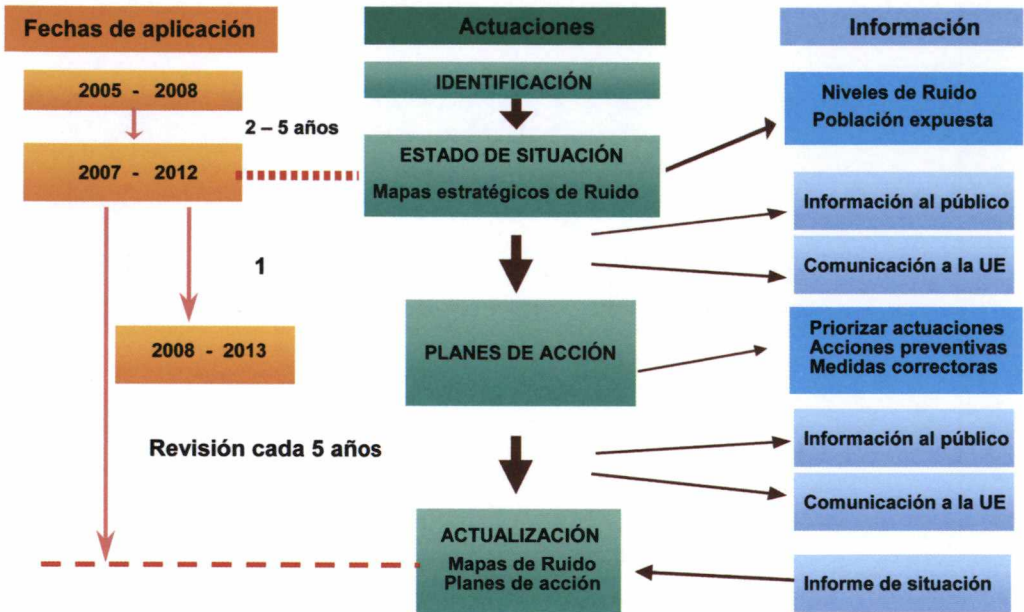


Figura 2.4. Esquema de fases y plazos de los MER y Planes de Acción

### 2.9.3. Información que debe comunicarse

Otro aspecto importante a considerar en todo este proceso es el de la información que debe comunicarse. En este sentido, en el anexo VI del Real Decreto 1513/2005, sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental, se indica la información que sobre mapas estratégicos de ruido y planes de acción debe comunicarse al Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Atendiendo a que se trate de aglomeraciones o de grandes infraestructuras de transporte, la información es la siguiente:

#### Aglomeraciones:

- Breve descripción de la aglomeración: ubicación, dimensiones, número de habitantes.
- Autoridad responsable.
- Programas de lucha contra el ruido ejecutados en el pasado y medidas vigentes.
- Métodos de medición o cálculo empleados.
- Número estimado de personas, expresado en centenas, cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{den}$  en dB, a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta:

55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75



Debe distinguirse entre el tráfico rodado, el tráfico ferroviario, el tráfico aéreo y las fuentes industriales. Las cifras se redondearán a la centena más próxima.

Además debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas, dentro de cada una de las mencionadas categorías, cuya vivienda dispone de:

- Aislamiento especial contra el ruido correspondiente, es decir, aislamiento especial de un edificio contra uno o varios tipos de ruido ambiental, junto con instalaciones de ventilación o aire acondicionado que permiten mantener un alto grado de aislamiento contra el ruido ambiental.
  - Una fachada tranquila, es decir, la fachada de una vivienda donde el valor de  $L_{den}$  a una altura de cuatro metros sobre el nivel del suelo y a una distancia de dos metros de la fachada, para el ruido emitido por una fuente específica, es menor en más de 20 dB al de la fachada con el valor más alto de  $L_{den}$ .
  - Se explicará también la contribución a esos resultados de los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos.
- El número total estimado de personas, expresado en centenas, cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_n$  en dBA, a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta:

50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70

Debe distinguirse entre el tráfico rodado, el tráfico ferroviario, el tráfico aéreo y las fuentes industriales. Estos datos podrán evaluarse asimismo para el rango 45-49 antes del 18 de julio de 2009.

Además, debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas, dentro de cada una de las mencionadas categorías, cuya vivienda dispone de:

- Aislamiento especial contra el ruido correspondiente.
  - Una fachada tranquila.
  - Se explicará también la contribución a esos resultados de los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos.
- En caso de presentación gráfica, los mapas estratégicos de ruido deberán presentar, como mínimo, las curvas de nivel de:

60, 65, 70 y 75 dB

- Un resumen del plan de acción, de una extensión máxima de 10 páginas.

**Grandes ejes viarios, ferroviarios y aeropuertos:**

- Descripción general del eje viario, del eje ferroviario o del aeropuerto: ubicación, dimensiones y datos sobre el tráfico.
- Caracterización del entorno: aglomeraciones, pueblos, campo, etc., información sobre la utilización del suelo y sobre otras fuentes importantes de ruido.

- Programas de lucha contra el ruido ejecutados en el pasado y medidas vigentes contra el ruido.
- Métodos de medición o cálculo empleados.
- El número total estimado de personas, expresado en centenas, fuera de las aglomeraciones cuya vivienda está expuesta a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{den}$  en dB, a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo y en la fachada más expuesta:

55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75.

Además, debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas, dentro de cada una de las mencionadas categorías, cuya vivienda dispone de:

- Aislamiento especial contra el ruido correspondiente.
- Una fachada tranquila.

- El número total estimado de personas, expresado en centenas, fuera de las aglomeraciones cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_n$  en dBA, a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo y en la fachada más expuesta:

50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70.

Estos datos podrán evaluarse asimismo para el rango 45-49, antes del 18 de julio de 2009.

Además, debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas dentro de esas categorías cuya vivienda dispone de:

- Aislamiento especial contra el ruido correspondiente.
- Una fachada tranquila.
- La superficie total, en  $\text{km}^2$ , expuesta a valores de  $L_{den}$  mayores a 55, 65 y 75 dB, respectivamente.

Se indicará, además, el número total estimado de viviendas, en centenas, y el número total estimado de personas, en centenas, que viven en cada una de esas zonas. En esas cifras se incluirán las aglomeraciones.

Las curvas de nivel correspondientes a 55 dB y a 65 dB figurarán también en uno o varios mapas que incluirán información sobre la ubicación de las ciudades, pueblos y aglomeraciones situadas dentro de esas curvas.

- Un resumen del plan de acción, de una extensión máxima de 10 páginas.

#### 2.9.4. Estructura de la información

En la elaboración de los mapas estratégicos de ruido se utilizará cartografía digital compatible con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Todos los planos, mapas, datos y resultados de población expuesta deberán estar convenientemente georreferenciados, y presentar un formato válido para su tratamiento en el sistema básico de información sobre contaminación acústica.

Con el fin de poder hacer efectiva esta disposición y poder organizar la recopilación de los mapas estratégicos de ruido en el proceso de desarrollo del sistema, se han definido una serie de formatos para la entrega de la información que tienen en cuenta, por una parte, las especificaciones elaboradas por la Comisión Europea para las comunicaciones entre los Estados miembro y la propia Comisión y, por otra, los requisitos mínimos necesarios para poder incorporar la información asociada a los mapas estratégicos de ruido al SICA de acuerdo con lo estipulado en la Disposición adicional única del R.D. 1513/2005.

En este sentido, de acuerdo con el desarrollo actual del SICA, la información referente a los mapas estratégicos de ruido consta de los cuatro grandes bloques de información siguientes:

- **Memoria resumen:** es un documento de texto que recoge la descripción de la aglomeración y los datos más relevantes sobre niveles de ruido y población expuesta.
- **Mapas:** visualizan los niveles de ruido evaluados y deben llevar adjuntos datos sobre población expuesta a distintos niveles de ruido.
- **Datos estadísticos:** exigidos por la Comisión Europea, recopilan los principales datos administrativos y de población expuesta al ruido de acuerdo con lo exigido a los mapas estratégicos de ruido.
- **Información en formato digital** compatible con el sistema de información geográfica que alimenta el SICA.

## 2.10. Bibliografía

[1] *Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, de 24 de enero de 2001, sobre el Sexto programa de acción de la Unión Europea en materia de medio ambiente «Medio ambiente 2010: el futuro está en nuestras manos»* [COM (2001) 31 final - no publicada en el Diario Oficial].

[http://europa.eu/legislation\\_summaries/agriculture/environment/128027\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/128027_es.htm)

[2] Directiva, *Directiva 70/157/CEE del Consejo, de 6 de febrero de 1970, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos a motor*. Diario Oficial de la Unión Europea nº L 042 de 23 de febrero 1970 .

[3] Directiva, *Directiva 92/14/CEE del Consejo de 2 de marzo de 1992, relativa a la limitación del uso de aviones objeto del anexo 16 del convenio relativo a la aviación civil internacional, volumen 1, segunda parte, capítulo 2, segunda edición (1988)*. Diario Oficial de la Unión Europea nº L 076 de 23 de marzo. 1992.

[4] Directiva, *Directiva 92/97/CEE del Consejo, de 10 de noviembre de 1992, por la que se modifica la Directiva 70/157/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos a motor*. Diario Oficial de la Unión Europea nº L 371 de 19 de diciembre 1992

[5] Directiva, *Directiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2000 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre emisiones sonoras en el entorno debidas a las máquinas de uso al aire libre*. Diario Oficial de la Unión Europea nº L 162 de 3 de julio. 2000.



- [6] Directiva, *Directiva 2002/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de marzo de 2002, sobre el establecimiento de normas y procedimientos para la introducción de restricciones operativas relacionadas con el ruido en los aeropuertos comunitarios*. Diario Oficial de la Unión Europea de 28 de marzo 2002.
- [7] Directiva, *Directiva 2006/93/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la regulación del uso de aviones objeto del anexo 16 del Convenio relativo a la aviación civil internacional, volumen 1, segunda parte, capítulo 3, segunda edición (1988)*. Diario Oficial de la Unión Europea, de 27 de diciembre. 2006
- [8] *Encuesta de hogares y medio ambiente 2008*. INE. Resultados provisionales: año 2008 22 de abril. 2009. <http://www.ine.es/>.
- [9] *Guidelines for community noise*. By Birgitta Berglund, Thomas Lindvall. World Health Organization. 1999. <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>
- [10] ISO/R 362:1961 *Acoustics. Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles. Engineering method*. 1961
- [11] ISO 2631-1:1997. *Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements*. 1997
- [12] ISO 2631-2:2003. *Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*. 2003
- [13] *Libro Verde de la Comisión, de 4 de noviembre de 1996, sobre la política futura de lucha contra el ruido* [COM (96) 540 final - no publicado en el Diario Oficial]. [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/noise\\_pollution/l21224\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/noise_pollution/l21224_es.htm)
- [14] *Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. BOE núm. 254, de 23 de octubre. 2007.
- [15] *Recomendación de la Comisión, de 6 de agosto de 2003, relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes*. Diario Oficial de la Unión Europea nº L 212/49, de 22 de agosto. 2003.
- [16] UNE-EN ISO 8041:2006 *Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida (ISO 8041:2005)*. RESOLUCIÓN de 6 de marzo de 2006, de la Dirección General de Desarrollo Industrial, por la que se publica la relación de normas UNE aprobadas por AENOR durante el mes de febrero de 2006. BOE 3 de abril. 2006.

## Capítulo 3

### Mapas estratégicos de ruido y planes de acción

*Fernando Segués Echazarreta*

#### 3.1. Los instrumentos de evaluación del ruido ambiental

##### 3.1.1. Los índices del ruido ambiental

Según la Directiva 2002/49/CE, ruido ambiental es el 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 emplazamientos de ciertas actividades industriales. Por lo tanto, debe entenderse como ruido ambiental, el existente en el exterior de las edificaciones.

El estudio del origen y propagación del sonido permite determinar las características principales de un ruido, entendido éste como *un sonido no deseado*. Sin embargo, el carácter de molestia intrínseco a la definición de ruido, añade un componente de carácter no acústico, que necesita de la contribución de la fisiología, la psicología, la sociología y otras disciplinas para ser correctamente interpretado. Desde un punto de vista medioambiental, el estudio y control del ruido tienen sentido en cuanto a su utilidad para alcanzar una determinada protección de la calidad del ambiente sonoro. Los sonidos son analizados para conocer los niveles de inmisión en determinadas áreas y situaciones, y conocer el grado de molestia sobre la población. Existen situaciones en las que estas molestias son evidentes, ya que la exposición al ruido puede provocar daños físicos evaluables. Sin embargo, en gran parte de los casos, el riesgo para la salud no es tan fácil de cuantificar, interviniendo factores psicológicos y sociales que suelen ser analizados desde un punto de vista estadístico.

El grado de molestia tiene un componente subjetivo que introduce una considerable complejidad en el intento de establecer los criterios de calidad del ambiente sonoro, lo que no está reñido con un análisis científico de los problemas, y existirán indicadores de ruido que estén mejor o peor correlacionados con el grado de molestia.

Para poder abordar el problema del ruido, es necesario, por lo tanto, el establecimiento de un indicador que “explique” adecuadamente este grado de molestia. Entre el gran número de parámetros e índices desarrollados en el campo de la acústica para el estudio de los sonidos es preciso seleccionar *un indicador de molestias* (a ser posible un índice numérico) que sirva de base para la evaluación del impacto y para el establecimiento de valores límite de inmisión que garanticen una determinada calidad del ambiente sonoro. Además, para ser operativo, este índice debe ser fácil de obtener y de interpretar. La adopción de índices descriptores del ruido que tengan en cuenta todos estos factores no es una cuestión fácil. Tras muchos años de investigación no se ha conseguido aún una unanimidad de criterios en cuanto a la validez de los indicadores utilizados hasta la actualidad, y la cuestión está sujeta a un continuo debate y revisión. Desde el punto de vista de la gestión del medio ambiente sonoro re-

presenta un grave inconveniente, ya que induce frecuentemente a grandes errores a la hora de evaluar la calidad del medio ambiente sonoro.

La selección del indicador y el procedimiento que se va a utilizar en la evaluación del ruido ambiental se convierte así en una cuestión decisiva. El indicador tiene por finalidad la evaluación de las molestias que el ruido produce en la población, y dado el carácter subjetivo de las mismas, surgen numerosas discusiones en cuanto a la validez de los indicadores como descriptores de las molestias. Por otro lado, el procedimiento y técnicas empleados condicionarán la representatividad espacial y temporal del impacto sobre la población.

El nivel de presión sonora equivalente  $L_{Aeq}(T)$  es un índice relativamente complejo que plantea algunos problemas de comprensión por parte del público general. No corresponde, tal y como se cree a menudo, a una simple media aritmética de los niveles sonoros instantáneos. El  $L_{Aeq}(T)$  realiza la suma de la energía acústica recibida durante el intervalo de tiempo. Es frecuente comprobar como se habla de niveles de ruido sin indicar si se trata de niveles máximos o equivalentes y sin especificar el período de tiempo a que está referido, lo que resulta no solamente incorrecto, sino que puede inducir a graves errores a la hora de comparar situaciones o sucesos sonoros diferentes.

Aunque el  $L_{Aeq}$  permite evaluar bien la molestia de la población en general, sin embargo no contempla adecuadamente las grandes variaciones existentes en las respuestas individuales. Estas molestias individuales están ligadas a factores sociales y culturales difíciles de evaluar. Se relacionan con fenómenos como la valoración individual del descanso, el rechazo a ciertos tipos de ruido, las expectativas de calidad de vida, etc. Estas circunstancias no invalidan la utilización del  $L_{Aeq}$  como indicador universal de ruido. El  $L_{Aeq}$  extendido a períodos largos de tiempo es el indicador más pertinente y el mejor correlacionado con las respuestas de la población al ruido originado por el tráfico rodado, que es la fuente principal de ruido en zonas pobladas. Sin embargo, en algunos casos es necesario completar la evaluación con otro tipo de índices sectoriales.

El indicador comúnmente utilizado en España ha sido el nivel sonoro continuo equivalente  $L_{Aeq}$  referido a un periodo diurno y a un periodo nocturno. La determinación de los periodos nocturnos varía según los municipios y el sector regulado. En cuanto a los límites máximos que se determinan para cada indicador, existe un denominador común en casi todos los casos, consistente en establecer distintos criterios en función de los usos del suelo. Se establecen límites más restrictivos para usos docentes y hospitalarios, que para uso residencial en general. Existen límites más altos para uso industrial que para uso residencial, y así sucesivamente.

En general en una sociedad urbanizada las actividades humanas están ligadas al espacio y al tiempo. Por lo que se refiere al espacio, las acciones de control del ruido se pueden realizar mediante el establecimiento de distintos límites admisibles del valor del  $L_{Aeq}$  según los usos del suelo (residencial, industrial, hospitalario, ocio, etc.). Sin embargo, por lo que se refiere a la distribución temporal del ruido, los estudios realizados han demostrado que las reacciones de la población son muy diferentes según el período del día. En general, el ruido es más tolerado durante el período de actividad diurna, menos en los períodos de descanso de tarde-noche, y mucho menos en el período nocturno.



Para poder tener en cuenta estas diferentes exigencias de calidad ambiental sonora en función de los diferentes periodos de actividad se pueden utilizar índices integrados sobre 24 horas. El indicador  $L_{den}$ , propuesto por la Unión Europea, es el nivel equivalente día-tarde-noche en decibelios A, y se calcula según la fórmula siguiente:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left( \frac{12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening+5}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night+10}}{10}}}{24} \right)$$

- $L_{day}$  ( $L_d$ ) = nivel sonoro medio a largo plazo ponderado a definitivo en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los periodos diurnos del año.
- $L_{evening}$  ( $L_e$ ) = nivel sonoro medio a largo plazo ponderado a definitivo en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los periodos de tarde del año.
- $L_{night}$  ( $L_n$ ) = nivel sonoro medio a largo plazo ponderado a definitivo en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los periodos nocturnos de un año.

En principio, el día dura 12 horas, la tarde 4 horas y la noche, 8 horas. Por defecto, los periodos establecidos son: 07:00h - 19:00h - 19:00h - 23:00h y 23:00h - 07:00h.

El objetivo básico que plantea la Directiva 2002/49/CE es la evaluación de la exposición al ruido ambiental de los ciudadanos de la Unión Europea mediante métodos comunes, lo que implica el uso de indicadores comunes de ruido ambiental. Entre las distintas posibilidades técnicas existentes para evaluar y presentar la información relativa al ruido ambiental, se han adoptado como instrumentos básicos de evaluación, los denominados mapas estratégicos de ruido que están referidos a dos índices acústicos específicos: el  $L_{den}$  y el  $L_n$  a 4 m de altura sobre el suelo obtenidos en unas condiciones muy específicas de evaluación. La utilización de estos índices, al igual que la de otros indicadores acústicos que se han venido utilizando a lo largo del tiempo para la evaluación del ruido ambiental, puede no resultar suficiente para contemplar en su totalidad el impacto de las diferentes actividades sobre la calidad del medio ambiente sonoro. Conviene por lo tanto tener presente que los índices seleccionados, y los propios mapas, son solamente instrumentos que proporcionan información para apoyar la toma de decisiones en la gestión del ruido ambiental, en especial, en la adopción de los planes de actuación contra el ruido.

### 3.1.2. Los métodos de evaluación: medida y cálculo de niveles sonoros

Las fuentes del ruido más significativas que contribuyen al ruido ambiental van ligadas a las actividades humanas, destacando las actividades relacionadas con el transporte (tráfico rodado, ferrocarriles, aeropuertos y aviación), la industria, las actividades recreativas y las relacionadas con el denominado ruido de vecindad. Para poder evaluar el ruido ambiental con precisión y posteriormente controlarlo, es necesario además de conocer los niveles sonoros en una determinada área (inmisión) conocer las características de las fuentes que los originan (emisión). Las fuentes de ruido más importantes que se pueden encontrar en zonas habitadas son las siguientes:

**Tráfico rodado:** Constituye la principal fuente de ruido en zonas urbanizadas. Engloba el ruido originado por la circulación de vehículos en carreteras y calles.

**Tráfico ferroviario:** La fuente principal del ruido ferroviario es la originada por la circulación de los trenes, pero también se deben contemplar las actividades relacionadas con las estaciones de viajeros, terminales de mercancías y el resto de las instalaciones que constituyen el sistema ferroviario.

**Aeropuertos y tráfico aéreo:** Afectan a las personas que trabajan o habitan en el entorno de los aeropuertos en un área bastante amplia; también a la tripulación, pasajeros, y personal de tierra de los aeropuertos. La principal fuente de ruido en los aeropuertos se produce en las maniobras de aterrizaje y despegue.

**Actividades industriales:** El ruido producido por las actividades industriales es muy variado, tanto en intensidad como en frecuencia y depende de múltiples factores. Cabe destacar el ruido originado en el entorno de las grandes áreas industriales, las áreas de construcción, tanto de infraestructuras como de edificación, las centrales de producción de energía, y las pequeñas actividades (talleres, almacenes, etc.) inmersas en el entramado urbano.

**Actividades recreativas y de ocio:** Este tipo de ruido se produce principalmente en áreas urbanas. Las fuentes principales se ubican próximas a los lugares de ocio tales como locales, bares y discotecas. El ruido ligado al ocio constituye uno de los principales problemas ambientales en muchas ciudades españolas.

**Vecindario:** Las múltiples actividades producidas a diario por los componentes de una comunidad de vecinos son fuentes de ruido a tener en consideración. En general, son relevantes para la consideración del ruido en el interior de las edificaciones, pero algunas actividades pueden tener repercusión en el ruido ambiental exterior.

La evaluación de los niveles de ruido ambiental originado por las diferentes fuentes sonoras puede llevarse a cabo a través de dos técnicas distintas, siendo posible además combinar ambas técnicas:

- **Medición:** Los métodos de medición consisten en la toma de medidas directas de los niveles sonoros mediante instrumentos acústicos, en general mediante sonómetros integrados.
- **Previsión o cálculo:** Los métodos de previsión o cálculo se basan en el conocimiento de las teorías de la emisión y propagación del sonido; éstas permiten calcular los niveles sonoros a través de la simulación de situaciones reales o predecibles mediante modelos matemáticos o físicos.

En la práctica habitual, dos características determinan la calidad de un método: I) su validez, lo que significa la precisión de los resultados obtenidos; II) su operatividad, en términos tanto de tiempo como de costes económicos.

Los métodos de medición son únicamente pertinentes cuando se aplican a situaciones existentes, mientras que los métodos de previsión pueden utilizarse tanto para las situaciones existentes como para las que se planifiquen para un futuro. Pueden combinarse los métodos de previsión y medición para proporcionar una mejor o simplemente más operativa evaluación.

Los métodos de previsión son más versátiles para determinar el nivel del sonido derivado de fuentes sonoras conocidas, como por ejemplo el tráfico. Sus menores costes y su mayor fiabilidad nos indican que deberían preferirse a la hora de proceder a la evaluación del ruido. Han demostrado ser de una gran utilidad y algunos de ellos se han aplicado en una amplia gama de situaciones afectadas por el ruido.

Sin embargo, cuando se aplica cualquier método de previsión, existen una serie de restricciones relacionadas con la capacidad del modelo de simular con precisión las características de la fuente sonora y de considerar todas las posibilidades de propagación del sonido. Por lo tanto, para conseguir una adecuada evaluación, deberá considerarse la validez de cada método de previsión, teniendo en cuenta los tipos de escenarios de simulación y umbrales de confianza de cada variable.

Los resultados de los métodos de medición sólo proporcionan información sobre una situación muy concreta que viene determinada por las condiciones específicas y el momento en que se toman las medidas. El tráfico, las actividades y en general todas las fuentes del ruido ambiental, así como las condiciones atmosféricas varían con el tiempo. Por lo tanto, sólo pueden compararse mediciones estrictamente simultáneas, a menos que se consideren las correcciones oportunas. Además, es necesario emplear mucho tiempo para medir una serie de puntos relativamente reducida, mientras que los métodos de cálculo determinan con rapidez los niveles sonoros en zonas extensas.

Los métodos de medición también se emplean para determinar la eficacia de las pantallas acústicas y para estudiar la precisión de los niveles previstos por el cálculo.

Como consecuencia de la reducción de la emisión del ruido de los vehículos que circulan en los países desarrollados debida a la implementación de políticas de control del ruido, los métodos de previsión de tráfico rodado, ferroviario y aéreo deben contrastarse y modificarse, de forma continuada, con el fin de adaptar los niveles teóricos de emisión a los reales. A pesar de los beneficios técnicos y a la tendencia general en favor del empleo de métodos de previsión, los métodos de medición difícilmente pueden sustituirse por los de cálculo, cuando se requiere una evaluación del ruido en situaciones complejas con múltiples fuentes de ruido o como aquéllas que implican procedimientos legales.

### **3.1.3. Los mapas de ruido**

El término general de mapas de ruido se suele utilizar para referirse a mapas horizontales de líneas isofónicas a cierta altura del suelo. El nivel al que se refieren las líneas isofónicas suele ser un nivel sonoro continuo equivalente. Sin embargo, la cartografía acústica presenta muchas más posibilidades: mapas verticales, mapas con información numérica en puntos receptores, mapas de análisis de contribución de las distintas fuentes, mapas con población expuesta, etc.





Figura 3.1. Mapa de ruido horizontal. Indicador  $L_{den}$  a 4 m de altura. Londres. (DEFRA, 2004)

Los mapas de ruido pueden ser además generales, contemplando todas las fuentes presentes en un área concreta, o específicos sobre una o varias fuentes determinadas. Los mapas urbanos serían del primer tipo, mientras que es frecuente realizar mapas específicos del entorno de las carreteras, de los ferrocarriles, de los aeropuertos, de canteras, zonas de ocio, zonas de obra y de determinadas industrias.

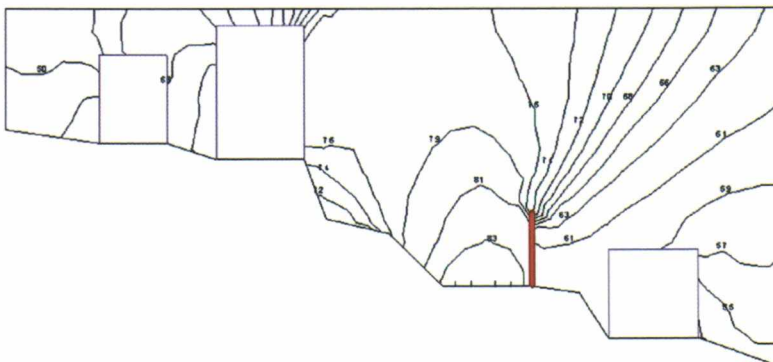
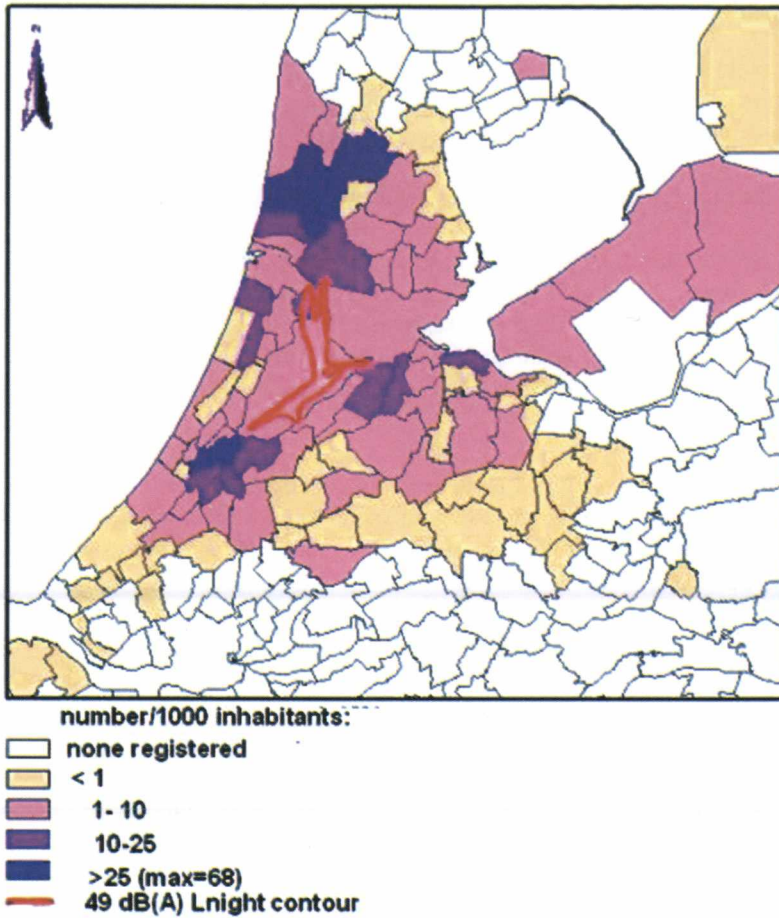


Figura 3.2. Mapa de ruido vertical. Estudio de una pantalla acústica en un carretera



**Night time (23.00 - 07.00 hrs) complaints per 1000 inhabitants per community in 2002**

*Figura 3.3. Mapa de ruido que muestra las quejas habidas en 2002 por el sobrevuelo de aeronaves en el entorno del aeropuerto de Schipol (Países Bajos)*

A la hora de abordar la elaboración de un mapa de ruido es necesario determinar en primer lugar las características del mapa que se desea obtener.

- General o específico para una fuente
- Ámbito del mapa y altura sobre el suelo en su caso
- Escala de trabajo y precisión de los datos
- Índices acústicos e información reflejados en el mapa

Una vez determinadas estas cuestiones se selecciona la técnica que se va a emplear:

- Medidas mediante sonómetros
- Métodos de previsión o cálculo
- Combinación de medidas y cálculos

En función de las características del mapa es posible utilizar una u otra técnica, o ambas.

Los mapas de carácter general, como es el caso de los mapas de aglomeraciones, son más difíciles de elaborar exclusivamente mediante modelos de previsión, ya que no siempre es posible determinar el comportamiento de las fuentes de ruido y disponer de métodos de cálculo fiables para todas las fuentes. El uso de modelos de previsión para los mapas de carreteras, ferrocarriles y aeropuertos presenta numerosas ventajas prácticas, y con las precauciones adecuadas se está consiguiendo una buena fiabilidad de los resultados.

Por otro lado, las técnicas de medida directa de niveles sonoros resultan muy caras en general y requieren periodos de tiempo excesivamente largos para realizar los mapas. Sin embargo, los resultados reflejan dentro de los límites de precisión y de tiempo de las medidas, valores reales del ruido en situaciones existentes.

La Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental ha definido unos mapas de ruido específicos, que constituyen la información más relevante sobre la calidad del ambiente sonoro en la U.E. Estos mapas, denominados mapas estratégicos de ruido (MER), reúnen las siguientes características principales:

- Tipos de mapas: carreteras, ferrocarriles, aeropuertos y aglomeraciones.
- Mapas horizontales a 4 m del suelo.
- Índices acústicos:  $L_{den}$  y  $L_{noche}$  determinados a lo largo de un año.
- Información sobre población expuesta
- Los mapas de aglomeraciones deben distinguir las fuentes de ruido: tráfico rodado, ferroviario, aeropuertos e industria.

Dentro del concepto de mapa estratégico de ruido, la Directiva 2002/49/CE exige incorporar la estimación de la población y de las viviendas expuestas a diferentes niveles de ruido. Por lo tanto, no se trata ya únicamente de realizar medidas o cálculos de niveles sonoros; en este sentido y cada vez con más fuerza, se considera que un mapa de ruido es un instrumento de planificación que debe ayudar a la toma de decisiones sobre las actuaciones de control y reducción de la contaminación acústica.

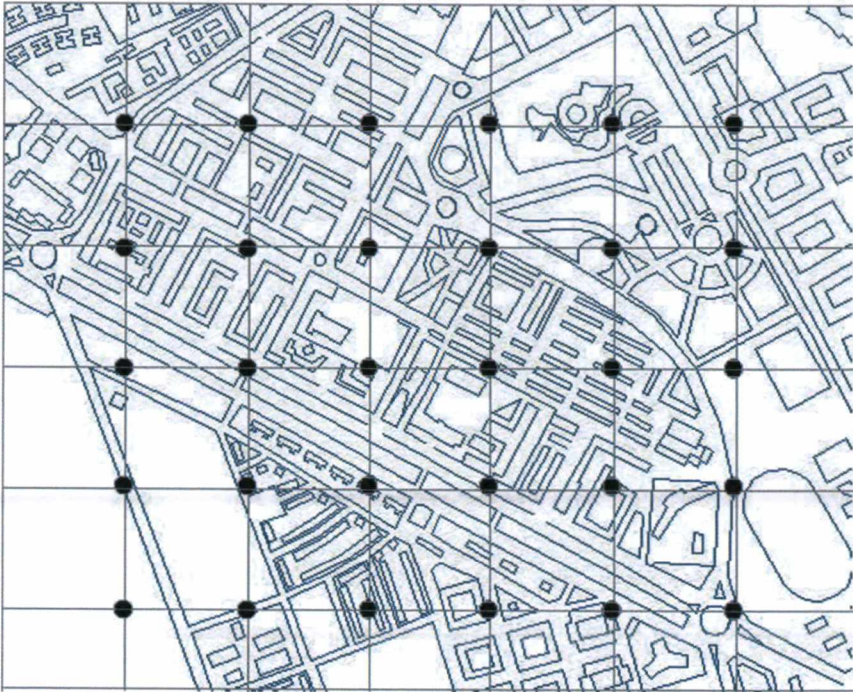
### **Mapas de ruido realizados con técnicas de medida**

#### **a) Muestreo al azar**

La selección de los puntos de medida se realiza mediante una malla o retícula que se superpone a la zona de estudio. Los puntos de medida corresponden bien al centro bien a los vértices de la cuadrícula.



El paso de malla o tamaño de la retícula varía según la escala de trabajo y la precisión exigida al mapa. Los recursos disponibles limitan frecuentemente este valor.



● Puntos de medida seleccionados

*Fig. 3.4. Uso de una retícula para la selección de puntos de medida*

Para optimizar los recursos puede cambiarse el tamaño de la retícula, reduciéndolo en zonas complejas urbanizadas y aumentándolo en zonas poco pobladas.

El inconveniente del muestreo al azar es que la representatividad de los resultados se basa únicamente en el factor espacial, y puede que no refleje correctamente las molestias del ruido a la población.

b) Selección dirigida de puntos de medida en función de los usos del suelo y las fuentes de ruido

Se analizan previamente el urbanismo y los usos del suelo y se establece una zonificación del área de estudio. Por otro lado, hay que analizar las principales fuentes de ruido: vías de circulación, industrias, zonas de ocio, etc. Del conjunto de las fuentes y las áreas de recepción se establecen categorías o zonas tipo.

Entre las zonas pertenecientes a cada categoría, se seleccionan una o varias que pasan a ser áreas representativas de su categoría. Las medidas se efectúan, para cada área representativa, seleccionando los puntos de medida necesarios para conocer con la mayor precisión posible los niveles de ruido.

Los resultados obtenidos para cada área representativa se extrapolan para todas las zonas de la categoría, pudiendo establecerse correcciones en casos específicos.

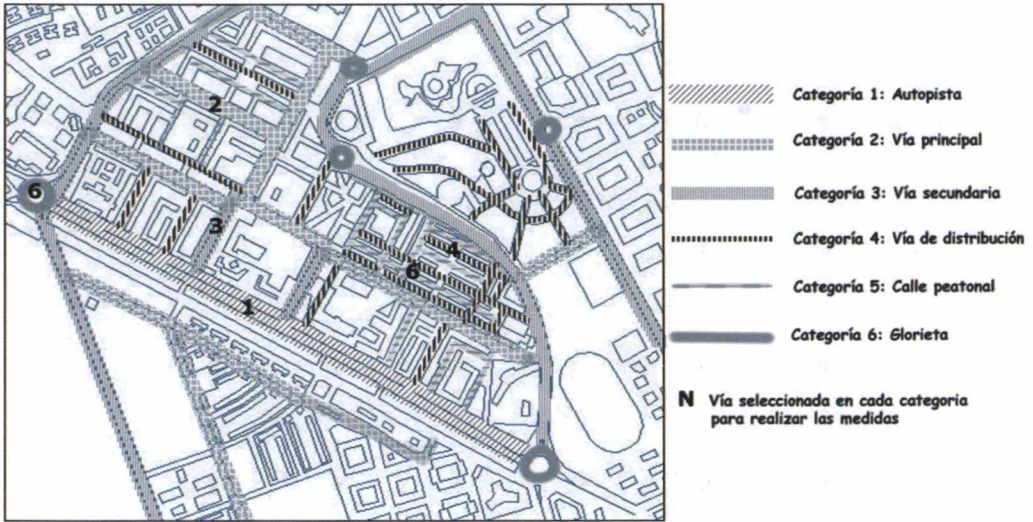


Fig. 3.5. Selección de puntos de medida guiada

c) Duración de las medidas

El tiempo de medida estricto debería ser el que marca el indicador que se desea obtener. En general en los estudios de ruido ambiental debería ser 24 horas y contemplar los periodos de día, tarde y noche. Para disminuir el tiempo de medida en cada punto pueden utilizarse técnicas de muestreo, aplicando tratamientos estadísticos sobre datos ya conocidos o bien analizando la evolución temporal de las fuentes de ruido principales. No es conveniente que existan reglas fijas, ya que en cada caso el tiempo de medida necesario depende del comportamiento de las fuentes de ruido.

**Mapas realizados mediante métodos de previsión**

Para los mapas específicos de carreteras, ferrocarriles y aeropuertos, existen modelos informáticos de alto nivel de eficacia probada, que permiten realizar mapas de ruido con relativa rapidez. La calidad del mapa dependerá también de la calidad y precisión de los datos de entrada suministrados al modelo, tarea no siempre fácil.

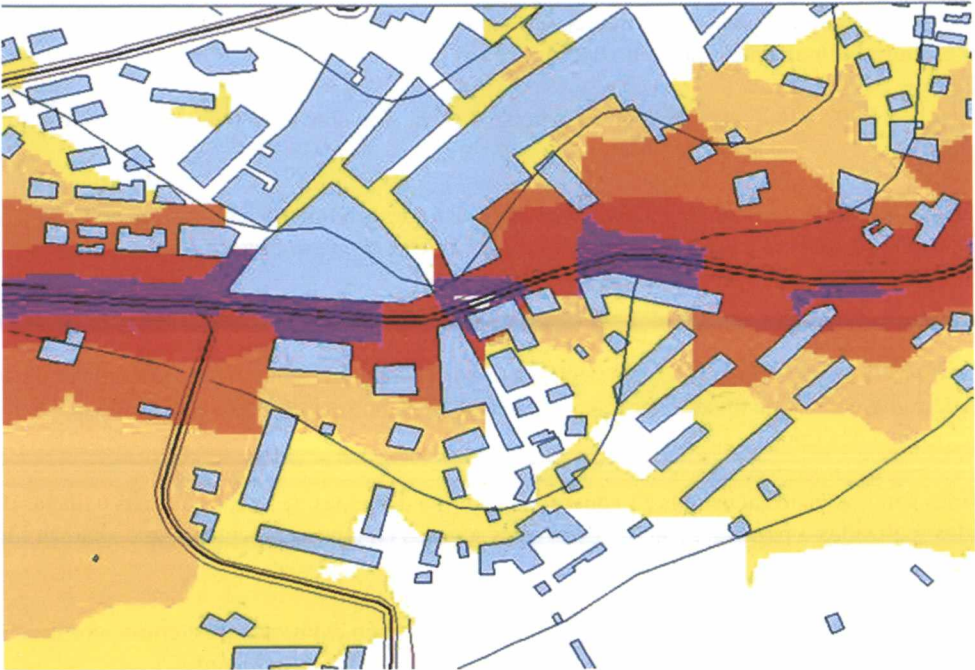
Para los mapas de ruido de carácter general como pueden ser los mapas de aglomeraciones exigidos por la Directiva Europea, es necesario integrar todas las fuentes de ruido existentes en la zona de estudio.

Cualquier modelo de previsión es capaz de considerar en mayor o menor medida la atenuación que se produce en la propagación del sonido, pero para ciertas fuentes de ruido no siempre existen métodos de cálculo fiables debido a la falta de caracterización acústica de la fuente: se desconoce la po-



tencia de emisión y su distribución espacial y temporal. Por otro lado, no siempre es posible identificar todas las fuentes que pueden existir en un entorno complejo como es el urbano.

Los modelos deben incorporar bases de datos cada vez más extensas conteniendo la caracterización acústica de equipos y actividades, y habilitar las fórmulas para el cálculo de los niveles sonoros que se originan en su entorno. Si el modelo no proporciona estos datos, puede ser necesario realizar medidas de ruido específicas para situaciones representativas de todas las fuentes de ruido no consideradas por los modelos, e introducir estos datos en el modelo, o bien corregir los resultados obtenidos.



*Fig. 3.6. Detalle de un mapa de ruido en un tramo de carretera<sup>1</sup>*

## 3.2. Los mapas estratégicos de ruido (MER)

### 3.2.1. Definición y contenido de los MER

La Comisión Europea publicó el “Libro Verde de la Política Futura de lucha contra el ruido” en 1996. Basándose en esta propuesta se crearon grupos de debate expertos en percepción del ruido ambiental, como apoyo a las decisiones de la Comisión Europea. Como resultado, se generó en Europa el desarrollo de nuevas regulaciones sobre el ruido, entre las que destaca la Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental para abordar el problema del ruido ambiental en toda la Unión Europea de forma coherente y armonizada, como documento legal obligatorio en todos los Estados Miembro.

<sup>1</sup> Fuente: Dirección General de Carreteras – CEDEX. Ministerio de Fomento



Su objetivo es por lo tanto, definir una aproximación común en el sentido de prevenir o evitar efectos perjudiciales para la salud debido a la exposición al ruido ambiente, mediante el planteamiento de tres aspectos fundamentales:

- Evaluación de la exposición de la población al ruido
- Información pública: niveles de ruido y su efecto en la salud
- Políticas de reducción de los niveles de exposición

El campo de aplicación de la directiva incluye el ruido originado por las actividades humanas desarrolladas en el ambiente exterior, y que el ser humano percibe fuera y dentro de los edificios. Se excluye el ruido vecinal, en el puesto de trabajo y en el interior de los medios de transporte.

La Directiva 2002/49/CE establece en su artículo 3 (r) la siguiente definición de "mapa estratégico de ruido":

*“mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona”*

De acuerdo a esta definición, una mapa estratégico de ruido es por lo tanto, un instrumento diseñado para evaluar la exposición al ruido, es decir, es diferente a lo que se ha venido denominando como mapa de ruido o mapa de niveles sonoros. Por lo tanto, los mapas estratégicos de ruido deberán proveer al menos dos tipos de información:

- Niveles sonoros: datos acústicos en general en la forma de mapas de líneas isófonas o mapas de fachadas realizados a partir del cálculo de niveles sonoros en puntos receptores que abarcan toda la zona de estudio.
- Exposición al ruido: datos de edificios, viviendas y población expuestos a determinados niveles de ruido, y otros datos exigidos por la Directiva 2002/49/CE y la Ley del Ruido.

En primer lugar será preciso evaluar los niveles de inmisión de ruido en una determinada zona mediante el cálculo de niveles sonoros en puntos receptores o el cálculo de líneas isofónicas, lo que es conocido habitualmente como mapas de niveles sonoros. A partir de aquí, y en función de los usos y edificaciones de la zona será preciso estimar las superficies, edificaciones y número de personas expuestas a diferentes niveles sonoros. El conjunto de ambas informaciones constituirá el "mapa estratégico de ruido", si bien la Directiva basa los requerimientos legales de los mapas casi exclusivamente en la información acerca de la exposición al ruido.

El objetivo de los mapas estratégicos de ruido es proporcionar datos sobre la exposición al ruido ambiental con vistas al futuro desarrollo de la política contra el ruido de la Unión Europea, para que sean conocidos por la población y los agentes implicados y para desarrollar planes de acción. El uso de los términos "estratégico" y "evaluación global" implica la asunción de un cierto grado de imprecisión en la elaboración de los mapas. Ello puede causar problemas a la hora de desarrollar planes de acción detallados. Para la primera fase de aplicación de la Directiva (año 2007) ha sido

necesario realizar estimaciones en cuanto a la asignación de niveles de ruido a edificios, asignación de población a edificios y en la determinación de los niveles de exposición de la población.

En los anexos IV y VI de la Directiva se detalla la información que debe generarse relacionada con los mapas de ruido y planes de acción. La Directiva 2002/49/CE establece definiciones y criterios para la elaboración de los mapas estratégicos que admiten diferentes interpretaciones. Por otro lado, algunos aspectos mencionados parecen ser a veces contradictorios dependiendo del artículo en que aparecen citados. Los grupos de trabajo creados para apoyar el desarrollo de la Directiva, y en especial el grupo de trabajo sobre Evaluación de la Exposición al Ruido WG-AEN, también han puesto de manifiesto esta situación.

Es previsible que en el futuro próximo, la Comisión Europea deba aclarar algunos aspectos relacionados con la elaboración y contenido de los MER, probablemente por medio de una Recomendación de la Comisión o una revisión de la Directiva 2002/49/CE, definiendo con mayor precisión algunos de los criterios y metodología que debe emplearse para la elaboración de los mapas estratégicos de ruido.

Los Mapas estratégicos de ruido que se deben elaborar son los de aglomeraciones, de grandes ejes viarios, de grandes ejes ferroviarios y de grandes aeropuertos.

Los datos que deben suministrarse a la Comisión Europea básicamente son:

### ***Sobre las aglomeraciones***

*Número estimado de personas (expresado en centenas) cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{den}$  en dB a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta: (55-59, 60-64, 65-69, 70-74,  $\geq 75$ ), distinguiendo entre el tráfico rodado, el tráfico ferroviario, el tráfico aéreo y las fuentes industriales, especificando además la contribución a esos resultados de los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos.*

*Número total estimado de personas (expresado en centenas) cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{night}$  en dB a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta: (50-54, 55-59, 60-64, 65-69,  $\geq 70$ ), distinguiendo entre el tráfico rodado, el ferroviario, el aéreo y las fuentes industriales, especificando además la contribución a esos resultados de los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos.*

*En caso de presentación gráfica, los mapas estratégicos deberán presentar, como mínimo, las curvas de nivel de 60, 65, 70 y 75 dB.*

### ***Sobre los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos***

*Número total estimado de personas (expresado en centenas) fuera de las aglomeraciones cuya vivienda está expuesta a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{den}$  en dB a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo y en la fachada más expuesta: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74,  $\geq 75$ .*

*Número total estimado de personas (expresado en centenas) fuera de las aglomeraciones cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{night}$  en dB a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo y en la fachada más expuesta: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69,  $\geq 70$ .*

*La superficie total (en  $km^2$ ) expuesta a valores de  $L_{den}$  superiores a 55, 65 y 75 dB, respectivamente. Se indicará, además, el número total estimado de viviendas (en centenas) y el número total estimado de personas (en centenas) que viven en cada una de esas zonas. En esas cifras se incluirán las aglomeraciones.*

*Las curvas de nivel correspondientes a 55 dB y a 65 dB*

En todos los casos, los datos deben ir acompañados de un resumen conteniendo información tanto de carácter administrativo como técnico y una exposición de las metodologías utilizadas para su obtención.

Si bien la información requerida por la Comisión Europea se limita a la recopilación de datos numéricos sobre la población expuesta, tanto para la obtención y presentación de estos datos, como para cumplir adecuadamente con los objetivos de información pública, resulta necesario realizar mapas que muestren de forma gráfica la información obtenida.

Los mapas que forman parte de un mapa estratégico pueden ser a su vez de diferentes tipos

- Mapas de niveles sonoros para el  $L_{den}$ ,  $L_{día}$ ,  $L_{tarde}$  y  $L_{noche}$ , consistentes en representaciones de líneas isófonas en rangos de 5 dB entre los valores de 50 y 75.
- Mapas de exposición para el  $L_{den}$ ,  $L_{día}$ ,  $L_{tarde}$  y  $L_{noche}$ , en los que se representen los niveles de ruido en fachada y el número de personas cuyas viviendas están expuestas a los rangos de valores anteriores.
- Mapas de zona de afección. En los que se identifique el área de una zona de estudio, sobre la que se produce la superación de un determinado valor límite.

Los valores de  $L_{den}$  y  $L_{noche}$  pueden determinarse, para una altura de 4 m sobre el nivel del suelo, bien mediante cálculos, bien mediante mediciones, proponiéndose métodos provisionales de cálculo y medición.

### **3.2.2. El desarrollo de los trabajos de elaboración de los MER**

#### **Selección de la metodología:**

En general para la obtención de los niveles de ruido se utilizarán métodos de cálculo; existen varios programas informáticos de previsión de niveles sonoros capaces de efectuar los cálculos requeridos; la Directiva posibilita el empleo de técnicas de medida, si bien, dada la amplitud de las áreas analizadas y las características de los escenarios de evaluación, la Comisión Europea recomienda claramente la utilización de los modelos informáticos. La elección del modelo informático debe realizarse con precaución y rigor, ya que condiciona fuertemente el desarrollo de todo el trabajo. Es preciso conocer sus prestaciones y su adecuación para el tipo de mapa que se va a elaborar (aglomeraciones,



carreteras, líneas de ferrocarril, aeropuertos) y al área de trabajo (amplitud de la zona de cálculo y escala de trabajo).

Los modelos más reconocidos ofrecen un alto grado de fiabilidad en los cálculos, e incorporan la mayoría de los métodos oficiales, pero la definición geométrica de los escenarios de cálculo es extremadamente compleja, ya que existen numerosos elementos difíciles de introducir en la simulación: desmontes y terraplenes, túneles, viaductos, cruces y enlaces, cambios de vía, playas de vías múltiples, edificaciones asentadas sobre pendientes, etc. De hecho, la mayor parte del esfuerzo que se debe desarrollar y el tiempo consumido se dedican a la construcción en el modelo informático de los escenarios de simulación, siendo el tiempo de cálculo relativamente pequeño con relación al tiempo dedicado a la obtención de los datos y la preparación de las simulaciones.

En el caso de utilizarse en la elaboración de los mapas niveles de ruido obtenidos en campañas de medida mediante sonómetros, debe ponerse especial cuidado a la hora de extrapolar los resultados, obtenidos en unas condiciones específicas de medida, a las condiciones definidas para los índices utilizados en los mapas estratégicos: condiciones favorables de propagación, 4 m de altura sobre el suelo, sonido incidente, índices de promedios anuales, etc.

#### **Determinación de la escala de trabajo y el área de estudio:**

La definición de la escala de trabajo a la que se van a realizar los cálculos es una decisión trascendental para el desarrollo de los trabajos. La precisión exigida a los datos de entrada y la precisión de los resultados obtenidos en la evaluación están condicionadas por la escala de trabajo. Si bien los programas informáticos permiten representar los mapas de ruido a cualquier escala, la definición de los elementos que configuran los escenarios de simulación es la que va a determinar la precisión de los niveles de ruido evaluados. No es lo mismo definir un eje viario como una línea que considerar una o dos plataformas adecuadamente insertadas en el terreno, ni considerar como un edificio a una manzana de viviendas que tratar los edificios individualmente, o trabajar con curvas de nivel cada 10 m que hacerlo con curvas cada 5 m o cada metro. Dependiendo del tipo de mapa, la escala adoptada puede variar. Así, en los mapas de infraestructuras es frecuente utilizar la escala 1/25.000, mientras que la precisión aportada por esta escala resulta en general insuficiente en el caso de una aglomeración. Respecto a la amplitud del área de estudio, en la elaboración de los mapas de los grandes ejes viarios con mucho tráfico puede ser necesario contemplar bandas de estudio incluso superiores a 1 km a cada lado de la carretera, siendo mucho menores en el caso de las líneas ferroviarias debido a la menor potencia de emisión de éstas. En los mapas de los aeropuertos, la extensión del área de estudio alcanza varios km<sup>2</sup> alrededor del aeropuerto, y en los mapas de aglomeraciones realizados en España lo habitual es que el área de estudio sea el término municipal.

#### **Recopilación de los datos necesarios para construir los escenarios de cálculo:**

Los principales datos que es preciso recopilar teniendo en cuenta los diferentes tipos de mapas son los que figuran a continuación. Es importante detectar las carencias en la disponibilidad de información para formular hipótesis y estimaciones de los datos no disponibles y que son necesarios para poder elaborar los mapas estratégicos de ruido.

*Datos asociados a las fuentes de ruido.* Son específicos para cada tipo de mapa: carreteras, líneas ferroviarias y aeropuertos. En los mapas de aglomeraciones es preciso recopilar datos de los tres tipos de fuentes y además datos sobre las actividades industriales. Los datos asociados a la fuente incluyen tanto la definición física de las infraestructuras como la determinación de sus condiciones de explotación y funcionamiento.

- Ejes viarios: definición geométrica (planta, perfil longitudinal, desmontes, terraplenes, túneles, viaductos, cruces, enlaces, pantallas, etc.), tipo de pavimento y datos de tráfico.
- Ejes ferroviarios: definición geométrica de la línea (número y disposición de las vías, plataforma, desmontes, terraplenes, viaductos, túneles, cambios de vía, etc.), tipo de vías, estaciones de viajeros y terminales de mercancías y datos de circulación y tráfico.
- Aeropuertos: definición geométrica de las pistas, configuraciones del aeropuerto, rutas aéreas y datos sobre aeronaves y tráfico.
- Aglomeraciones: además de los datos relacionados con los grandes ejes viarios, ferroviarios y aeropuertos, es necesario recopilar los datos de tráfico en las calles de la aglomeración, de las líneas ferroviarias urbanas, y de las actividades industriales. En este último caso, además de localizar adecuadamente la actividad industrial hay que conocer su potencia de emisión y las condiciones de su funcionamiento.

*Datos topográficos y geométricos:* Es necesario definir el terreno, las edificaciones y el resto de los elementos físicos (infraestructuras, obstáculos, etc.) que configuran el área de estudio. Desde un punto de vista acústico deben estar bien definidos las características de las fuentes sonoras, los receptores y el medio de propagación del sonido. En el caso de los mapas de grandes aeropuertos, se asume que la influencia del terreno y los obstáculos es mínima, y no suelen considerarse los efectos de difracción, aislamiento y reflexión causados por los obstáculos en tierra (es decir, los cálculos de las huellas sonoras se obtienen para una superficie plana en el entorno del aeropuerto), aunque es cierto que algunos modelos informáticos empiezan a ofrecer la posibilidad de considerar estos efectos. Ocurre frecuentemente que las cartografías disponibles no tienen la precisión o actualización necesarias y deben realizarse trabajos específicos para la obtención de estos datos.

*Datos urbanísticos:* Son comunes a todos los tipos de mapas. Para poder conocer la exposición de la población al ruido es necesario conocer las edificaciones de carácter residencial, que son en las que se va a ubicar la población expuesta. La Directiva exige también ciertos datos sobre la afección a colegios y hospitales, y en general, definir los usos predominantes del suelo en el área abarcada por el mapa estratégico. Por otro lado, para poder realizar un diagnóstico de la situación acústica y comparar los niveles de ruido obtenidos en los mapas con los objetivos de calidad y valores límite, es necesario incorporar a los mapas la zonificación acústica correspondientes.

*Datos demográficos:* son comunes a todos los mapas. El objetivo final de los mapas es relacionar los niveles de ruido en fachada con la población que vive en cada edificio, por lo que los datos deben ser suficientes para poder estimar el número de persona que vive en cada edificación.

*Contexto normativo y legislativo:* las leyes y decretos autonómicos y las ordenanzas municipales pueden contener especificaciones concretas sobre la evaluación del ruido y objetivos de calidad que hay que contemplar.



*Datos sobre ruido ambiental:* es interesante recopilar la posible información sobre ruido ambiental en el área de estudio: informes, otro tipo de mapas, estudios específicos, etc.

### **Obtención y preparación de la cartografía base:**

Con los datos recopilados y aquellos que hayan sido estimados, se debe definir y establecer la cartografía básica que va a ser utilizada para la elaboración de los MER, incluyendo tanto planimetría como altimetría. Las cartografías disponibles, no solamente suelen presentar carencias en algunos aspectos necesarios para construir los escenarios de simulación, sino que incluyen una gran cantidad de información que no es necesaria para el cálculo y que conviene eliminar para no entorpecer el proceso de simulación acústica.

### **Cálculo de niveles sonoros:**

Una vez construidos los escenarios de simulación en el modelo informático, se procede a definir las condiciones acústicas (condiciones meteorológicas, condiciones de propagación, coeficientes de absorción/reflexión del terreno, edificaciones y obstáculos, orden de reflexión, sonido incidente, etc.) y pueden lanzarse los cálculos. Como resultado de los cálculos deben obtenerse los niveles sonoros  $L_{den}$  y  $L_n$  (es también recomendable guardar por separado los niveles  $L_d$  y  $L_e$ ) tanto referidos a líneas isófonas como a niveles en fachada de cada edificación. Los tiempos de cálculo pueden alargarse considerablemente, llegando a abarcar varios días enteros si el área de cálculo es muy extensa y presenta numerosos elementos, si el tamaño de malla es muy pequeño y el orden de reflexión elevado.

### **Evaluación de la población expuesta:**

Como parte del MER se debe evaluar el número de personas que residen en viviendas cuya fachada más expuesta está sometida a diferentes rangos de los indicadores empleados. Para ello, se debe repartir la población de cada edificio a lo largo del perímetro del mismo y asignarla a cada rango. De acuerdo con la Directiva, en esta asignación se considera que toda la población del edificio está expuesta al nivel de ruido de la fachada calculado a 4 m de altura.

No existen criterios específicos obligatorios para la asignación de la población. En cada caso será preciso partir de la información existente para la zona de estudio. Se puede estimar el número de viviendas existentes y a partir de ellas el número de habitantes asignando valores medios de número de habitantes por vivienda. En otros casos se parte de la densidad de población en suelo residencial, se obtiene la superficie residencial construida considerando la altura de los edificios y se aplica la densidad de población al área construida. En algunos casos muy concretos donde existen muchos datos controlados de población y se dispone del censo de población de los municipios implicados en el estudio, se puede realizar la asignación de la población de cada portal al edificio correspondiente, aunque no es frecuente.

La asignación de población a las edificaciones introduce grandes incertidumbres en la evaluación de la exposición de la población al ruido ambiental sobre todo debido a la dificultad de considerar adecuadamente la ocupación de las viviendas, las segundas viviendas y las edificaciones de carácter residencial turístico.



### Análisis de resultados y preparación de los documentos y planos finales que componen el MER:

Un mapa estratégico de ruido no debe limitarse a presentar los resultados de los cálculos de un modelo informático, sino que se debe exigir una verificación de la validez de estos resultados, ya que sobre todo en los cálculos de zonas muy extensas se producen resultados incorrectos o anómalos debido a las simplificaciones adoptadas en los cálculos y las propias limitaciones de los métodos de cálculo y modelos informáticos de previsión. Conviene también incluir un análisis de los niveles de ruido obtenidos y los datos de población expuesta, destacando las mayores incertidumbres y las zonas más afectadas de manera que puedan tomarse decisiones respecto a la necesidad de realizar estudios más detallados en determinadas áreas.

Una vez comprobada la calidad y validez de los resultados de la evaluación del ruido ambiental y de la población expuesta es preciso formalizar los documentos que componen el mapa estratégico de ruido. Como mínimo, se deberá elaborar una memoria descriptiva de todo el estudio incluyendo los resultados, las tablas de datos exigidos por la Comisión Europea (actualmente se envían en una hoja Excel con un formato único para todos los países), y preparar todos los planos que componen el MER. Si bien estos planos no se envían a la Comisión Europea son necesarios al menos para poder cumplir adecuadamente con las exigencias de información pública de los MER. Teniendo en cuenta las actuales tecnologías de comunicación e información es conveniente que los planos tengan formatos homogéneos y compatibles con los procedimientos informáticos y telemáticos habituales (compatibles con Sistemas de Información Geográfica y para su difusión por Internet)

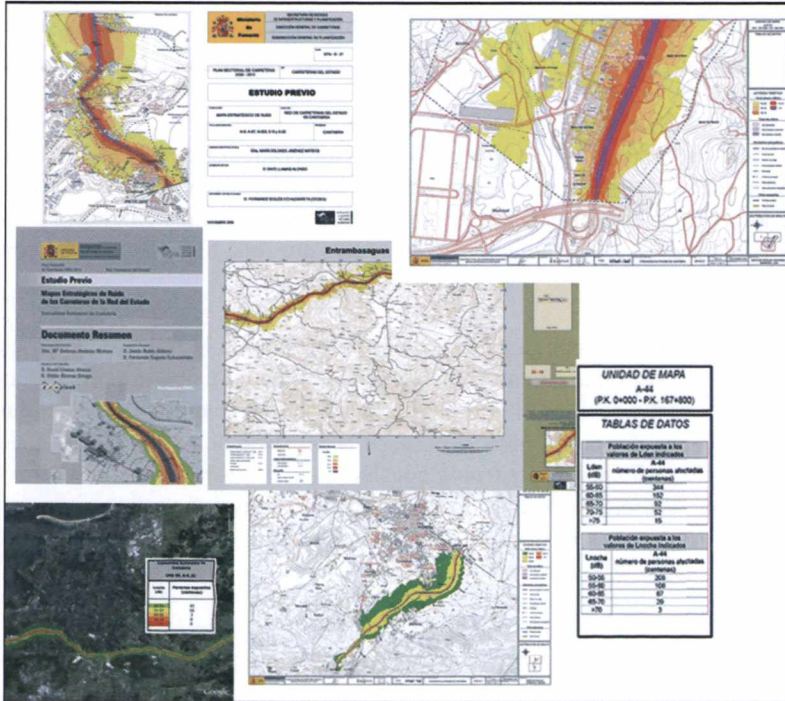


Figura 3.7. Ejemplo de distintos tipos de documentos que integran un mapa estratégico de carreteras de la Red del Estado

### 3.3. Características técnicas de los MER

#### 3.3.1. Aspectos comunes

Los mapas estratégicos de ruido de grandes ejes viarios, ferroviarios, aeropuertos o aglomeraciones, presentan una serie de requisitos comunes tanto en el procedimiento de obtención de los mismos como en su contenido y formatos de presentación. Sin embargo, algunos aspectos técnicos específicos de cada tipo de mapa condicionan la elaboración de los mapas, repercutiendo tanto en la recopilación de los datos, como en las condiciones de cálculo y la presentación de los resultados.

En principio, en todos los tipos de mapas tienen que obtenerse los resultados exigidos por la Directiva 2002/49/CE. Esto implica conocer los niveles  $L_{den}$  y  $L_n$  en fachada de edificios a 4 metros de altura sobre el suelo y asociarlos a la población que vive en cada uno de ellos. Desde este punto de vista, la definición del área de estudio debería ser la misma para todos los tipos de mapas. Sin embargo, en la práctica esto no es así.

Los mapas de aglomeraciones son los más complejos, ya que engloban mapas de ejes viarios, ferroviarios y aeropuertos, y además tienen que obtener resultados para el tráfico rodado, ferroviario, aéreo e industrial. Además, por la propia complejidad del entramado urbano, la cartografía empleada tiene en general mayor precisión que en los mapas de infraestructuras, adoptando escalas de trabajo inferiores.

Lo que si es necesario en todos los casos es disponer de una buena definición de las edificaciones y del terreno. Respecto a las edificaciones, deben recopilarse e introducirse en la cartografía básica todos los edificios, o al menos todas las manzanas de edificios con su correspondiente definición en planta, cota de la base y cota del alero o altura del edificio. Respecto al terreno, tienen mayor relevancia en las infraestructuras lineales, ya que los obstáculos del terreno condicionan los niveles de ruido resultantes y hay que abarcar grandes áreas de cálculo con propagación a larga distancia.

El proceso común para todos ellos es el siguiente:

1. Se define el método de evaluación, incluyendo en su caso las prestaciones del modelo informático, determinando los datos necesarios para el cálculo y las condiciones de cálculo.
2. Se define el área de estudio y la escala de trabajo. Asimismo, en el caso más habitual de utilizarse un modelo informático de cálculo, se selecciona el tamaño de la malla de puntos receptores.
3. Se parte de una cartografía básica (en general 1:25.000, salvo en aglomeraciones) en formato digital. Su contenido deberá estar actualizado a la fecha de referencia de los MER.
4. Se completan los datos necesarios que no están recogidos en la cartografía y se prepara la cartografía de trabajo (base del modelo acústico), en la que deberán estar recogidos todos los elementos con implicaciones en el cálculo acústico: focos emisores, receptores (en general edificaciones), modelo digital del terreno y todos los elementos que puedan suponer un obstáculo para la propagación del sonido entre el emisor y los posibles receptores. Se debe prestar un especial cuidado en la definición de los edificios, debido a su doble faceta de obstáculo y de base para el análisis de la población expuesta.



5. Se asigna la población a los edificios y en su caso usos del suelo, zonificación acústica, zona de servidumbre y otros datos urbanísticos.
6. Se introducen todos los datos que caracterizan la emisión de los distintos focos y las condiciones acústicas de los elementos que actúan en la propagación: tramificación de los ejes, definición de rutas aéreas, potencia de emisión de fuentes industriales, condiciones de propagación, coeficientes de absorción, etc. ubicación y dimensiones.
7. Se procede a realizar los cálculos. Dependiendo de los modelos, estos cálculos se pueden agrupar, pero en general será necesario realizar distintas series de cálculos, bien porque es necesario dividir el área de estudio en varias zonas diferentes, bien porque deban efectuarse por separado los cálculos de líneas isófonas y de receptores en fachada (La mayoría de los modelos son capaces de calcular conjuntamente los índices  $L_d$ ,  $L_e$ ,  $L_n$  y  $L_{den}$  sin necesidad de lanzar cálculos por separado)
8. Se verifica la calidad y validez de los resultados. Lo más habitual es que se obtengan en algunas zonas resultados anómalos y sea preciso verificar la corrección, o definir con mayor precisión alguno de los elementos físicos introducidos en el modelo.
9. Con los resultados verificados se procede a elaborar los documentos, planos y tablas correspondientes en los formatos establecidos.

Existen sin embargo, ciertas diferencias en función del tipo de mapa que se debe elaborar. Fundamentalmente están relacionadas con:

- El método de cálculo
- La escala de trabajo y el área del mapa
- Los datos necesarios para la definición física de las fuentes y los datos de tráfico (emisión acústica)

### 3.3.2. Los mapas estratégicos de ruido de carreteras

#### Método de cálculo

De acuerdo con lo estipulado en la Ley del Ruido y sus reglamentos, el método de previsión oficial adoptado en España para la elaboración de los mapa estratégicos de carreteras es el método nacional francés "NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)", mencionado en el "Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6" y en la norma francesa "XPS 31-133", convenientemente adaptado a lo estipulado en la Directiva 2002/49/CE.

En el caso de las carreteras el método no presenta grandes dificultades de aplicación ya que no existen diferencias significativas entre las situaciones acústicas que plantea y las existentes en las carreteras españolas. Desde un punto de vista acústico los puntos más cuestionables están relacionados con las hipótesis en las que se basa el método para el cálculo de la potencia de emisión, la definición de los pavimentos y alguna de las hipótesis utilizadas para el cálculo de la eficacia de las pantallas.

#### Selección de la escala de trabajo y delimitación de la zona de estudio

La selección de la escala de trabajo está condicionada, por un lado, por la precisión de la información exigida a los mapas y, por otro, por la necesidad de realizar un número muy impor-



tante de mapas estratégicos que abarcan grandes extensiones de territorio. Algunos MER se refieren a tramos de carreteras de menos de 1 km mientras que otros alcanzan longitudes de varias decenas de kilómetros. Para conseguir un adecuado equilibrio entre ambas exigencias, precisión y operatividad, es imprescindible seleccionar con acierto la escala de trabajo de la cartografía básica del estudio. Es importante no confundir nunca esta escala de trabajo, que es la que va a definir la precisión de los datos que definen la geometría y los escenarios de cálculo, con la escala de representación gráfica que simplemente se refiere a la forma en que se visualizan los mapas.

La escala de trabajo básica recomendada en la mayoría de los países y la adoptada por la mayor parte de las administraciones de carreteras españolas es la 1/25.000 con curvas de nivel cada 10 m. A esta escala está disponible todo el territorio del Estado Español, y además se puede obtener en formato digitalizado y con datos de altimetría.

La escala de trabajo 1/25.000 puede resultar sin embargo inadecuada para evaluar con precisión los niveles sonoros y la exposición al ruido cuando los ejes viarios atraviesan zonas urbanas de edificación densa, con mucha población potencialmente afectada. En estos casos es conveniente realizar estudios detallados a una escala más precisa, por ejemplo, 1/5.000 con curvas de nivel cada 5 m., ya que la diferencia obtenida en la precisión de los cálculos de niveles de ruido en las fachadas más protegidas puede tener como consecuencia una disminución muy importante de los resultados de población expuesta.

Respecto a la amplitud de los mapas, la longitud del tramo de carretera que constituye un mapa estará en principio determinada por criterios ajenos a los acústicos: titularidad de la carretera, denominación del eje, criterios de explotación, etc. Lo que sí es necesario tener presente es que los modelos informáticos de previsión de niveles sonoros tienen ciertas limitaciones en cuanto a la capacidad, por lo que, en caso de ser necesario fraccionar los cálculos por este motivo, deberán tomarse las precauciones necesarias para que los resultados finales tengan coherencia y continuidad. En cualquier caso, la exigencia de georreferenciar los planos y de presentar formatos compatibles con sistemas SIG, facilitará el tratamiento de gran cantidad de información. Para los cálculos es necesario considerar una longitud extra en ambos extremos para asegurar la continuidad de la emisión sonora de la carretera, garantizando el correcto cálculo y representación de los niveles sonoros de inmisión en dichos extremos del tramo en estudio

Por lo que se refiere a la anchura de banda del área de estudio, ésta debe ser tal que una vez efectuados los cálculos, incluya la isófona más desfavorable (más alejada del foco):  $L_{den} = 55$  dB y  $L_{noche} = 50$  dB. Se recomienda en principio adoptar un valor de alrededor de 1 km a cada lado del eje para las carreteras con mayores tráfico, pudiendo reducirse el mismo mediante un cálculo simplificado previo en función del tráfico del tramo de carretera estudiado.

Se deberá incluir un Plano de la Zona de Estudio, en el que queden identificados:

- los P.K. de inicio y fin,
- los tramos extra incluidos en ambos extremos,
- la línea que, a ambos lados del eje, determina el ancho de estudio del mapa.

### Definición del eje viario y datos de tráfico

En la mayoría de los casos es necesario dividir el eje viario en tramos homogéneos que tengan en cuenta las diferentes configuraciones físicas y de tráfico que pueden presentarse, creando un tramo diferente cada vez que se produce un cambio significativo en la plataforma o en el tráfico. La carretera o tramo en estudio, se deberá estructurar en secciones homogéneas según los valores de los parámetros de:

- Número de vehículos (IMD)
- Porcentaje de vehículos pesados
- Velocidad (km/h)
- Tipo de pavimento
- Número de carriles

Se debe realizar una descripción de la carretera, indicando el número de carriles, anchura total de los mismos, dimensiones de los arcones exteriores e interiores así como de la mediana. Es fundamental disponer del perfil longitudinal del eje o ejes, puesto que sus coordenadas x, y, z son necesarias para el posicionamiento de la fuente o fuentes de emisión de ruido. Para cada uno de los tres periodos de evaluación (día, tarde y noche), se deberán definir las características de tráfico representativas según los valores de intensidad media horaria, y el porcentaje y la velocidad media de circulación para vehículos ligeros y pesados. En función de los datos de partida disponibles, podrá ser preciso realizar un tratamiento previo para conseguir las características de tráfico según los anteriores parámetros indicados.

*Tabla 3.1. Ejemplo de los datos de tráfico necesarios para caracterizar un eje viario dividido en tres tramos diferentes*

Tramo 1: Desde P.K. 7 (M-40) hasta P.K. 8+500 (Santa Eugenia)				
Periodo	Vehículos ligeros		Vehículos pesados	
	Nº vehíc /hora	Velocidad	% vehíc /hora	Velocidad
Día (7-19h)	9632	95	16	95
Tarde (19-23h)	8029	95	16	95
Noche (23-7h)	2569	120	16	120
Tramo 2: Desde P.K. 8+500 hasta P.K. 10 (final Santa Eugenia)				
Periodo	Vehículos ligeros		Vehículos pesados	
	Nº vehíc /hora	velocidad	% vehíc s/hora	velocidad
Día (7-19h)	7112	95	20	95
Tarde (19-23h)	5929	95	15	95
Noche (23-7h)	1897	120	25	120
Tramo 3: Desde P.K. 10 (final Santa Eugenia) hasta P.K. 17 (Rivas)				
Periodo	Vehículos ligeros		Vehículos pesados	
	Nº vehíc /hora	velocidad	% vehíc /hora	velocidad
Día (7-19h)	6498	95	25	95
Tarde (19-23h)	8904	95	10	95
Noche (23-7h)	2316	120	25	120

Se identificarán todos los elementos que, situados en el entorno de los tramos de la infraestructura de transporte en estudio, suponen un obstáculo para la propagación del sonido, en especial las barreras acústicas. De cada uno de ellos, se recopilará la información adecuada para su definición física, de modo que se pueda incluir en el modelo de cálculo. Se consideran como obstáculo, tanto elementos originados por la propia orografía del terreno, como aquellos de origen artificial, definidos o no como solución antirruído.

### 3.3.3. Los mapas estratégicos de ruido de líneas ferroviarias

#### Método de cálculo

De acuerdo con lo estipulado en la Ley del Ruido y sus reglamentos, el método de previsión oficial adoptado en España para la elaboración de los mapas estratégicos de carreteras es el método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado en "Reken - en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996", convenientemente adaptado a lo estipulado en la Directiva.

El método nacional de cálculo de los Países Bajos, define la emisión sonora de una línea de ferrocarril a partir de la emisión sonora individual de cada tipo de tren circulante por la misma. Las características de emisión de un vehículo ferroviario, o de una vía se determinan mediante medidas de niveles sonoros, niveles de vibración y de rugosidad de carril. Estas características de emisión están ya disponibles en el método Holandés para los vehículos ferroviarios holandeses, y otros vehículos europeos que circulan por vías holandesas, y para las características típicas de las vías holandesas. A continuación se numeran las nueve categorías existentes más una que todavía es provisional:

- Categoría 1: Trenes de pasajeros, con frenos de zapata
- Categoría 2: Trenes de pasajeros, con sistema de frenos de disco y de zapata
- Categoría 3: Trenes de pasajeros, con frenos de disco
- Categoría 4: Trenes de mercancías con frenos de zapata
- Categoría 5: Trenes diesel, con frenado de bloqueo
- Categoría 6: Trenes diesel con frenos de disco
- Categoría 7: Metros urbanos con frenos de disco, y tranvías rápidos
- Categoría 8: InterCity con frenos de disco y trenes lentos
- Categoría 9: Trenes de alta velocidad con frenos de disco y freno de zapata
- Categoría 10: Reservada provisionalmente para trenes de alta velocidad del tipo ICE-3(M) (HST East)

La aplicación de este método al caso español presenta una dificultad importante. Para el cálculo de la potencia de emisión a partir de los datos de circulación de trenes, es necesario disponer de una base de datos donde cada tipo de tren esté asignado a una determinada categoría establecida en función de la emisión acústica. Para ello es preciso realizar ensayos de medidas reales bastante complejos que no se han llevado a cabo en su totalidad. Algunas administraciones ferroviarias han comenzado a realizar esta categorización de trenes pero actualmente no se dispone de una base de datos completa que asocie los trenes españoles a estas categorías acústicas. A la espera de la disponibilidad de estos datos, se han realizado hipótesis de asimilación de trenes que circulan por España a los existentes en la base de datos de trenes holandeses.



El método presenta otras dificultades de aplicación como es el que solamente contempla el ruido de circulación a una velocidad constante sin posibilidad de establecer transiciones de velocidad, por lo que se complica la evaluación del ruido en el entorno de estaciones, apeaderos y terminales de mercancías. También aparecen dificultades relacionadas con la definición de la vía y estado de mantenimiento de la infraestructura.

### **Selección de la escala de trabajo y delimitación de la zona de estudio**

Las consideraciones sobre la escala de trabajo y la amplitud del área de estudio son las mismas que para las carreteras. En general, debido a que el número de vehículos que circulan por una vía férrea es muy inferior al que circula por una carretera, la distancia a la que se sitúan las isófonas más extremas exigida en los mapas es muy inferior, por lo que normalmente la anchura de la banda analizada raramente supera los 500 m.

### **Definición del eje ferroviario y datos de tráfico**

Al igual que en el caso de una carretera, es necesario dividir el eje ferroviario en tramos homogéneos que tengan en cuenta las diferentes configuraciones físicas y de tráfico que pueden presentarse. En principio es preciso crear un tramo diferente cada vez que se produce un cambio significativo en la plataforma o en el tráfico. Se debe prestar especial atención a la tramificación en la aproximación y salida de las estaciones de ferrocarril, en las que la velocidad de circulación experimenta variaciones desde la nominal de circulación hasta cero (parada) o viceversa. La tramificación puede resultar compleja sobre todo en el entorno de estaciones y terminales de mercancías donde confluyen numerosas vías. En algunos casos no es suficiente con establecer un tramo dentro de un eje sino que es necesario considerar determinados tramos como nuevos ejes ferroviarios, es decir, realizar el cálculo de forma independiente.

La línea de ferrocarril o tramo en estudio se deberá estructurar en secciones homogéneas según los valores de los parámetros de:

- Tipo de trenes
- Numero de trenes
- Velocidad de tránsito (km/h)
- Tipo de estructura
- Número de vías

Se debe realizar una descripción de la línea del ferrocarril, indicando el número de vías, así como tipo (ejemplo: balasto, plataforma de hormigón) y dimensiones de la estructura (ejemplo: anchura y altura de plataforma, inclinación de balasto). Las características que, desde el punto de vista de ruido, permiten realizar la tramificación de una línea de ferrocarril, se deben obtener para cada uno de los tres periodos de evaluación considerados en un estudio de Mapas Estratégicos de Ruido (día, tarde y noche).

Por defecto, se suele considerar para todo el tramo de estudio una composición de la vía formada por una estructura de capa de balasto, con traviesas de hormigón monobloque y carril soldado.

Como resultado de la recopilación de datos planteada para la realización de los Mapas Estratégicos de Ruido, se deberá estar en disposición de completar una tabla con los datos de tráfico, para cada tramo de estudio y para cada tipología de tren.

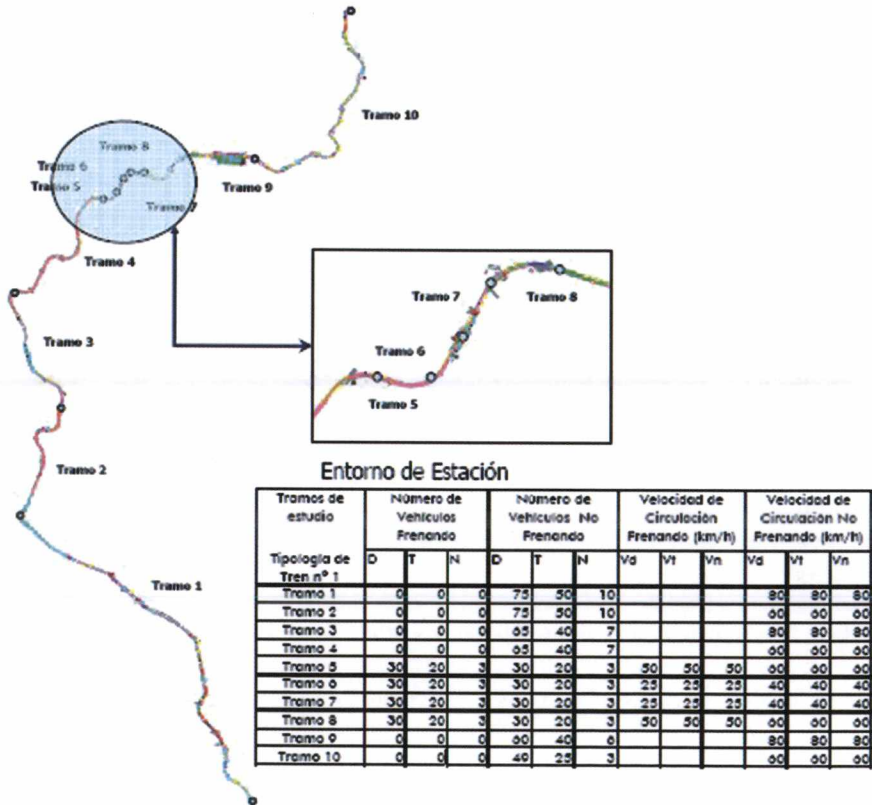


Figura 3.8. Ejemplo de tramificación de una línea ferroviaria

### 3.3.4. Los mapas estratégicos de ruido de aeropuertos

#### Método de cálculo

De acuerdo con lo estipulado en la Ley del Ruido y sus reglamentos, el método de previsión oficial adoptado en España para la elaboración de los mapas estratégicos de aeropuertos es el método recogido en el documento ECAC. CEAC Doc. 29 “Informe sobre el método estándar de cálculo de niveles de ruido en el entorno de aeropuertos civiles”, 1997, convenientemente adaptado a lo estipulado en la Directiva 2002/49/CE.

La aplicación no presenta grandes dificultades ya que las aeronaves que operan en todo el mundo son similares, están clasificadas acústicamente y existen bases de datos que contemplan adecuadamente las características de emisión acústica de cada una de ellas. Existen ciertos aspectos técnicos relacionados con la atenuación lateral y otros factores considerados en el método ECAC que difieren ligeramente de los considerados con el modelo de cálculo usado habitualmente en los aeropuertos españoles, el Integrated Noise Model (INM), pero ello no ha supuesto un problema a la hora de verificar la validez de los resultados obtenidos.

Conviene recordar que el método contempla únicamente el ruido originado por las operaciones de despegue, aterrizaje y sobrevuelo de aeronaves, por lo que, al igual que en el caso ferroviario sucede con las estaciones de viajeros y terminales de mercancías, puede ser necesario contemplar la repercusión de la emisiones sonoras relacionadas con las operaciones en tierra y el resto de actividades propias del aeropuerto.

Para un escenario de cálculo determinado, el INM debe representar la configuración física del campo de vuelos y su entorno, así como la manera en la cual se utilizan estas instalaciones, es decir su régimen operativo. Para ello, es necesario recabar información que describa las operaciones de aterrizaje y despegue para el período de cálculo considerado, incluyendo la descripción del modelo de aeronave que realiza cada operación y las trayectorias de vuelo seguidas en las operaciones de despegue y aproximación al aeropuerto.

Se define una malla de cálculo y se calcula el valor de los índices de medida seleccionados en todos los puntos de la malla. Las huellas sonoras o contornos de igual nivel de ruido (isófonas) constituyen el resultado gráfico fundamental del proceso de cálculo.

En el caso del ruido originado por las aeronaves, no se suelen realizar mapas de ruido de fachadas, ya que al proceder el ruido de una fuente móvil situada por encima del receptor, es aceptable considerar que todo el edificio se ve afectado por el mismo nivel de ruido.

### **Selección de la escala de trabajo y delimitación de la zona de estudio**

La selección de la escala de trabajo está condicionada, por un lado, por la precisión de la información exigida a los mapas y, por otro, por la necesidad de abarcar grandes extensiones de territorio en el entorno de los aeropuertos.

La escala de trabajo utilizada en España ha sido la 1/25.000. Como la escala de trabajo 1/25.000 puede resultar sin embargo imprecisa para evaluar con detalle los niveles sonoros y la exposición al ruido en zonas urbanas de edificación densa, con mucha población potencialmente afectada, se han realizado en algunos casos estudios detallados a escala 1/10.000.

### **Definición física del aeropuerto y datos de tráfico aéreo**

Los parámetros que influyen sobre la emisión sonora de las aeronaves en las operaciones de despegue, aterrizaje y sobrevuelo son:

- Las pistas
- El tráfico aéreo
- Las configuraciones de operaciones del aeropuerto
- Las rutas nominales (en su caso las trayectorias reales)



Las pistas se definen determinando su denominación, longitud, y la situación de los extremos de las pistas y de las cabeceras.

Los aterrizajes y despegues deben ser identificados con precisión para cada uno de los 3 periodos de cálculo: día, tarde y noche. Cada tipo de aeronave y cada operación deben ser considerados en el cálculo. La Directiva estipula que el cálculo debe ser representativo del tráfico medio anual, por lo que debe disponerse de los datos completos anuales para establecer el número de operaciones del día representativo de cálculo.

La configuración de explotación de un aeropuerto está ligada a las condiciones meteorológicas, fundamentalmente a la dirección e intensidad del viento, y define el sentido de utilización de las pistas.

Las rutas nominales van asociadas a cada pista y a cada configuración y representan las trayectorias en coordenadas x,y que deben seguir los aviones en las operaciones de aterrizaje y despegue. En una misma ruta existen varios perfiles de vuelo, especialmente para los despegues, que permiten distintos ángulos de elevación. Los modelos de cálculo como el INM permiten, si se considera oportuno, establecer dispersiones respecto a las rutas nominales para tener en cuenta las trayectorias reales efectuadas por las aeronaves, pero en la actualidad en los aeropuertos españoles, estas desviaciones se han reducido drásticamente al aplicar con rigor los protocolos de disciplina aérea.

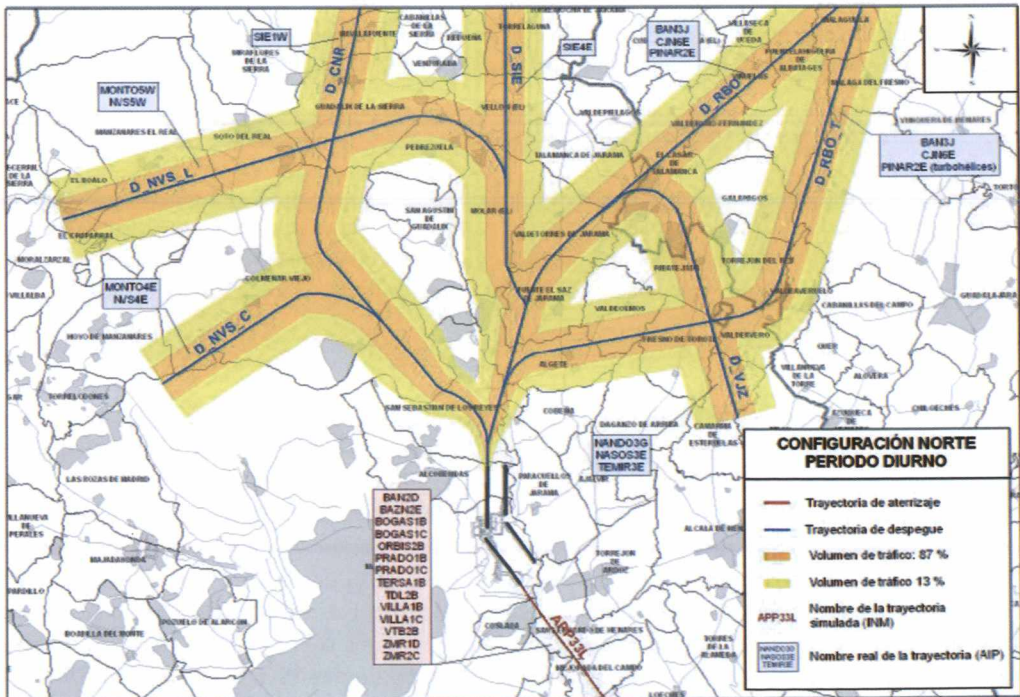


Figura 3.9. Aeropuerto de Madrid-Barajas. Trayectorias introducidas en la simulación. Configuración norte. Periodo diurno.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Fuente: AENA

### 3.3.5. Los mapas estratégicos de ruido de aglomeraciones

Los mapas de ruido de aglomeraciones presentan ciertas diferencias respecto a los otros tres tipos de mapas. En primer lugar, la propia definición del mapa se basa no en el foco emisor, sino en la zona de inmisión, es decir, en los receptores. A pesar de que el contenido del mapa está organizado por focos (tráfico viario, ferroviario, aeroportuario e industrial), la autoridad responsable de su elaboración no es directamente el responsable de todos los focos de emisión. Esta circunstancia hace que en la práctica la elaboración del mapa estratégico de una aglomeración resulte bastante compleja, sobre todo teniendo en cuenta que existen otros tipos de mapas habitualmente manejados por las grandes ciudades que no se refieren a los mismos indicadores y las mismas condiciones de evaluación.

Los MER de aglomeraciones se componen de varios tipos de mapas, ya que deben obtener los indicadores establecidos y la población expuesta exigida para al menos las situaciones siguientes:

- Ruido del tráfico viario: incluye tanto el ruido de tráfico en las calles como el originado por los grandes ejes viarios presentes o con repercusión sobre la aglomeración cuya contribución debe ser obligatoriamente evaluada
- Ruido del tráfico ferroviario: incluye tanto el ruido de tráfico en las líneas ferroviarias urbanas como el originado por los grandes ejes ferroviarios presentes o con repercusión sobre la aglomeración cuya contribución debe ser obligatoriamente evaluada
- Ruido del tráfico aéreo: incluye el ruido de todo el tráfico aéreo, pero salvo excepciones se trata del ruido originado en los aeropuertos cercanos a la aglomeración; en todo caso, debe evaluarse la contribución de los grandes aeropuertos.
- Ruido de industrial: incluye el ruido originado por las actividades industriales presentes en la aglomeración

Aunque explícitamente la Directiva solamente exige evaluar los índices relativos a los focos citados anteriormente, parece lógico evaluar el ruido total en la aglomeración, ya que en determinadas zonas otras fuentes de ruido pueden ser muy relevantes, como ocurre frecuentemente con el ruido ligado al ocio.

#### Métodos de evaluación

De los cuatro tipos de mapas estratégicos de ruido, los mapas de aglomeraciones son los que más habitualmente se obtienen combinando técnicas de medida de ruido y métodos de cálculo. Para el cálculo del ruido originado por el tráfico viario, ferroviario y aéreo se utilizarán los métodos citados anteriormente adoptados para la realización de los mapas estratégicos de ruido de infraestructuras.

Para el cálculo del ruido de actividades industriales se utilizará el descrito en la norma ISO 9613-2 "Acústica- atenuación del sonido cuando se propaga en el exterior, Parte 2: Método general de cálculo". Para la aplicación del método establecido pueden obtenerse datos sobre emisión de ruido mediante mediciones realizadas de acuerdo con los métodos descritos en las normas ISO 8297: 1994, EN ISO 3744: 1995 y EN ISO 3746: 1995.

En el caso de utilizarse técnicas de medida en la elaboración del mapa estratégico será preciso definir con claridad cómo y para qué se utilizan los resultados de las medidas (por ejemplo en la determinación de la



potencia de emisión de fuentes, o en la determinación del ruido total en una zona determinada) y justificar que los resultados finales se corresponden con las condiciones de evaluación exigidas para los mapas estratégicos (periodo anual de evaluación, 4 m de altura, sonido incidente, etc.)

### **Selección de la escala de trabajo y delimitación de la zona de estudio**

La selección de la escala de trabajo está condicionada por la complejidad que presenta el entramado urbano.

Debido a las altas densidades de edificación de las aglomeraciones, la escala 1/25.000 resulta claramente insuficiente para discriminar con precisión las diferentes situaciones acústicas presentes en una ciudad, diferenciar la ubicación de los receptores, tamaño y forma de los edificios, caminos acústicos, etc. Para poder apreciar estos detalles es necesario como mínimo trabajar con la precisión que aporta una escala 1/10.000 y preferiblemente con una escala 1/5000 o 1/2000. En general las curvas de nivel suelen ser poco relevantes en medio urbano, pero si es muy importante conocer tanto la cota de la base como la altura de los edificios.

Respecto a la amplitud de los mapas, el área de estudio, que es en la que reside la población que debe considerarse en la exposición al ruido, coincide con los límites de la propia aglomeración, definida previamente de un modo oficial por la autoridad competente (Comunidad Autónoma), aunque para realizar el mapa hay que considerar también la influencia que pueden tener sobre la aglomeración fuentes externas a la misma, fundamentalmente los ejes viarios, ferroviarios y aeropuertos, pero también las actividades industriales. Por ello, una adecuada evaluación de los niveles sonoros debe contemplar las fuentes de ruido en un área mayor que la estrictamente definida para la evaluación.

### **Definición de las fuentes de ruido y datos de tráfico**

Para el cálculo del ruido del tráfico viario, ferroviario y aéreo se aplicarán las mismas consideraciones que las establecidas para los grandes ejes y aeropuertos.

Para la definición de las actividades industriales el objetivo es la determinación de la potencia de emisión y periodos de funcionamiento en cada uno de los tres periodos de día, tarde y noche. La caracterización de la potencia de emisión se obtiene generalmente por medio de medidas de niveles sonoros en el entorno de la actividad. En el caso de disponer de una base de datos en la que figuren las potencias de las actividades presentes en la aglomeración, o de los elementos que las conforman pueden utilizarse estos datos convenientemente justificados y adaptados a las condiciones reales de las actividades concretas.

### **Resultados y documentos**

En el caso de los mapas de aglomeraciones la generación de los documentos que conforman el MER es una labor relativamente ardua. Además de que la utilización de una escala más precisa que en los mapas de infraestructuras obliga a generar un número mayor de planos par abarcar el área de estudio, la necesidad de diferenciar los distintos focos de emisión tienen como consecuencia la generación de mapas diferenciados para el tráfico viario, ferroviario, aéreo e industrial. En cuanto a las tablas de resultados, además de todo lo anterior es preciso discriminar la contribución de los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos.



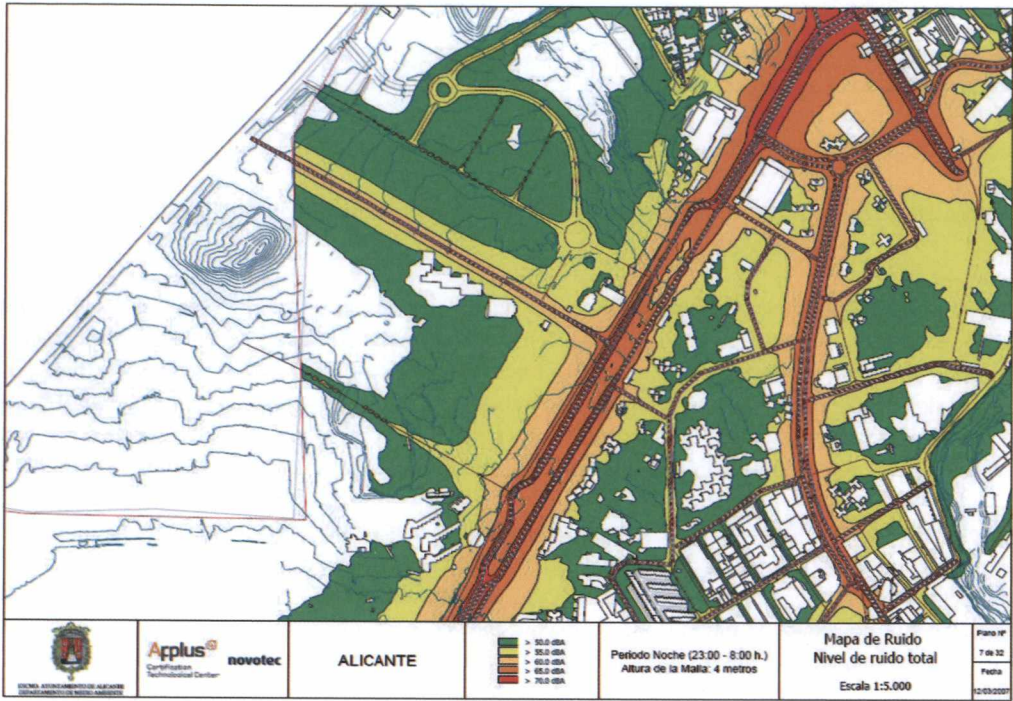


Figura 3.10. Detalle del mapa estratégico de ruido de Alicante.  $L_{den}$  Ruido total.

$L_{den}$ (dB)	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
Foco de ruido	Personas expuestas (centenas)				
Tráfico rodado	683	857	376	44	1
Tráfico ferroviario	8	1	0	0	0
Tráfico aéreo	0	0	0	0	0
Industria	0	0	0	0	0
Total	682	864	378	44	1

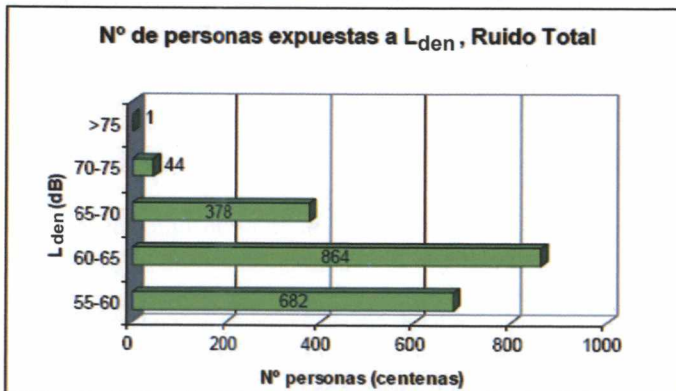


Figura 3.11. Tabla de resultados por focos y totales del mapa estratégico de ruido de la Comarca de Pamplona

### **3.4. Los planes de acción contra el ruido**

#### **3.4.1. Las posibles actuaciones**

Los planes de acción contra el ruido deben ser instrumentos que permitan, una vez conocido el medio ambiente sonoro actual y futuro de una determinada zona, acometer actuaciones concretas destinadas a evitar y disminuir el número y gravedad de las situaciones acústicamente no deseadas.

A la hora de contemplar medidas preventivas y correctoras encaminadas a reducir los problemas asociados al ruido, se debe analizar la viabilidad de emprender distintas actuaciones que, de forma general, cabe clasificar en cuatro grandes grupos. En general, el orden en que deben plantearse las actuaciones considerando su viabilidad y su eficacia en minimizar el impacto sonoro es el mostrado en esta clasificación: en primer lugar, hay que intentar evitar el problema (planificación) e intentar reducir la emisión de ruido en la fuente, para después plantear medidas correctoras de protección en el entorno del receptor y en el medio de propagación.

#### **Actuaciones en la planificación de las infraestructuras de transporte y ordenación del territorio**

La planificación urbanística y de los transportes debe ser sin duda el campo más activo en la lucha contra la contaminación acústica. Los vehículos y las infraestructuras de transporte deben convivir en los mismos espacios con la población. Resulta evidente que la primera forma de evitar los efectos nocivos de la contaminación acústica de los transportes es una buena planificación urbanística, de forma que los usos del suelo menos sensibles al ruido se localicen próximos a los corredores y zonas de afección de las infraestructuras. En los desarrollos nuevos de las ciudades y zonas habitadas hay que contemplar el factor ruido, tanto para la ubicación de las actividades y las edificaciones como para el diseño de los sistemas generales de transporte.

En los desarrollos de nuevas infraestructuras de transporte el factor ruido tiene que estar presente desde las primeras etapas de la planificación. Las carreteras y las líneas ferroviarias no deben ser consideradas únicamente como una plataforma que posibilita desplazamientos rápidos y seguros, sino como un elemento que se incorpora al territorio que atraviesa, modificándolo y formando parte de él, y siendo a su vez modificado por las actividades que se desarrollan en este territorio. Deben adaptarse físicamente al territorio, pero también funcionalmente.

La zonificación acústica, obligatoria desde la entrada en vigor de la Ley del Ruido, va a definir la fragilidad del territorio, definiendo objetivos de calidad y valores límite de inmisión de ruido acordes con los usos y actividades predominantes de cada zona. Hay que tener en cuenta que las clasificaciones de usos del suelo utilizadas tradicionalmente en los instrumentos de planeamiento urbanístico no son generalmente adecuadas para una zonificación acústica y que esta zonificación debe realizarse con criterios ambientales. Así por ejemplo, dentro de la clasificación tradicional de equipamientos, es preciso diferenciar aquellos que son más sensibles al ruido de los que no lo son, y sobre todo tener presente también el uso de los mismos, ya que algunas actividades sensibles al ruido presentan la ventaja de realizarse únicamente en horario diurno.



Teniendo en cuenta que las infraestructuras de transporte constituyen la principal fuente generadora de ruido, se deben establecer reservas de corredores y emplazamientos para infraestructuras con limitaciones de uso en el entorno de las mismas y una distancia mínima de la línea de edificación más próxima.

Evitar graves problemas de ruido en la fase de planificación es posible y sin embargo corregir el ruido en situaciones consolidadas resulta muchas veces tarea prácticamente imposible.

### **Acciones sobre las fuentes de ruido**

Las acciones encaminadas a disminuir el ruido en origen pueden encuadrarse en dos grandes líneas de acción: modificar el diseño y estructura de la fuente de ruido y modificar el funcionamiento de la fuente

Las normativas europeas, normativas estatales y autonómicas y las ordenanzas municipales españolas, establecen límites de emisión sonora a los diferentes tipos de vehículos y medios de transporte, y de algunas máquinas y equipamientos, que cada vez son menos ruidosos. No obstante siempre existe algún tipo de limitación técnica o económica que impide bajar de determinados niveles la emisión de las fuentes sonoras.

En el caso del transporte terrestre, estas actuaciones se centran en primer lugar en un diseño de la infraestructura que no favorezca la propagación del ruido (trazados con desmontes y trincheras son en general elementos recomendables, así como túneles y soterramientos). Para reducir el ruido en la interfase neumático-calzada y rueda-rail, las actuaciones se suelen concretar principalmente en la prescripción y empleo de firmes de tipo poroso-drenante, aisladores de vibraciones en las vías férreas, etc.

Para conseguir que la fuente de ruido sea menos ruidosa, no solamente se puede actuar sobre el espacio físico, sino que también es necesario gestionar adecuadamente el factor tiempo, limitando ciertas actividades y comportamientos durante los periodos más sensibles, fundamentalmente durante el periodo nocturno. Así, se deben plantear la conveniencia de las restricciones horarias de tráfico, restricciones para vehículos pesados, limitaciones y reducciones de la velocidad de circulación, modificación de configuraciones operativas de los aeropuertos y de la utilización de las rutas aéreas, modificación de los periodos de actividad de fuentes industriales, etc.

### **Actuaciones sobre el receptor**

Desde un punto de vista técnico es posible actuar aislando al receptor de su entorno sonoro: cerramientos, tratamientos acústicos de fachadas y tejados, cabinas insonorizadas, etc. Sin embargo, en la práctica, las actuaciones de aislamiento a pesar de ser más eficaces que las actuaciones sobre el medio de propagación, representan la última medida correctora que se debe considerar, ya que no se aplican para reducir el ruido ambiental, sino el ruido en el interior de los recintos.

Las técnicas de aislamiento permiten obtener con relativa facilidad aislamientos de más de 30 dBA, pero siempre a condición de que no existan zonas o elementos que permitan la entrada de ruido al recinto (obligación de permanecer con las puertas y ventanas cerradas para mantener su eficacia).



### **Actuaciones sobre la propagación del sonido**

Las acciones para intentar reducir el ruido en el camino de propagación entre la fuente y el receptor consisten fundamentalmente en la instalación de barreras acústicas, y en algunos casos, en la modificación de las características del terreno y otros elementos cambiando superficies reflectantes por otras absorbentes acústicamente. Son las medidas correctoras más comunes en los proyectos de infraestructuras de transporte terrestre y otras instalaciones, pero deben ser adoptadas solamente en aquellos casos donde su implantación suponga un beneficio ambiental contrastado y compense los impactos negativos que generan las propias pantallas sobre el paisaje visual, la seguridad de la circulación, etc.

Los factores que influyen en la eficacia de una pantalla son su capacidad de aislamiento acústico a ruido aéreo y el carácter absorbente o reflectante de la pantalla viene determinada por los materiales constitutivos de la pantalla, la geometría de la pantalla, fundamentalmente su altura y su longitud, y su ubicación, es decir, la situación relativa de la pantalla con relación a la fuente de ruido y a la zona a proteger, así como la topografía y demás características del lugar de su implantación.

#### **3.4.2. Contenido y requisitos de los planes de acción**

La Directiva 2002/49/CE, no solamente obliga a elaborar mapas estratégicos de ruido, sino que para los mismos grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios, grandes aeropuertos y aglomeraciones establece la obligatoriedad de redactar y adoptar planes de acción contra el ruido. Las actuaciones incluidas en estos planes de acción deben afrontar las prioridades que puedan determinarse como consecuencia de la superación de determinados valores límite y aplicarse en particular a las zonas más importantes establecidas de acuerdo con los resultados de los mapas estratégicos de ruido.

Lo mismo que ocurría con los mapas estratégicos de ruido en relación con los mapas de ruido, ocurre con estos planes de acción en relación con el conjunto de planes en materia de ruido ambiental. Se trata de un tipo de plan muy concreto ligado a unos focos y ámbitos territoriales muy concretos y que se basa en los resultados obtenidos en un mapa estratégico de ruido que debe estar elaborado con anterioridad.

La Directiva no es muy precisa en cuanto al contenido y características de estos planes de acción. Por otro lado, a pesar de que a finales del año 2008 los Estados Miembros deberían haber realizado ya los primeros planes, apenas existen ejemplos concretos todavía. Tampoco la Comisión Europea ha producido recomendaciones específicas sobre cómo elaborar estos planes de acción. En el anexo V de la directiva se establecen los requisitos mínimos de los planes de acción.

- Descripción de la aglomeración, los principales ejes viarios, los principales ejes ferroviarios o principales aeropuertos y otras fuentes de ruido consideradas.
- Autoridad responsable.
- Contexto jurídico.
- Valores límite establecidos con arreglo al artículo 5.4 de la Directiva 2002/49/CE.
- Resumen de los resultados de la labor de cartografiado del ruido.

- Evaluación del número estimado de personas expuestas al ruido, determinación de los problemas y las situaciones que deben mejorar.
- Relación de las alegaciones u observaciones recibidas en el trámite de información pública de acuerdo con el artículo 22 de la Ley del Ruido.
- Medidas que ya se aplican para reducir el ruido y proyectos en preparación.
- Actuaciones previstas por las autoridades competentes para los próximos cinco años, incluidas medidas para proteger las zonas tranquilas
- Estrategia a largo plazo.
- Información económica (si está disponible): presupuestos, evaluaciones coste-eficacia o costes-beneficios.
- Disposiciones previstas para evaluar la aplicación y los resultados del plan de acción.
- Estimaciones por lo que se refiere a la reducción del número de personas afectadas (que sufren molestias o alteraciones del sueño).

Un plan de acción debe centrarse en los apartados siguientes:

- **Análisis de la situación actual y prevista:** el análisis se realiza en base a los resultados del mapa estratégico de ruido, pero puede ser necesario recopilar otro tipo de información
- **Establecimiento de objetivos de calidad acústica:** de acuerdo con las legislaciones vigentes deben establecerse unos objetivos que se pretenden alcanzar con la aplicación del plan, tanto en términos de reducciones de niveles de ruido como de población beneficiada por el plan. No siempre es posible alcanzar los objetivos más ambiciosos, por lo que no hay que descartar las actuaciones de mejora de la calidad del ambiente sonoro y recuperación de puntos negros que incluyan medidas correctoras interesantes, aún cuando no se alcancen los valores límite exigidos.
- **Posibles actuaciones:** seleccionar aquellas más adecuadas y viables desde el punto de vista técnico y económico.
- **Programa de actuaciones:** debe establecerse un calendario de actuaciones lo más detallado posible y un sistema para el control y seguimiento de las mismas.
- **Coste y financiación de las actuaciones:** el plan de acción no puede ser una mera declaración de intenciones sino que debe especificar claramente las inversiones y compromisos económicos adoptados para su aplicación.

Los planes de acción se ven en general condicionados por la organización de las administraciones encargadas de su elaboración y aplicación.

En el caso de los planes de acción de infraestructuras, para la 1ª fase de aplicación de la directiva, casi todas las administraciones han adoptado la estrategia de elaborar planes generales que contemplan todos los grandes ejes viarios o ferroviarios bajo la responsabilidad de una determinada autoridad. Así por ejemplo, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento ha elaborado un plan conjunto (PAR 2008-2012) para todos los grandes ejes viarios de la Red de Carreteras del Estado. Esta línea de actuación permite gestionar adecuadamente los recursos disponibles, ya que difícilmente puede actuarse a la vez en todas las carreteras que presentan problemas relacionados con el ruido. La misma estrategia ha sido adoptada por las Diputaciones de Guipúzcoa y Vizcaya.

**Tabla 3.2. Ejemplo de actuaciones previstas en el Plan de Acción de las Carreteras de la Diputación de Bizkaia.**

Reducción de la velocidad de circulación en la vía						
CARRETERA	Zona		PK inicio	PK fin	Velocidad	
A-8	Enlace Max Center-Enlace San Fuentes		124+000	131+000	100-80	
Tratamiento de las fachadas (dobles ventanas.)						
CARRETERA			Zona			
BI-2120			Portumez-Maruri			
Variante Sur Metropolitana			Viviendas en la carretera de Salcedillo			
Variante Sur Metropolitana			Barrio del Yedal, nº3 y 4 (Tramo 4 Trapagaran Gorostiza)			
Variante Sur Metropolitana			Estrada Beiti nº 9 y 28 (Tramo 8a Peñasal Larraskitu)			
Corredor Gernika. Tramo Zornotza-Autzagane			Segundas plantas de caseríos Trupita y Larragoiko (Amorebieta)			
Pantallas						
CARRETERA	Zona	PK inicio	PK fin	Longitud	Altura	Material
Variante Sur metropolitana	Portugalete-Trapagaran	0+332	0+523	394	3	Hormigón y metacrilato
Variante Sur metropolitana	Portugalete-Trapagaran	105+165	105+321	185	3	Metálica
Variante Sur metropolitana	Santurtzi-Portugalete	101+197	101+699	502	3	Hormigón
Soterramientos						
CARRETERA	ZONA		EJE	P.K. inicial	P.K. final	Observaciones
A-8	Túnel Ramal	A	A	1+376,000	1+830,584	
A-8	Cubrimiento A-8		Tronco	1+990,000	2+313,000	
A-8	Falso túnel	I	B	1+169,713	1+235,752	

En el caso de los aeropuertos, cada aeropuerto cuenta ya con un plan específico de en materia de ruido que deberán ser adaptados a los requisitos de los planes de acción. Puede resultar operativo establecer una programación de actuaciones global para todo el sistema aeroportuario. Las medidas más destacables que se han venido adoptando en planes de acción contra el ruido en los aeropuertos españoles son:

- Procedimientos de atenuación de ruidos estableciendo el uso preferente de pistas según el periodo horario en el cual se desarrollan las operaciones, la limitación en el uso de trayectorias para determinadas aeronaves cuyos niveles de emisión son más elevados en relación al resto de la flota operante, restricción al uso de la unidad auxiliar de potencia (APU), control en la ejecución de pruebas de motores en tierra, restricción total al uso de la potencia de reversa en aterrizajes en horario nocturno, etc.
- Optimización extrema de las trayectorias de despegue y aterrizaje



- Introducción de restricciones operativas con la prohibición total de cualquier operación de aeronaves ruidosas (capítulo 2 del Anexo 16, Vol. I de la OACI) en todo el periodo de operación del aeropuerto y restricciones a las operaciones de las aeronaves denominadas “*marginalmente conformes*”
- Establecimiento de un sistema de cuota de ruido por el que las compañías que operan en el aeropuerto disponen de un valor total asignado de Cuota de Ruido al que deberán ajustarse mediante la optimización de las operaciones ofertadas y la flota empleada para desarrollarlas.
- Mejora de la disciplina de tráfico aéreo
- Ejecución de planes de aislamiento acústico para las viviendas situadas dentro de las zonas de afectación acústica de los aeropuertos al objeto de conseguir que en el interior de las viviendas, se cumplieran los niveles equivalentes máximos de inmisión sonora establecidos en el Código Técnico de la edificación. En este sentido, el aeropuerto de Madrid-Barajas fue el precursor de este tipo de medidas correctoras contra el ruido aeronáutico.

**Tabla 3.3. Situación de la ejecución del plan de Aislamiento Acústico del Aeropuerto de Madrid-Barajas. Año 2007<sup>3</sup>**

Estado de la tramitación	Algete	Coslada	Fuente del Saz	Madrid	Mejorada del Campo	Paracuellos del Jarama	San Fernando de Henares	San Sebastián de los Reyes	Total
Viviendas con derecho a solicitud de aislamiento acústico	121	1.172	132	4.235	4.805	229	2.709	312	<b>13.722</b>
Total de solicitudes recibidas	110	1.166	128	4.137	4.604	207	2.645	198	<b>13.195</b>
Proyectos presentados	90	1.076	114	4.061	4.479	190	2.554	144	<b>12.708</b>
Total de viviendas con financiación aprobada	89	1.072	111	4.059	4.471	157	2.552	135	<b>12.646</b>
Total de viviendas con aislamiento acústico en ejecución	3	96	4	254	48	35	193	25	<b>658</b>
Total de viviendas con aislamiento acústico finalizadas y pago efectuado	86	976	107	3.805	4.423	122	2.359	110	<b>11.998</b>

<sup>3</sup> Fuente: AENA

Por lo que se refiere a las aglomeraciones, los planes de acción deben tratar de incorporar y coordinar con los planes zonales específicos y el resto de las actuaciones ya existentes en el ámbito de la aglomeración. Son sin duda los planes de acción más difíciles de elaborar y ejecutar ya que deben gestionar y controlar el ruido de numerosas fuentes en un ámbito territorial densamente poblado donde coexisten actividades muy diversas. Tal y como indica la directiva, es necesario que las autoridades responsables de los planes de acción de las aglomeraciones establezcan una estrategia a medio y largo plazo que se irá concretando en actuaciones concretas programadas a lo largo del tiempo. La gestión y control del ruido en una aglomeración solamente resultará eficaz si las autoridades definen un modelo de ciudad sostenible ambientalmente, y por lo tanto, sostenible acústicamente, cuya consecución involucre a todos los departamentos: urbanismo, movilidad, medio ambiente, infraestructuras, etc.

**Tabla 3.4. Estrategia a largo plazo del Plan de Acción en materia de contaminación acústica del Ayuntamiento de Bilbao**

Las Estrategias a largo plazo que se fija el Ayuntamiento de Bilbao para la gestión del ruido se articulan en los puntos siguientes:

**Línea estratégica 1:** Aumento de la participación y sensibilización de la ciudadanía.

Los ejes que articulan esta estrategia son:

- Eje 1.1.: dar información e incrementar el conocimiento sobre el ruido
- Eje 1.2.: aumentar el grado de comprensión sobre la variable ruido
- Eje 1.3.: cambiar el comportamiento de la ciudadanía para con el ruido
- Eje 1.4.: gestión de las quejas

**Línea estratégica 2:** Actuación sobre la planificación del suelo y el diseño urbano

Los ejes que articulan esta estrategia son:

- Eje 2.1.: aumentar la importancia relativa del ruido en la planificación de los usos del suelo
- Eje 2.2.: velar por el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica fijados por el R.D.1367/2007
- Eje 2.3.: atender a la preservación de las zonas tranquilas destinadas al esparcimiento o de interés natural

**Línea estratégica 3:** La actuación contra el ruido: aunar esfuerzo, identificar cambios o planes municipales con los que encontrar sinergias

**Línea estratégica 4:** Promover transportes de baja emisión sonora: transporte público y transporte no motorizado

Las medidas que se incluyen en los planes de las aglomeraciones pueden ser muy variadas y abarcar acciones normativas, constructivas, divulgativas, etc. Si bien los planes de acción derivados de la aplicación de la directiva no han sido aún ejecutados, todas las grandes ciudades de la Unión Europea llevan muchos años implementando planes de lucha contra el ruido de diversa índole. Dado que la reducción del ruido en las ciudades resulta una tarea compleja, no debe descartarse ningún tipo de actuación si con ello se consigue una mejor gestión del ambiente sonoro en la ciudad, con implicación de todos los agentes, incluidos los propios ciudadanos.

**Tabla 3.5. Actuaciones que se incluyeron en el I Plan Estratégico de reducción de la contaminación acústica de Madrid (I PERCA)**

- Aprobación definitiva de la nueva Ordenanza Municipal.
- Establecimiento de Normas Técnico-Acústicas para Instalaciones escolares que servirán de guía para las actuaciones municipales.
- Adecuación de las Instalaciones escolares a las Normas Técnico-Acústicas y a las mejores condiciones establecidas por la Ordenanza.
- Estudio de la situación acústica de Madrid mediante la elaboración y actualización del Mapa Acústico de la ciudad.
- Estudio psicosocial del ruido con inclusión de la valoración del ambiente acústico de Madrid obtenido a través de la realización de encuestas individualizadas en todos los distritos municipales.
- Estudio piloto de dosimetría acústica a los madrileños, mediante la colocación a determinados individuos de un dosímetro.
- Actuaciones para reducir los niveles sonoros ambientales, con la planificación de campañas de mediciones que se realizarán en el Centro Municipal de Acústica.
- Establecimiento de Planes de Actuación encaminados a reducir los niveles sonoros ambientales, en la zona centro de Madrid, hasta los límites establecidos, según las distintas zonas de Sensibilidad Acústica definidas en el “Estudio de niveles sonoros ambientales del Distrito Centro”.
- Construcción de pantallas acústicas, en el año 2001 en vías públicas cuya responsabilidad sea competencia del Ayuntamiento.
- Incremento del control de actividades, tales como la función inspectora que será llevada a cabo por los Agentes Ambientales, así como por la Policía Municipal.
- Actuaciones específicas en el entorno del aeropuerto de Madrid-Barajas.
- Establecimiento de nuevas estaciones de la Red de Vigilancia, en el entorno del aeropuerto de Madrid-Barajas.
- Celebración de una serie de “Encuentros Acústicos” durante los años 2001-2002.
- Realización de Campañas Educativas en los colegios y Campañas de concienciación dirigidas al resto de la población en la prensa, la radio y la televisión.
- Concesión del Premios Municipales de acústica: a la enseñanza de las buenas costumbres acústicas; a la mejor crónica acústica; a la mejor innovación tecnológica y al Acústico del año.



### 3.5. Bibliografía

Directiva 2002/49/CE, *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de Junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, pág. L189/12-L189/25, 2002.

Ley 37/2003, *Ley 37/2003, de 17 de Noviembre, del Ruido*, Boletín Oficial del Estado núm 276, pág. 40494-40505, 2003.

Decreto 1513/2005, *Real Decreto 1513/2005, de 16 de Diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental*, Boletín Oficial del Estado núm 301, pág. 41356-41363, 2005.

Comisión Europea, *Recomendación de la Comisión Europea de 6 de agosto de 2003 relativa a las orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes*, 2003

Norma ISO 9613-2: *Acústica-Atenuación del sonido cuando se propaga en el ambiente exterior, Parte 2: Método general de cálculo*

Norma ISO 8297: 1994, *Acústica-Determinación de los niveles de potencia sonora de plantas industriales multifuente para la evaluación de niveles de presión sonora en el medio ambiente-Método de ingeniería*.

Norma EN ISO 3744: 1995, *Acústica-determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido utilizando presión sonora. Método de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflectante*.

Norma EN ISO 3746: 1995, *Acústica-determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido utilizando presión sonora. Método de control en una superficie de medida envolvente sobre un plano reflectante*.

Norma ISO 1996-2: 1987, *Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental*.

Norma ISO 1996-1: 1982, *Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación*.

European Commission, *Good practice for strategic noise maps and the production of associated data on noise exposure, Position Paper of European Commission Working Group of Assessment of Exposure to Noise, WG-AEN*, 2006.

Aspuru, I., Segués, F., Rubio, J. y Vazquez, M., *The process of strategic noise mapping of spanish major roads (EGRA): first results already available, Proceedings. European Conference on Noise Control, (Euronoise 2006), Tampere, Finlandia. 2006*

Aspuru, I., Segués, F., Rubio, J. y Jiménez, M., First conclusions about the END implementation: EGRA Spanish Road Strategic Noise Mapping Experience, *Proceedings. International Conference on Noise Control Engineering, (Internoise 2007)*, Estambul, Turquía. 2007

Jiménez, M., Segués, F., Rubio, J. y Fernández, P., From strategic noise maps to action plan: perspective of spanish main roads, *Proceedings. European Conference on Noise Control Engineering, (Euronoise 2008)*, París, Francia. 2008

Gobierno vasco, *Guía metodológica para la realización de mapas de ruido*, Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, 2005

Sétra, *Production des cartes de bruit stratégiques des grands axes routiers et ferroviaires – Guide méthodologique*, Service d'Etudes techniques des routes et autoroutes (SETRA), 2007

## Capítulo 4

### El control del ruido urbano. Planes de acción específicos

*Plácido Perera Melero, Ricardo Hernández Molina*

#### 4.1. Características específicas del ruido urbano

El control de la contaminación acústica en el medio urbano, por ser éste el ámbito en el que se concentran mayoritariamente los ciudadanos y, consecuentemente, donde existen un mayor número de afectados y de emisores acústicos, debe ser prioritario.

Por otra parte, el ruido urbano tiene unas características propias, resultado de la coexistencia de casi la totalidad de emisores acústicos posibles y con características particulares. El ruido de carreteras no es exactamente igual al ruido del tráfico rodado urbano, ni el ruido del transporte aéreo tiene características iguales cuando afecta a la ciudad que cuando afecta a espacios abiertos, fundamentalmente por la razón de que los aeropuertos se encuentran en las inmediaciones de las ciudades y las aeronaves discurren por alturas bajas aumentando la afección acústica en el territorio. Igual ocurre con el tráfico ferroviario, con estaciones aún más íntimamente unidas al tejido urbano, y con el tráfico marítimo.

Y a todos esos emisores acústicos hay que unir los propios de la “actividad de la ciudad”: el público en las calles y las diversas actividades absolutamente necesarias para la vida urbana, comercios, grandes superficies o no, zonas de ocio, terrazas, discotecas, colegios, ambulancias, sirenas de policía, alarmas de locales o vehículos, obras, etc.

A todas estas características hay que unir dos circunstancias importantes. En primer lugar el espectacular crecimiento de las ciudades a lo largo del siglo XX, crecimiento que aún continúa, sin que a la hora de ordenar urbanísticamente dicho crecimiento se tomara en cuenta la variable ruido. Hay que tener en cuenta que en el año 1900 vivían en las ciudades 200 millones de personas, sólo dos ciudades (Londres y París) superaban los cinco millones de habitantes y solo había 16 ciudades con más de un millón de habitantes. A finales de dicho siglo, vivían en las ciudades más de 3.000 millones de personas, había más de 80 ciudades con más de cinco millones de habitantes y el número de ciudades con más de un millón de habitantes superaba las trescientas.

La segunda circunstancia es el creciente deseo de bienestar de los ciudadanos que exigen a los poderes públicos más y mejores servicios públicos, mayores infraestructuras y mayor tiempo para un ocio abierto al exterior. Y los poderes públicos se lo han proporcionado sin tener en cuenta, una vez más, la repercusión acústica, dotando a las ciudades de servicios no todo lo “silenciosos” que serían deseables.





*Figura 4.1. La Cibeles de Madrid años 40*

## 4.2. Sistemas de control del ruido urbano

A la vista de estas realidades, el control acústico urbano hay que enfocarlo desde dos planos distintos. Desde la **Gestión**, mediante el conocimiento profundo de la realidad acústica de la ciudad consolidada, básico para la definición de los planes de acción encaminados a la paulatina mejora de los niveles de contaminación acústica, y desde la **Planificación** que nos permita garantizar que el crecimiento de la ciudad se realizará, a partir de ahora, con criterios acústicos que impidan una nueva ciudad contaminada acústicamente.

Le corresponde a la Administración Local, es decir a los Ayuntamientos, proporcionar los medios necesarios para poder cumplir con ambas funciones, pero con perspectivas temporales diferentes. Mientras la **planificación** es absolutamente imperativa desde ya (no podemos permitir, la legislación no lo permite, que las ciudades sigan creciendo contaminadas acústicamente), la mejora de los niveles ambientales existentes en la ciudad consolidada encargada a la **gestión** tiene fecha de inicio, la entrada en vigor de los decretos de desarrollo de la Ley 37/2003 del ruido, pero no tiene un plazo marcado para su finalización. La **gestión** es y deberá ser permanente, ampliando paulatinamente su campo de acción a los nuevos desarrollos urbanísticos, en este caso, para impedir el aumento de los niveles sonoros ambientales en ellos.

En este capítulo, nos concentraremos en la Gestión del ruido urbano.

### 4.2.1. Servicios municipales de control y su dimensionado

No hay duda de que la mayor responsabilidad de la gestión del ruido urbano recae en la Administración Local, fundamentalmente por dos razones: en primer lugar porque la casi totalidad

de los emisores acústicos que coexisten en ella están o sujetos a la correspondiente licencia municipal (actividades), a autorizaciones temporales, o como en el caso del tráfico, bajo su control de funcionamiento.

La segunda razón es su condición de ser la administración más próxima al ciudadano, lo que le permite poder atender las denuncias con una mayor agilidad, y no hay que olvidar que el objetivo fundamental de la legislación es tratar de evitar y reducir los daños que éste pueda producir sobre la salud humana.

No cabe duda de que todo servicio encaminado a tratar de reducir los problemas del ruido debe disponer, como elemento fundamental y prioritario, de una Ordenanza en la que se establezcan límites, métodos, procedimientos, responsabilidades, faltas, y sanciones. Y en este apartado, hay que dejar claro que el concepto de ruido de las ordenanzas municipales es distinto del concepto ruido entendido como “todo sonido no deseado o molesto”. Las ordenanzas no regulan las molestias porque “molestia” es un concepto totalmente subjetivo, no se puede medir, no se pueden establecer límites y en consecuencia no se puede legislar sobre ella. En las ordenanzas municipales el concepto de ruido es el concepto de contaminación acústica, es decir la presencia en un ambiente determinado de niveles sonoros superiores a los establecidos, tanto de ruidos como de vibraciones. Y esta distinción debe estar permanentemente presente.

Las ordenanzas municipales deben recoger todas y cada una de las exigencias contenidas en la *Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido* y en sus Decretos de desarrollo, especialmente el *RD 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas*.

La *Ley 37/2003* fija su ámbito de aplicación a todos los emisores acústicos (Emisor acústico: cualquier actividad, infraestructura, equipo, maquinaria o comportamiento que genere contaminación acústica), tanto de titularidad pública como privada y a las edificaciones como receptores acústicos. Deja fuera de sus exigencias a las actividades militares y laborales, y transfiere a las ordenanzas municipales la responsabilidad de normalizar las actividades domésticas y los comportamientos entre vecinos.

En consecuencia, las ordenanzas municipales deben regular, conforme a los criterios de la *Ley 37/2003*, los aspectos siguientes (artículo 4º):

- a) mapas de ruido
- b) delimitación de las zonas de servidumbre acústica
- c) delimitación de las áreas acústicas
- d) suspensión provisional de los objetivos de calidad acústica
- e) planes de acción
- f) ejecución de los planes
- g) declaración de zona de protección acústica especial
- h) declaración de zona de situación acústica especial
- i) delimitación de las zonas tranquilas

Pero además:

- Comprobar que los nuevos emisores acústicos y los existentes cumplen con la legislación.
- Atender las reclamaciones de los vecinos.
- Informar a la población sobre el estado acústico de la ciudad.

¿Y las actividades domésticas y los comportamientos entre vecinos? En este punto existen dos tendencias: la primera defiende que deben ser reguladas en las ordenanzas de contaminación acústica y la segunda, que resulta mucho más eficaz incluirla en ordenanzas de educación cívica o de comportamiento ciudadano.

Los Ayuntamientos deberán, una vez actualizada o redactada la ordenanza correspondiente, dimensionar un servicio capaz de hacerla cumplir en todos sus apartados. Lógicamente, habrá muchos ayuntamientos que no dispongan de la capacidad económica como para crearlos y mantenerlos, pero en estos casos deberán solicitar la “acción sustitutoria” de la administración superior, es decir de la Comunidad Autónoma correspondiente que, a su vez, deberá disponer de los medios necesarios.

Dentro de lo que es un servicio municipal de control de la contaminación acústica, se pueden diferenciar dos grandes apartados: el constituido por el personal e instrumentación necesarios para el control y en su caso corrección de situaciones creadas fundamentalmente por emisores acústicos concretos, y, para los ayuntamientos con capacidad, sistemas automáticos y permanentes de medición de niveles sonoros ambientales, constituidos fundamentalmente por redes de control permanente.

El control preventivo de los emisores acústicos deberá realizarse a través de cualesquiera actuaciones previstas en la normativa ambiental aplicable y, en particular, en las siguientes:

- 1) En las actuaciones relativas al otorgamiento de la autorización ambiental integrada.
- 2) En las actuaciones relativas a la evaluación de impacto ambiental u otras figuras de evaluación ambiental previstas en la normativa autonómica.
- 3) En las actuaciones relativas a la licencia municipal de actividades.
- 4) En el resto de autorizaciones, licencias y permisos que habiliten para el ejercicio de actividades o la instalación y funcionamiento de equipos y máquinas susceptibles de producir contaminación acústica.

Pero también mediante la atención de las reclamaciones de los vecinos.

A continuación se especifican las necesidades tanto de personal como de instrumentación, para el fiel cumplimiento de las exigencias de la legislación nacional.

#### **4.2.1.1. Realización de mapas acústicos**

Para la realización de los mapas acústicos exigidos por el RD 1513/2005 mediante procedimientos de cálculo, por ser el método que con más frecuencia utilizado por los Ayuntamientos, es necesario disponer de:



- programa informático que incluya los métodos de cálculo que en el citado documento se establece
- Sonómetro analizador para las mediciones directas que se deben realizar para la calibración del modelo, con su correspondiente calibrador acústico y un vehículo

Por cuanto se refiere al personal necesario, son necesarios:

- Un especialista en Acústica Ambiental sin que sea necesaria plena dedicación a este trabajo
- Un especialista en GIS
- Un conductor

En función de las dimensiones del término municipal correspondiente, puede darse el caso de que los trabajadores a quienes se les asignen estos trabajos, especialmente el especialista en acústica, puedan compaginarlos con otras funciones.

Hay que tener en cuenta que los mapas acústicos necesarios para cumplir con las exigencias establecidas por la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, traspuesta ya al ordenamiento jurídico español, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, no son los únicos que deben realizar los Ayuntamientos.

En el Artículo 14 de la Ley 37/2003 Identificación de los mapas de ruido, se establece en su apartado 1.a) la obligación de realizar mapas acústicos de “cada uno de los grandes ejes viarios, de los grandes ejes ferroviarios, de los grandes aeropuertos y de las aglomeraciones, entendiéndose por tales los municipios con una población mayor a 100.000 habitantes y con una densidad de población superior a la que se determina reglamentariamente, de acuerdo con el calendario establecido en la disposición adicional primera, sin perjuicio de lo previsto en el apartado 2”.

Pero en su apartado 1.b) amplía la necesidad de realizar mapas acústicos a “las áreas acústicas en las que se compruebe el incumplimiento de los correspondientes objetivos de calidad acústica”, y la única manera de comprobar si en un área acústica se incumplen los objetivos de calidad acústica es mediante la elaboración de un mapa acústico.

En relación con estos mapas acústicos necesarios para comprobar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica, hay que tener en cuenta que, en multitud de casos, los emisores acústicos que originan los incumplimientos no son “modelizables”. El ruido generado por la gente circulando por una calle peatonal no puede quedar reflejado en un mapa acústico obtenido por métodos informáticos, ni el ruido de terrazas y veladores, ni el de las concentraciones de jóvenes haciendo botellón, etc. En consecuencia será necesario obtenerlos mediante mediciones directas o utilizando métodos combinados de medición directa del nivel sonoro y modelizado de la propagación acústica.

Las necesidades para este tipo de mapas acústicos son más de instrumentación que de personal, ya que los mismos técnicos que realicen los mapas acústicos “generales” pueden perfectamente ocuparse de esta nueva tarea.

La instrumentación necesaria pasa por disponer de equipos autónomos de medida de niveles sonoros en continuo al aire libre, dotados de micrófono intemperie, es decir, “unidades móviles”. Su número será función de las dimensiones de los espacios urbanos en los que se deban realizar los mapas.

#### **4.2.1.2. Delimitación de zonas de servidumbre acústica**

La delimitación de las zonas de servidumbre acústica que afecten a un término municipal debe contemplarse desde dos ámbitos: delimitar posibles zonas de servidumbre acústica propias, es decir originadas por infraestructuras de competencia municipal, y control de las servidumbres ajenas.

El primero de los casos es poco frecuente; sin embargo en el segundo, teniendo en cuenta que una servidumbre acústica impuesta puede afectar de forma importante al desarrollo urbanístico de una ciudad, hay que comprobar no solo que la delimitación de la zona afectada surge de un mapa acústico realizado correctamente, habrá que mantener un control para comprobar que los resultados del mapa origen de la servidumbre se ajusta a la realidad y los valores de los niveles sonoros permanecen en el tiempo.

En principio, el control y vigilancia de las posibles servidumbres acústicas pueden ser realizadas con el mismo personal e instrumentación con el que se obtienen los mapas acústicos.

#### **4.2.1.3. Delimitación de áreas acústicas**

Puesto que la delimitación de las distintas áreas acústicas se debe realizar exclusivamente por criterios de usos urbanísticos, en este trabajo debe estar presente un urbanista.

Es un error frecuente el reducir la extensión de las áreas acústicas para que en su ámbito exista un solo uso urbanístico; las áreas acústicas deben ser lo más extensas posible, porque con ello se obtiene un triple beneficio:

- 1) Que en ellas coexistan usos compatibles, con lo que se favorece el correcto funcionamiento de la ciudad
- 2) Se obliga a disponer de una mayor protección acústica a las actividades potencialmente contaminadoras por ruidos ubicadas en áreas acústicas sensibles.
- 3) Se reducen los efectos fronteras entre áreas colindantes con diferentes exigencias acústicas, con lo que se reduce la necesidad de aplicar planes de acción.

Para mantener este criterio de áreas acústicas extensas, es necesario en ocasiones estudiar si es más beneficioso, en el sentido de facilitar la resolución de un problema, incluir dentro de un área acústica un espacio con un uso acústicamente incompatible con el del área, o reducir la extensión de ésta. En estos casos habrá que realizar un estudio de costos/beneficios de las distintas alternativas para tomar la decisión más beneficiosa desde el punto de vista acústico.

#### **4.2.1.4. Delimitación de ZPAE, ZSAE y Zonas Tranquilas**

Disponiendo de los mapas acústicos generales y específicos, la pura delimitación de las Zonas de Protección Acústica Especial, de las Zonas de Situación Acústica Especial y de las Zonas Tranquilas, no deja de ser un simple trabajo de reflejar en planos su delimitación.

Otra cosa es su declaración que lógicamente deberá realizarse mediante aprobación en Pleno Municipal, conjuntamente con un Plan de Acción Específico encaminado a la mejora de los niveles sonoros.

#### **4.2.1.5. Planes de Acción**

Hay que distinguir entre Planes de Acción y Planes de Acción Específicos. Los primeros tienen tres cometidos claramente marcados en el artículo 23 de la Ley 37/2003:

- a) Afrontar globalmente las cuestiones concernientes a la contaminación acústica en las áreas acústicas
- b) Determinar las acciones prioritarias a realizar en caso de superación de los valores límites de emisión o inmisión o de incumplimientos de los objetivos de calidad acústica
- c) Proteger a las zonas tranquilas en las aglomeraciones y en campo abierto contra el aumento de la contaminación acústica.

Es decir, son Planes de largo alcance, que deberán contener medidas aplicables a la casi totalidad del territorio, que pueden contener desde la necesidad de disponer de un servicio técnico especialmente dedicado al control de la contaminación acústica, hasta acuerdos permanentes de dotación presupuestaria destinada a este fin.

Dichos Planes deberán ser aprobados provisionalmente, con trámite de información pública por un período mínimo de un mes (art. 22). En el caso de alegaciones admitidas, deberá modificarse, para su aprobación definitiva. De igual forma deberán revisarse siempre que se produzca un cambio substancial de la situación existente en el momento de su declaración, y, en todos los casos, cada cinco años a partir de su aprobación (art. 24).

Los Planes de Acción Específicos se definen en el artículo 25 de la citada Ley, y tienen como finalidad contener las medidas correctoras que deben aplicarse a los emisores acústicos y a las vías de propagación.

En un Plan de Acción, ya sea genérico como específico, deben intervenir prácticamente todas las áreas municipales, desde especialistas en construcción, especialistas acústicos, en movilidad urbana, urbanistas, economistas y los servicios jurídicos que den forma legal al Plan.

Para la definición del Plan de acción será necesario disponer de herramientas informáticas capaces de determinar a priori los beneficios de cada una de las actuaciones contenidas en el Plan y su eficacia una vez adoptadas.

#### **4.2.1.6. Comprobación de emisores acústicos fijos**

En todos los Ayuntamientos en los que existen servicios de control de la contaminación acústica, las tareas de control de los emisores acústicos conllevan un porcentaje muy importante de su tiempo.

El control de los emisores acústicos debe realizarse en distintas etapas:



- a) Estudiando la documentación incluida en los proyectos que se presentan a la hora de solicitar las correspondientes Licencias o Permisos
- b) Comprobando que la ejecución de la obra una vez concluida se ajusta a las condiciones especificadas en el correspondiente proyecto
- c) Atendiendo a las reclamaciones de los vecinos

Para las dos primeras funciones solo será necesario disponer de personal técnico especializado en acústica, con conocimientos suficientes de cálculo y diseño de sistemas de aislamiento y acondicionamiento acústico, y tratamiento de vibraciones.

Por el contrario, para la tercera función, además de un técnico en acústica, un ayudante técnico, es preciso disponer de la instrumentación siguiente:

- Sonómetro tipo 1/clase 1
- Calibrador sonoro tipo 1/clase 1
- Equipo de vibraciones tipo 1/clase 1
- Máquina de impactos
- Equipo de medida de aislamiento a ruido aéreo
- Vehículo

El sonómetro deberá ser capaz de medir preferentemente de forma simultánea en dBA, dBC, impulso y determinar el espectro en tercios de octava.

#### **4.2.1.7. Comprobación del cumplimiento del CTE DB-HR Protección frente al ruido**

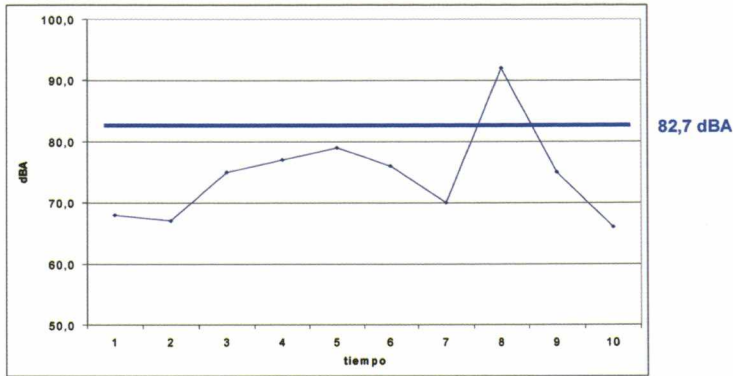
La obligatoriedad de aplicar el Documento Básico Protección frente al Ruido del CTE, DB-HR, a partir del 24 de abril de 2009, y la previsible obligatoriedad de comprobación de su cumplimiento, en función de la legislación aplicable (de Comunidades Autónomas, Ayuntamientos, etc.), mediante mediciones “in situ”, del edificio totalmente acabado, incluyendo las instalaciones, supone disponer de los mecanismos necesarios que lo garanticen, previo a la concesión de las correspondientes autorizaciones para su utilización.

El personal e instrumentación precisos serán los mismos que se utilicen para el control de los emisores acústicos fijos, con la única modificación de que se deberá disponer de un sistema de elevación de los equipos precisos a las distintas alturas en las que se deban realizar las mediciones, que perfectamente puede ir incorporado al vehículo incluido en el apartado anterior.

#### **4.2.1.8. Control de vehículos**

Con mucha frecuencia se indica que en el tráfico está el emisor acústico predominante en los niveles sonoros ambientales urbanos, y no deja de ser cierto en una gran mayoría de los espacios acústicamente contaminados de las ciudades. Pero el tráfico es en sí mismo un emisor acústico constituido por innumerables emisores individuales, cada uno de ellos con unas características específicas y su nivel de emisión global está fuertemente influenciado por los vehículos más ruidosos.

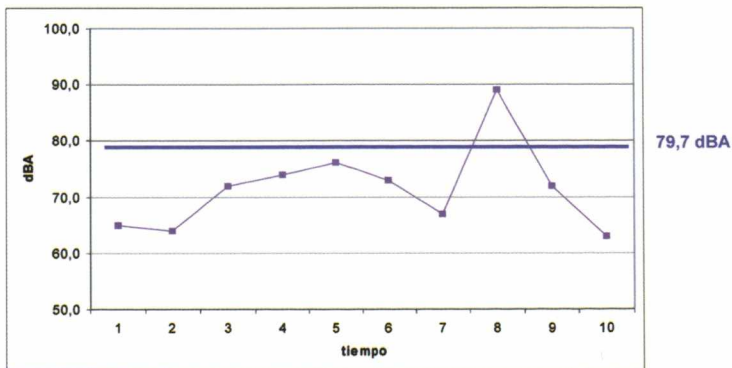
En las Figuras 4.2 a 4.4, que se presentan a continuación, se estudia la incidencia de vehículos especialmente ruidosos.



**Figura 4.2. Tráfico normal con vehículo ruidoso**

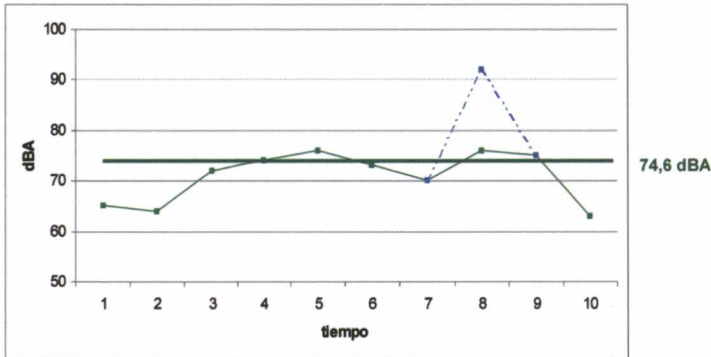
La Figura 4.2 representa la variación temporal del ruido generado por el tráfico, medido a la altura de un semáforo. La gráfica se inicia con el semáforo en rojo, con lo que los vehículos se encuentran parados y con el motor al ralentí; cuando el semáforo se pone verde, los vehículos aceleran y lógicamente el nivel de ruido se incrementa, hasta que por la línea del micrófono comienzan a pasar los vehículos que ya han cambiado a segunda velocidad (tiempo 6-7), con la consiguiente reducción del número de revoluciones y de nivel de ruido; y a continuación (tiempo 8) circula un vehículo especialmente ruidoso. El Nivel sonoro continuo equivalente de todo el episodio resulta ser de 82,7 dBA.

En la Figura 4.3 se presenta la misma evolución en el caso de que por el mismo punto pasasen la mitad de vehículos, a la misma velocidad y en las mismas condiciones, como consecuencia de la adopción de medidas de templanza de tráfico. En este supuesto los niveles de ruido se reducirían en 3 dBA por pasar la mitad de emisores acústicos. En consecuencia su nivel sonoro equivalente sería de 79,7 dBA.



**Figura 4.3. Tráfico normal con vehículo ruidoso y medidas de templanza**

En la Figura 4.4 se representa el supuesto de un tráfico igual al del gráfico 1, pero en el supuesto de que no hubiera circulado el vehículo ruidoso. En este supuesto el nivel sonoro continuo equivalente de todo el episodio sería de 74,6 dBA.



*Figura 4.4. Tráfico normal sin vehículo ruidoso*

Es decir, que con una medida de templado de tráfico muy importante (reducción del 50% de los vehículos circulando) se puede producir una reducción en los niveles sonoros de la zona de “tan solo” 3 dBA, mientras que eliminando el vehículo ruidoso la disminución de los niveles ambientales sería de 8,1 dBA.

Por esta razón, la vigilancia y, fundamentalmente la corrección, de los vehículos especialmente ruidosos, debería ser acción prioritaria de los ayuntamientos.

Para el control de los vehículos ruidosos es necesario disponer de:

- Un sonómetro, de tipo 1/Clase 1
- Un trípode
- Un tacómetro
- Lugar adecuado para la medida.

Conforme a la legislación vigente, el espacio destinado al control del ruido de vehículos debe reunir las condiciones siguientes:

- Las mediciones se efectuarán con el vehículo vacío y en una zona despejada y suficientemente silenciosa (ruido ambiente y ruido del viento inferiores, al menos, en 10 dBA con respecto al ruido que deba medirse).
- Dicha zona deberá constar de un espacio abierto de 50 m de radio cuya parte central deberá ser prácticamente horizontal en un radio mínimo de 20 m y estar revestida de hormigón, asfalto o material similar y en ningún caso cubierto de nieve en polvo, hierbas altas, tierra blanda o ceniza.

En relación con el personal se necesita un Técnico especialista en instrumentación acústica y un auxiliar técnico.



#### 4.2.1.9. Tramitación de expedientes

Para la tramitación de los expedientes correspondientes, se precisa de una infraestructura administrativa ágil y capaz de realizar los, desgraciadamente, complicados trámites administrativos. Deberá disponerse de Administrativos y Auxiliares Administrativos, además del correspondiente Servicio Jurídico.

#### 4.2.1.10. Dimensionado del Servicio

Para un cálculo del dimensionado de un servicio de control de la contaminación acústica, capaz de realizar la totalidad de funciones que, de alguna manera deberían realizar los Ayuntamientos, se ha partido de servicios de control de la contaminación acústica existentes en ciudades, nacionales y europeas. Conforme a dicho estudio, se obtienen los ratios siguientes:

Personal:

Técnico Acústico plena dedicación (p/d):	1 por cada 125.000 habitantes.
Auxiliar Técnico	1 por cada técnico con p/d.
Arquitecto Urbanista	1 por cada 300.000 habitantes.
Especialista informático	1 por cada 250.000 habitantes.
Especialista en GIS	1 por cada 1.000 km <sup>2</sup> de extensión.
Policía Municipal especialista	1 por cada 125.000 habitantes.
Conductor	1 por cada Técnico con p/d.
Jurídico	1 por cada 250.000 habitantes.
Administrativo	1 por cada 75.000 habitantes.
Auxiliar Administrativo	2 por cada Técnico con p/d.

Instrumentación:

Sonómetro para reclamaciones	1 por cada Técnico Acústico (p/d).
Sonómetro para vehículos	1 por cada 125.000 habitantes.
Tacómetro	1 por cada 125.000 habitantes.
Equipo de vibraciones	1 por 250.000 habitantes.
Equipo de medida de aislamiento	1 por cada 300.000 habitantes.
Máquina de ruidos de impacto	1 por cada 300.000 habitantes.
Vehículo	1 por cada Técnico en Acústica.
Sistema elevador	1 por cada 300.000 habitantes.

#### 4.2.2. Sistemas de control permanentes

Como ya se ha indicado anteriormente, la legislación vigente exige un control permanente de los niveles sonoros ambientales en las ciudades, tanto para evitar su aumento, como para comprobar la eficacia de los Planes de Acción.

La utilización de herramientas informáticas para esta función, siendo un procedimiento aceptado, no es el más eficaz de los posibles por su dificultad de modelizar muchos de los emisores acústicos urbanos y por

su escasa agilidad. Surge así la necesidad de utilizar mecanismos de control que faciliten información permanente y que permita evaluar más correctamente las afecciones acústicas urbanas.

Con esta finalidad se comienzan a instalar Redes de Control de la Contaminación Acústica en ciudades, que permiten cumplir con los requisitos anteriormente indicados, ya que proporcionan de forma permanente niveles sonoros ambientales realmente medidos.

La utilización de estos sistemas no debe suponer el abandono de las herramientas informáticas, dado que éstas son las únicas que nos pueden proporcionar previsiones de la eficacia de las posibles medidas que se puedan diseñar dentro de los planes de acción.

Dentro del concepto de redes de control, se pueden distinguir dos tipos:

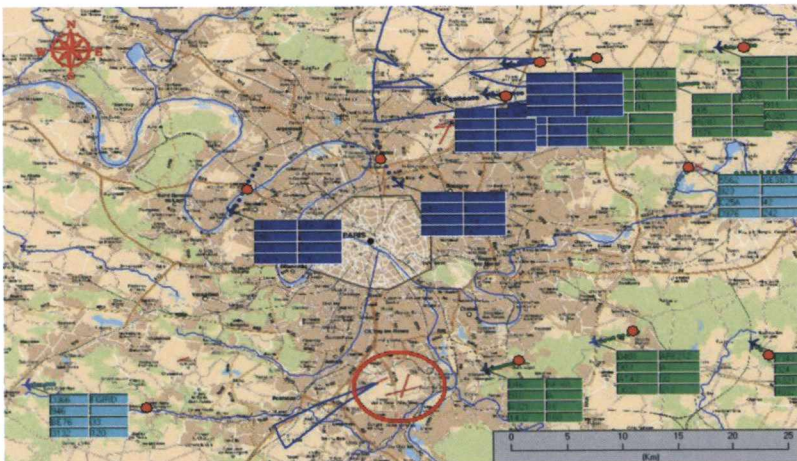
- a) Redes permanentes
- b) Redes móviles

#### 4.2.2.1. Redes permanentes

Las primeras redes de control de niveles sonoros ambientales se instalaron en los alrededores de aeropuertos, con el objetivo de controlar que las aeronaves operaban siguiendo los procedimientos establecidos y mantenían las trayectorias de vuelo reglamentarias. Suponía una función de policía que permitiera sancionar los incumplimientos establecidos, controlando fundamentalmente los posibles “sucesos sonoros” (superación de un límite del nivel de presión sonora, durante un tiempo superior al establecido).

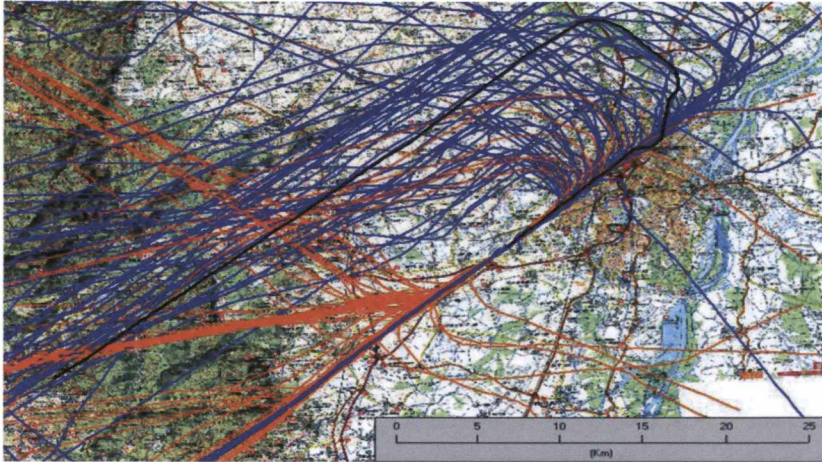
Consisten en una serie de micrófonos situados en puntos estratégicos especialmente afectados por las rutas aéreas, cuya información era almacenada y transmitida a una estación central.

Las estaciones de medición se sitúan siguiendo las trayectorias de vuelo, tanto de despegues como de aterrizajes.



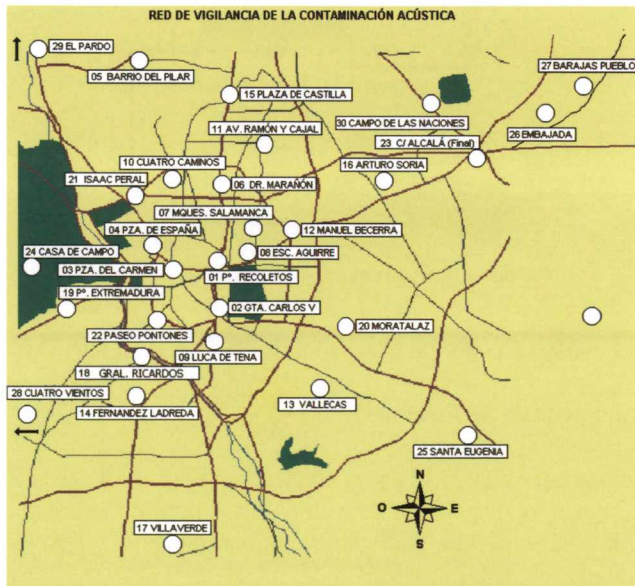
*Figura 4.5. Esquema de la Red de Control del aeropuerto de Orly*

Una vez almacenada la información en la Estación Central, se correlacionaba los datos obtenidos, con la información proporcionada por los registros radar de los distintos movimientos de las aeronaves, y podía detectarse cuál de ellas había cometido algún tipo de infracción.



**Figura 4.6.** Correlación niveles sonoros-registros radar. Aeropuerto de Orly

Siguiendo estas experiencias, el Ayuntamiento de Madrid decide en el año 1994, montar una Red Piloto, constituida por seis estaciones, que permitiera determinar los niveles sonoros ambientales en tiempo real y de forma permanente. Comprobada la eficacia del sistema, se fue ampliando hasta alcanzar a día de hoy las 31 estaciones fijas.



**Figura 4.7.** Actual Red de Control del Ayuntamiento de Madrid

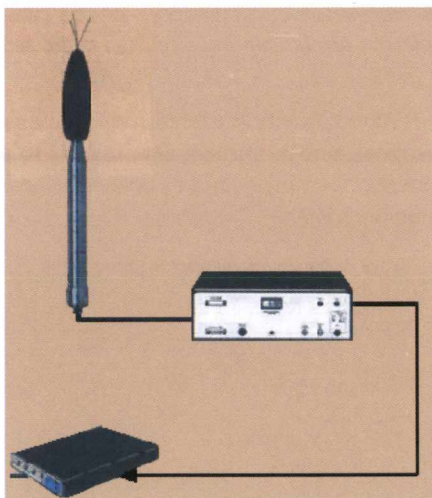


Esta experiencia ha sido seguida por otras ciudades, y puede decirse que actualmente supone el procedimiento más utilizado para controlar los niveles ambientales urbanos.

El esquema de funcionamiento de las redes permanentes de control de ruido ambiental es similar al indicado para las redes de control de aeropuertos: una serie de estaciones remotas de medida, situadas en puntos acústicamente representativos de la ciudad, directamente conectadas a una estación central que almacena la información.

Las estaciones remotas deben disponer de la instrumentación siguiente:

- Un micrófono intemperie Omnidireccional provisto de pantallas antiviento y antipájaros.
- Un analizador que permita obtener datos del  $L_{Aeq}$  cada segundo, una capacidad de almacenamiento de datos de, al menos, una semana y capaz de calcular, entre otros, los índices acústicos:  $L_n$ ,  $L_{día}$ ,  $L_{noche}$ ,  $L_{24h}$ ,  $L_{den}$ . En algunos casos es interesante que, además, disponga de registro audio y espectro de frecuencia, con el fin de determinar el origen de posibles episodios acústicos especialmente ruidosos.
- Un modem de telefonía RDSI.



*Figura 4.8. Esquema de una estación remota*

La estación central está constituida por un ordenador de Gestión y un Servidor.

El Ordenador de Gestión tiene como funciones:

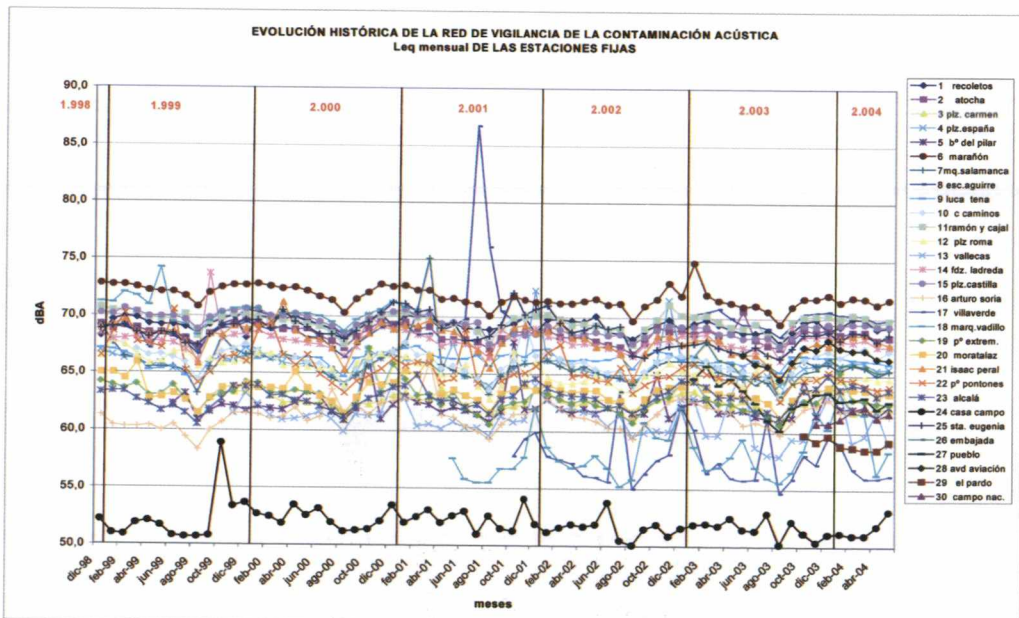
- Realizar las llamadas programadas. A la hora prevista se inicia el proceso de llamadas a cada una de las estaciones remotas; se dispone de un protocolo que permita, en caso de incomunicación o de interrupción de la comunicación, llamar a la siguiente estación y posponer al último lugar la estación con dificultades de comunicación.
- Deberá poder realizar llamadas forzadas en tiempo real a cualquiera de las estaciones remotas.

- Calibración de cada una de las estaciones. Esta función es fundamental en las redes de control permanente. Una red que no permita una calibración periódica es una red muy poco fiable. Es conveniente realizar, al menos cuatro calibraciones diarias que aseguren la correcta obtención de los datos de partida, sin esa seguridad la información facilitada por la red no tendrá la fiabilidad necesaria

Las funciones del Ordenador Servidor son:

- Validar los datos. Hay que indicar que la validación de los datos consiste, no en corregir algún valor discrepante, sino en determinar cuál es la razón que origina dicha discrepancia. Para esta función es muy útil los registros audio y los del espectro en frecuencia del episodio. Una vez determinado el origen, deberá mantenerse el valor perfectamente referenciado con su origen.
- Calcular los datos finales, a partir de los valores de cada una de las estaciones.
- Elaborar los informes correspondientes.
- Mantener la base de datos general.

A continuación se presentan, a título informativo, los datos de la red de Madrid entre los años 1999 y el 2004.



**Figura 4.9. Datos de la Red de Madrid (1999-2004)**

Como se puede observar, durante el año 2001 se producen dos picos especialmente altos, ambos corresponden a la Estación Escuelas Aguirre, situada en el jardín de dicha institución y en las proximidades de una reja de hierro forjado; tanto la edificación como la reja están catalogados: En

el año 2001 se realizaron obras de mantenimiento y acondicionamiento de todo el recinto y la reja fue limpiada mediante chorro de arena, origen de los niveles especialmente elevados. Como se puede comprobar, a pesar de que el origen no puede considerarse como habitual, el dato no se ha corregido, pero se ha referenciado.

Normalmente las Redes de Control permanentes se instalan en casetas especialmente diseñadas y que pueden perfectamente ser compartidas con otras redes de control, como puede ser el control de la contaminación atmosférica e incluir la instrumentación necesaria para determinar las variables meteorológicas.



*Figura 4.10. Estación remota de la Red de Madrid (1999-2004)*

#### **4.2.2.2. Redes móviles**

Las redes de control permanentes pueden complementarse con redes móviles que permitan controlar temporalmente determinados ámbitos afectados por modificaciones substanciales, o evaluar reclamaciones de vecinos contra las afecciones originadas por emisores variables en el tiempo.

Su funcionamiento y su instrumentación son exactamente iguales que en el caso de estaciones fijas, sin más diferencia que en lugar de estar instaladas en una estación, se montan en una maleta intemperie que garantice su estanqueidad.



*Figura 4.11. Estación móvil de la Red de Madrid (1999-2004)*



El control de funcionamiento y la transmisión de los datos pueden ser llevados en la misma estación central que la red de estaciones fija, o directamente por un ordenador destinado específicamente a ellas, de las mismas características.

Este tipo de redes es especialmente útil para el seguimiento de obras, la comprobación de la eficacia de las medidas correctoras efectuadas dentro de un plan de acción, o el estudio preoperacional de nuevos desarrollos urbanísticos.

#### 4.2.2.3. Instalaciones auxiliares

Algunos Ayuntamientos, con capacidad y con larga trayectoria en el control de la contaminación acústica ambiental, disponen de algunas otras instalaciones complementarias, entre las que se pueden citar: Centros de Control de ruidos de vehículos y de medida de potencia sonora de maquinaria de uso al aire libre.

Los Centros de Control de vehículos deben disponer de instalaciones mucho más complejas que las simples instalaciones de controlar vehículos especialmente ruidosos, mediante la prueba a vehículo parado. En ellas se realizan los mismos controles que son necesarios, conforme a las Directivas Europeas, para la homologación de vehículos: prueba a vehículo parado y prueba de vehículo en marcha. Para la prueba de vehículos en marcha se precisa de una pista de pruebas de al menos 750 m de longitud, dotada de una capa de rodadura específica y un sistema de radar para controlar la velocidad de paso del vehículo por la línea de medición.



*Figura 4.12. Medida de potencia sonora*

Para la medida de la potencia sonora de maquinaria de uso al aire libre se precisa de un conjunto de diez micrófonos, colocados de tal manera que conforme una semiesfera de dimensiones proporcionales a la mayor dimensión del emisor, sobre una plataforma igualmente dotada de una capa asfáltica específica.

Estas instalaciones son complementarias, pero en ningún caso imprescindibles para un buen control de la contaminación acústica urbana.

### 4.3. Planes de control específicos

En el Capítulo 3. *Mapas Estratégicos de Ruido y Planes de acción*, ya se ha explicado cuáles pueden ser las actuaciones contra el ruido, y los contenidos generales de los Planes de Acción, conforme a la legislación dimanada de la Directiva 2002/49/CE. Corresponde ahora realizar un pequeño recorrido por lo que podría ser un Plan Específico de reducción de los niveles sonoros ambientales, aunque también se hará referencia a acciones que deberían incluirse en todas las actuaciones municipales destinadas a este fin.

En primer lugar, hay que tener muy claro que la ciudad en sí misma no genera contaminación acústica, la generamos sus habitantes en nuestra actividad diaria. Luego los habitantes de las ciudades y su actividad diaria son la componente principal del problema. Hay que concienciar a los ciudadanos de que la contaminación acústica es un problema de todos y todos deben colaborar en su resolución.

Desgraciadamente la “educación acústica” ha estado especialmente olvidada en este país, y este olvido se produce a todos los niveles, desde la educación cívica a la educación reglada, lo que ha producido una importante escasez de profesionales especialistas en este campo.

Afortunadamente se está observando un cambio esperanzador con la aparición de Másteres específicos en el campo de la contaminación acústica, que podrán reducir el déficit de técnicos cualificados, sin olvidar también en este aspecto la colaboración de la Sociedad Española de Acústica por mejorar la educación acústica en los escolares con la publicación de las Unidades Didácticas. Todo esfuerzo realizado en educar a los jóvenes es un ahorro importante de recursos en un futuro inmediato.

La concienciación del ciudadano, mediante campañas informativas-formativas, sí que debería formar parte de los planes específicos de cualquier actuación municipal ambiental.

A continuación, y a título orientativo, se hace un resumen de la campaña de concienciación realizada por el Ayuntamiento de Madrid durante los años 2002-2003, incluida en el Plan Estratégico de Reducción de la Contaminación Acústica.

Los dos objetivos de la campaña, ambos incluidos en el Libro Verde del Ruido de la UE, fueron:

- Avanzar en la formación e información de los ciudadanos sobre la contaminación acústica.
- Tratar de modificar sus hábitos de conducta en relación con ella

Se planificó la campaña en dos vertientes diferentes, la primera orientada a la población escolar y Asociaciones de Vecinos y la segunda dirigida al resto de la población, con un eslogan común:

“ssshhh.....escucha.....controla tu ruido.....”

y con las mismas imágenes de Cibeles y Neptuno, solicitando nuestra colaboración.



**Figura 4.13. Campaña de Concienciación Ciudadana (Ayuntamiento de Madrid)**

La campaña se concretó en póster situados en el mobiliario urbano, en faldones de los principales periódicos y en cuñas en las principales cadenas de radio de Madrid. De igual forma, mediante grupos de mimos, se informaba a los peatones de la campaña.



**Figura 4.14. Acciones en el exterior de la Campaña de Concienciación Ciudadana (Ayuntamiento de Madrid)**

En las Juntas de Distrito se realizaron charlas informativas, a las que eran especialmente invitadas las Asociaciones de Vecinos, sobre derechos y obligaciones de los ciudadanos frente a esta forma de contaminación; de cómo presentar reclamaciones cuando se ven perjudicados y de los servicios municipales existentes para atenderlas.

En relación con la campaña dirigida a escolares, un grupo de mimos, especialmente preparados para esta función, visitaron más de 340 colegios, en los que mediante juegos interactivos motivaban a los alumnos a respetar el silencio y le animaban a presentar trabajos sobre la contaminación acústica. Se



presentaron más de mil trabajos y al colegio que presentó en mejor trabajo colectivo se le premió con 6.000 euros en material informático.

Para que estas campañas proporcionen los resultados deseados, deben prolongarse en el tiempo, más allá de dos años, no solo para que los alumnos no olviden los mensajes, también para que los colegios asuman como suya la educación acústica.

La eficacia de esta campaña evaluada por especialistas inmediatamente después de su conclusión, fue considerada como aceptable, pero necesaria su continuidad en el tiempo. Lo que sí se pudo observar fue una mejora importante en el procedimiento para presentar denuncias originadas por ruidos, facilitando el trabajo de los servicios técnicos municipales.

Entrando en los Planes Específicos propiamente dichos, hay que hacer una salvedad previa: como ya se ha indicado, los mapas acústicos, que por mandato de la Directiva 2002/49/CE están obligados a hacer las Administraciones Locales, no reflejan con la suficiente exactitud los niveles acústicos reales existentes en las ciudades. Existen multitud de situaciones originadas por fuentes sonoras especialmente molestas para los ciudadanos, que no quedarán reflejadas en dichos mapas, por realizarse generalmente mediante modelos de cálculo y no por mediciones. En consecuencia, el primer punto de un Plan Específico es realizar un mapa acústico de la zona, casi siempre mediante el procedimiento de medición directa, en el que quede reflejado:

- a) La afección acústica “real”
- b) Los emisores acústicos que originan dicha afección
- c) Los períodos de máxima afección
- d) La delimitación de la zona objeto del Plan
- e) El número de personas afectadas

Y cualquier otra circunstancia que permita con posterioridad definir las medidas correctoras a incluir en él.

Para poder reflejar fielmente la afección acústica a los vecinos y previamente a la realización del mapa, habrá que definir, al menos la adecuación de los índices acústicos a utilizar y su ámbito de aplicación.

#### **4.3.1. Adecuación de los índices acústicos**

Una vez determinada la necesidad de adoptar un Plan de Acción como consecuencia de afecciones acústicas detectadas, bien a través de los Mapas Estratégicos, bien por acumulación de denuncias de los ciudadanos o por estudios acústicos específicos, es absolutamente necesario definir un índice acústico que se ajuste al problema real.

No resulta eficaz utilizar, por ejemplo el  $L_d$ ,  $L_e$ , o  $L_n$ , para evaluar una afección que se produce por un emisor acústico que funciona de una forma intermitente, pues al evaluar a largo plazo puede perfectamente cumplir con los índices de calidad acústica correspondiente al área acústica en que se encuentra instalado, pero durante su funcionamiento afecta gravemente a los vecinos.

Nos estamos refiriendo a emisores acústicos sin titularidad definida por estar constituidos por múltiples emisores acústicos elementales, por ejemplo el tráfico de acceso a eventos deportivos o espectáculos públicos, la acumulación de gente practicando el botellón, etc.

En estos casos, si evaluamos con dichos indicadores anuales o incluso diario, la afección real puede quedar enmascarada con los periodos horarios en los que dicho fenómeno pierde virulencia y consecuentemente los niveles sonoros descienden.

Es pues necesario definir índices apropiados al problema planteado y la legislación lo permite. Hay que tener en cuenta que la Administración Local, además de cumplir con las exigencias de la legislación dimanada de la Directiva 2002/49/CE, debe atender, con prioridad, las reclamaciones de los vecinos y adoptar o hacer adoptar las medidas correctoras necesarias para evitarlas.

### **4.3.2. Definición de los ámbitos de aplicación**

Cuando se decide definir un Plan de Actuación Específico, una vez determinada la extensión de la zona realmente afectada y el origen de las afecciones, se debe estudiar con detenimiento si las medidas que se deben adoptar deben limitarse a la zona afectada, o si es necesario tomar alguna medida complementaria para evitar el efecto frontera.

Un ejemplo: cuando en los años 70 se definen y delimitan en Madrid las llamadas Zonas Ambientalmente Protegidas (ZAP), como consecuencia de la excesiva concentración de locales de pública concurrencia y funcionamiento nocturno, fundamentalmente bares de copas, y se adoptan medidas mucho más restrictivas para las actividades existentes y la casi prohibición de nuevas licencias para este tipo de actividades en la zona, se produjo el llamado fenómeno frontera y en las calles límites de la ZAP y en las próximas, volvieron a solicitarse multitud de licencias para estas actividades, dado que la zona ya tenía una fuerte atracción para el público.

Los Planes de Acción Específicos no deben limitarse a la zona realmente afectada, hay que definir medidas complementarias que impidan dicho fenómeno en las zonas limítrofes. Estas medidas complementarias son, generalmente, medidas de control y administrativas.

### **4.3.3. Definición y ejecución de las actuaciones**

No resulta fácil definir a priori las actuaciones necesarias para los Planes de Actuación Específicos, puesto que las mismas son función del emisor acústico que origina las afecciones.

Pero con independencia del origen, las medidas para reducir las afecciones acústicas deben dirigirse en primer lugar a reducir las emisiones sonoras; si con ello no fuera suficiente, a evitar o dificultar su propagación y como última alternativa a proteger al receptor. De estas tres etapas la más eficaz es la primera.

No quiere decir que en todas las ocasiones sea preciso adoptar medidas en las tres etapas, pero sí es necesario saber que se puede actuar en todas ellas.

El documento por el que se debe aprobar un Plan de Actuaciones Específico, debe llevar incorporado, como en cualquier otro Plan de Actuación, los documentos siguientes:

- Relación de actuaciones previstas
- Plazo de ejecución de las mismas
- Costo económico
- Número de personal beneficiadas por la aplicación del Plan
- Evaluaciones coste/beneficios y coste/eficacia
- Sistemas previstos para el control de la ejecución

Esta información es realmente importante, fundamentalmente para evitar actuaciones muy poco eficaces. Hay un ejemplo reciente especialmente alarmante. Se ha instalado en una vía de acceso a una ciudad española, una pantalla acústica de más de 100 m de longitud y cerca de 4 m de altura, para proteger una zona universitaria de los efectos acústicos de la circulación por dicha vía. Una vez construida, se ha comprobado que su eficacia se resume en el descenso de menos de un decibelio en el período diurno y de un decibelio escaso en el período nocturno, precisamente cuando las instalaciones están cerradas.

Es muy probable que la instalación de dicha pantalla haya sido exigida por alguna administración, excesivamente legalista y con poca perspectiva, pero parece un error importante, cuando el dinero invertido en esa actuación pudiera ser empleado en casos realmente importantes y con una verdadera eficacia.

A continuación se hace una pequeña referencia a las posibles medidas que se pueden adoptar, en función del origen de las afecciones.

#### **4.3.3.1. Medidas encaminadas a reducir las afecciones originadas por el tráfico rodado**

No cabe duda que el emisor más común en la ciudad es el tráfico urbano y, como ya se ha indicado en el apartado 2.1.8 de este capítulo, la gran influencia que en los niveles sonoros por él originados tienen los vehículos especialmente ruidosos.

Además, el ruido generado por los automóviles está directamente relacionado con la velocidad de circulación, a velocidades bajas, como son las correspondientes al tráfico específicamente urbano, el ruido dominante es el del motor. A medida que aumenta la velocidad, empiezan a tener importancia el ruido de rodadura y el aerodinámico.

Las medidas encaminadas a reducir la influencia del tráfico en el nivel sonoro ambiente, se pueden resumir en:

**Reducción de la velocidad.** Como ya se ha indicado, reducir la velocidad supone una reducción de las emisiones totales del vehículo cuando en él intervienen los ruidos de rodadura y el aerodinámico, pero en el tráfico urbano, en el que las velocidades medias de circulación son realmente bajas, la importancia de la velocidad es realmente escasa. Otra cosa es que el ruido del motor, componente



dominante en este tipo de tráfico, esta directamente ligado al número de revoluciones del motor, en consecuencia la medida más eficaz sería concienciar a los conductores de que deberán circular utilizando las marchas más altas posibles.

Dado el poco respeto que en España se tiene hacia las señales de limitación de velocidad, una medida que se podría experimentar es la utilización de una señalización específica para aquellas zonas especialmente sensibles al ruido, que indique que se circula por una zona acústicamente sensible y que pudiera representar la conveniencia de circular despacio y con marchas altas. Quizás cambiando la mentalidad de que la limitación a la velocidad está motivada por el riesgo de accidentes o por afán recaudatorio de los Ayuntamientos por la de “molestia” a un vecindario especialmente sensible, pudiera tener algún resultado.

Otra medida utilizada en algunos casos, son las calzadas con aceras al mismo nivel, haciendo desaparecer esa sensación de uso exclusivo de la calzada, que obliga al conductor a compartir el espacio con los peatones originando una reducción de velocidad.

**Adecuación de la capa de rodadura a las características del tráfico.** La modificaciones en las capas de rodadura pueden reducir sensiblemente la componente correspondiente a la interacción del neumático con la calzada, y muy ligeramente el ruido de motor, al reducir las reflexiones sobre la calzada en aquellos vehículos que no disponen de carcasa inferior del motor. Afortunadamente cada vez son menos los vehículos que no disponen de este mecanismo, pero aún existen algunos camiones carentes de ella.

La adecuación del tipo de capa de rodadura a la velocidad de circulación siempre debe tenerse en cuenta. No se debe cometer el error, muy frecuente últimamente, de proporcionar a las calles puramente urbanas asfaltos silenciosos, pues con ello lo único que se reduce es el ruido de rodadura, componente minoritario en el ruido de tráfico urbano. Estas medidas resultan ineficaces y son económicamente más costosas.

Aunque *a priori* parece una contradicción, una buena solución es el adoquinado de las calles. Cuando se circula por una calle adoquinada, instintivamente se reduce la velocidad y, consecuentemente las revoluciones del motor, al aumentar sensiblemente las vibraciones en el interior del vehículo, sin que el aumento del ruido de rodadura afecte al ruido total del vehículo. Se entiende que el adoquinado debe ser un adoquinado carente de grandes irregularidades.

**Reducción del espacio destinado al vehículo, en beneficio del espacio destinado al peatón.** Los mayores problemas del ruido de tráfico en las ciudades se circunscriben a espacios urbanos densamente poblados, de uso urbanístico dominante residencial, pero mezclado con usos comerciales y de ocio con gran atracción de público ajeno a la zona, generalmente bien dotados de medios de transporte colectivo, pero en los que el uso del transporte privado sigue siendo mayoritario.

Para disminuir la utilización del vehículo privado resulta eficaz aumentar el espacio destinado al peatón, en detrimento del destinado al vehículo en sus dos vertientes, la de circulación y la de aparcamiento. Transformar calles con más de un carril de circulación, en calles de uno solo, produce dos efectos beneficiosos, se reduce la velocidad y se evita la doble fila de aparcamiento, verdadero

foco ruidoso. Si además se dificulta la facilidad de aparcamiento, mediante la utilización de parquímetros, los niveles sonoros se ven muy favorecidos.

Estas medidas se han adoptado en el Plan de Reducción de Niveles Sonoros del Distrito Centro, consiguiéndose reducciones de más de 7 dBA.

Dentro de este apartado, se puede incluir la peatonalización de calles como medida eficaz, siempre que la desaparición de los vehículos no suponga la conquista de ese espacio para actividades de ocio, reunión o sala de ensayos de músicos ambulantes. Un paso intermedio puede ser la restricción del tráfico a todo vehículo no residente en la zona, con las convenientes excepciones para los vehículos de emergencia o de reparto y suministro de las actividades existentes.

**Prohibición horaria de acceso de vehículos ruidosos.** La prohibición de acceso de vehículos ruidosos a ámbitos sensibles al ruido puede ser una medida eficaz, tanto si es una prohibición total o sólo limitada a determinadas horas.

**Regulación del tráfico.** Es verdad que una circulación fluida reduce aquellos puntos de emisión sonora elevada como son el frenado y arranque de los vehículos, pero desgraciadamente en la ciudad es absolutamente necesario disponer, en la mayoría de las circunstancias, de una regulación mediante semáforos por lo que poco se puede hacer en este sentido, más allá de una buena sincronización.

Por otra parte se debería, desde el punto de vista acústico, reducir drásticamente la facilidad de circulación por vías secundarias o terciarias, transfiriéndolas hacia arterias principales. Con esta medida se produciría una muy importante reducción de los niveles sonoros ambientales en las vías restringidas al tráfico, mientras que no sería apreciable el incremento en la vía principal.

**Utilización de vehículos más silenciosos destinados a los servicios comunitarios.** Ya se ha mencionado con anterioridad la gran influencia de vehículos especialmente ruidosos en el nivel sonoro global producido por la circulación. En este sentido se deben incluir en todos los planes de acción medidas encaminadas a la utilización de vehículos menos ruidosos, como pueden ser:

- Utilización de vehículos más pequeños y silenciosos para la recogida de residuos sólidos y limpiezas en el ámbito de aplicación del plan de acción, por ejemplo, vehículos “satélites” que, una vez alcanzada su máxima capacidad, pueden descargar el contenido en espacios especialmente diseñados en camiones nodrizas.
- Fomentar o exigir en los concursos de adjudicación de los servicios de recogida de residuos sólidos la utilización de contenedores de cierre controlado de sus tapas, mediante sistemas hidráulicos.
- Fomentar o exigir en los concursos de adjudicación de los servicios la utilización de sistemas de recogida de vidrios no tan estrepitosos como los que simplemente sueltan la carga del contenedor en el camión de recogida.
- Exigir en los concursos de adjudicación un catálogo de buenas prácticas acústicas de obligado cumplimiento por el personal encargado de la recogida de cualquier residuo sólido urbano.
- Regular la recogida de escombros en el sentido de exigir la utilización de contenedores de tejido en lugar de contenedores metálicos.



- Utilización de microbuses en lugar de vehículos de mayor tamaño.
- Regulación del reparto de mercancías a los establecimientos de la zona en aquellas horas en que produzcan menor afección.

Conjuntamente a la aprobación de cualquier plan de actuación, es muy eficaz lanzar campañas de control de vehículos especialmente ruidosos. Generalmente los puntos de mayor afección acústica del tráfico son aquellos que contienen un tráfico más heterogéneo en cuanto a su composición y, en consecuencia, donde con mayor facilidad se pueden encontrar vehículos ruidosos.

#### **4.3.3.2. Medidas encaminadas a reducir las afecciones originadas por actividades**

Las afecciones acústicas originadas por las actividades, aunque no alcanzan en importancia a las originadas por el tráfico en extensión, son el foco más importante por el número de reclamaciones de los vecinos y, en consecuencia, deben ser prioritarias en la acción municipal.

El tratamiento de estas afecciones son, en principio, de más fácil resolución, ya que reúne dos condiciones específicas: la primera, que existe una titularidad clara del origen de la afección, el titular de la actividad, y la segunda, que su funcionamiento está directamente regulado por la correspondiente Licencia de Funcionamiento, y esta autorización puede ser modificada por razones debidamente justificadas, y conforme a la legislación vigente, sin derecho indemnizatorio alguno (art. 18.3 de la Ley 37/2003).

Hay que hacer una aclaración previa que en algunas ocasiones no se toma en consideración; cuando en una zona, por las razones que sean, generalmente la excesiva concentración de actividades, hay que redactar un plan de actuación, se debe entender que las actividades existentes en la zona ya cumplen todas ellas con las exigencias acústicas establecidas en la correspondiente ordenanza. Por tanto, y previamente a la redacción del plan, hay que comprobar que todas las actividades tienen un funcionamiento correcto. En caso contrario, la primera medida será exigir, a las actividades que no los cumplan, la adopción de las medidas correctoras precisas para un correcto funcionamiento, comprobar su eficacia una vez adoptadas y determinar si con su adopción persisten o no las razones que recomienden la redacción del plan de actuación.

Una vez comprobada la necesidad de adoptar un plan de acción, las medidas que deben quedar recogidas en él pueden ser de las características siguientes:

**Aumento de las exigencias acústicas establecidas como norma general a las actividades.** Con independencia de las condiciones acústicas que en el momento de la concesión de la licencia se hubieran establecido a la actividad, las exigencias pueden implementarse, bien con medidas complementarias, bien aumentando el grado de exigencia de las impuestas en su momento. Dentro del primer grupo se puede incluir la obligatoriedad de disponer de un vestíbulo acústico eficaz, como una medida que garantice que, en ninguna circunstancia, los ruidos generados en el interior de la actividad pueden transmitirse libremente por el acceso a la misma.

De igual forma, se puede exigir un mayor aislamiento de los cerramientos que limitan la actividad, con el fin de reducir los niveles transmitidos al exterior. El mismo efecto se puede conseguir mediante



la reducción de los niveles sonoros generados en el interior del local, bien reduciendo los niveles de emisión en el caso de disponer de equipos de reproducción sonora, o mejorando el acondicionamiento del local, adecuando el tiempo de reverberación a condiciones óptimas para el tipo de actividad.

La obligatoriedad de disponer de limitadores acústicos que garanticen que, en ningún momento, los niveles de emisión de los equipos de reproducción sonora superen los establecidos en las correspondientes licencias, puede ser una medida eficaz del control de funcionamiento, especialmente cuando, además de transmitir al exterior niveles elevados, también se producen molestias al vecindario a través de los elementos constructivos horizontales que separan la actividad de la vivienda afectada.

**Limitación de horarios de funcionamiento.** Algunas administraciones han optado por limitar el horario de funcionamiento de las actividades existentes en ámbitos sujetos a planes de reducción de niveles sonoros. En estos casos, se puede producir un efecto contrario al buscado cuando al cerrar todas las actividades al mismo tiempo, los usuarios de las mismas salen simultáneamente al exterior generando ruidos mucho más difíciles de controlar que cuando se encuentran en el interior del local. Tampoco resulta especialmente eficaz establecer un horario escalonado, porque a medida que se cierra un establecimiento de este tipo, los usuarios que salen del mismo, generalmente entran en los que permanecen abiertos.

Hay quien defiende que la medida acústicamente más eficaz sería la de no limitar el horario ya que, de esta forma, las actividades irían cerrando a medida que el público asistente decidiera voluntariamente poner fin a su permanencia en el local y el desalojo de la zona sería paulatino. Con esta solución se reduce el grado de contaminación acústica, pero las molestias se prolongan en el tiempo.

**Vigilancia del aforo de las actividades de pública concurrencia.** La limitación del aforo de un local al establecido por otras consideraciones también es apropiada para tratar de controlar los ruidos originados por la actividad. A mayor número de emisores acústicos (público asistente), indiscutiblemente mayor nivel sonoro en el interior del mismo.

Dentro de este punto, conviene hacer mención a un problema bastante frecuente en discotecas y es la existencia de una cola de acceso del local, bien porque se ha alcanzado momentáneamente el aforo máximo y el público espera a que se produzca alguna salida para acceder al interior, bien esperando la posibilidad de que les autoricen la entrada por otras razones. Hasta ahora este problema planteaba la disyuntiva de quién es el responsable de las molestias originadas por la gente en el exterior de la actividad. Los titulares de las actividades se defendían diciendo que el público está en el exterior y por tanto no es responsable de su comportamiento. Actualmente el problema parece estar resuelto, cuando la legislación vigente incluye los efectos inducidos dentro de la responsabilidad del titular del foco emisor (art. 24.2. RD 1367/2007). En consecuencia, los titulares de las actividades deberán establecer las medidas que consideren necesarias para evitar la permanencia de público en sus inmediaciones, pero con la intención de acceder a las mismas.

**Restricciones a la instalación de nuevas actividades.** En las zonas afectadas por Planes de Acción, se deberá prohibir la instalación de nuevas actividades dedicadas al mismo fin que las que han originado el problema de contaminación acústica.

Los planes de acción en el caso de actividades de pública concurrencia deben tener como filosofía reducir al máximo el número de actividades acústicamente problemáticas instaladas en la zona y fomentar el establecimiento de actividades menos contaminantes acústicamente.

#### **4.3.3.3. Medidas administrativas y complementarias**

También mediante medidas administrativas específicas aplicadas a zonas especialmente contaminadas se puede favorecerse la mejora de sus condiciones acústicas, aunque difieran de los criterios generales. Las situaciones de excesiva contaminación acústica se pueden considerar como casos excepcionales y, en consecuencia, pueden y en muchos casos precisan medidas excepcionales.

Conviene recordar que, en el caso de un ayuntamiento sin capacidad para disponer de ordenanza, ni de servicios técnicos, siempre existe la posibilidad de utilizar ordenanzas tipos redactadas por las Administraciones competentes - Comunidad Autónoma, Diputación, Ayuntamiento y éstas tienen la obligación de actuar por acción sustitutiva.

Normalmente las medidas administrativas se entienden como medidas coercitivas o sancionadoras, pero pueden resultar igual de eficaces las medidas administrativas dirigidas a facilitar la solución final. Por ejemplo, en el caso de que la afección venga originada por actividades ruidosas de funcionamiento nocturno, facilitar la reconversión, mediante incentivos económicos, a actividades de menor incidencia. O favorecer que dos pequeñas actividades adyacentes, se reconviertan en una con aforo igual a la suma de aforos de las dos existentes. Siempre una actividad genera, en el exterior, incidencias menores que dos.

En el caso de que el origen del problema consista en la existencia de niveles sonoros ambientales originados por el tráfico, en un área acústica de uso residencial, o en el caso de edificaciones en la frontera entre distintas áreas acústicas, se podría favorecer la terciarización de los edificios, por ejemplo, favoreciendo la existencia de oficinas en cualquier planta del edificio, eliminando la prohibición del establecimiento de este tipo de actividades fuera de la primera planta del edificio.

Cuando no existan medidas capaces de reducir las afecciones acústicas, sean originadas por el tráfico o por actividades, o las medidas aplicadas no hayan producido la reducción necesaria para evitarlas, no quedará más opción que proteger a los edificios receptores especialmente sensibles. Como norma general, únicamente sería necesario aumentar el aislamiento de las ventanas de las edificaciones. Un ejemplo claro, se tiene en las Declaraciones de Impacto Ambiental de las ampliaciones de los aeropuertos que se vienen realizando en España. Evitar el ruido del sobrevuelo de las aeronaves es imposible. Se podrán reducir mediante el diseño de aeronaves cada vez más silenciosas, pero siempre generarán afecciones acústicas. En estos casos solo se puede actuar mediante la protección de las edificaciones afectadas, aumentando el aislamiento perimetral de la edificación en cuantía variable en función del grado de afección y del uso de la edificación.

Con independencia de las medidas técnicas o las medidas administrativas, nunca deberían faltar campañas de concienciación en el ámbito del plan. Estas campañas se deben centrar en las zonas más afectadas y desarrollarse en el momento en que la afección sea máxima. En el caso de actividades, las acciones deben ir dirigidas a concienciar a los usuarios de las mismas de las molestias que pueden estar originando a los vecinos que tenga la intención de descansar.



#### 4.3.3.4. Medidas encaminadas a la protección de zonas tranquilas

Las normas establecidas en la legislación acústica vigente no solo establecen la necesidad de adoptar planes de acción encaminados a eliminar de las ciudades las zonas acústicamente contaminadas, también obliga a establecer planes para proteger aquellas zonas de ciudad consolidada en las que los niveles sonoros ambientales existentes sean inferiores a los límites establecidos.

La línea conductora de las actuaciones previstas en la legislación acústica para resolver el problema de la contaminación acústica urbana es clara:

- a) Establecer limitaciones “saludables” para los nuevos desarrollos urbanísticos
- b) Establecer limitaciones “realistas” para la ciudad consolidada.

Es decir, en la nueva ciudad, en la que con un diseño adecuado se pueden alcanzar los valores de los índices de ruido que se consideran adecuados para la salud plena de los ciudadanos, se debe exigir su cumplimiento. Por el contrario, en la ciudad consolidada, donde las medidas de diseño son ya casi imposibles de acometer o pueden acometerse a muy pequeña escala y con un período de ejecución muy largo, deben admitirse límites ligeramente superiores a los de la nueva ciudad, pero, en muchos casos, más exigentes que los niveles sonoros existentes, con una idea de “límite objetivo”, un límite que deberemos alcanzar mediante los planes de acción. Cuando en un futuro, todos los planes de acción se hayan acometido eficazmente, el Estado puede y debe modificar los límites de ciudad consolidada e igualarlos a los límites de la nueva ciudad, pero conservando el concepto de nuevo límite objetivo.

Pero en las ciudades consolidadas pueden existir, y de hecho las hay, zonas en las que los niveles sonoros actuales ya sean inferiores a los establecidos como límites objetivo y lo lógico es que, en lugar de dejar que los niveles sonoros ambientales puedan elevarse, deben establecerse planes encaminados a mantenerlos.

Las medidas que se pueden acometer en este tipo de zonas son sencillas y se pueden resumir en: evitar el incremento de fuentes sonoras controlando el incremento del tráfico y evitar la concentración de actividades ruidosas.

#### 4.3.4. Control de la eficacia de las actuaciones

El control de la eficacia de las actuaciones debe ser permanente, incluso debe iniciarse antes de concretar definitivamente las medidas que compongan el Plan de Actuación. Las actuales herramientas informáticas permiten predecir la eficacia de algunas de las medidas que se pueden adoptar y basándose en los resultados de estas predicciones, se decidirá su inclusión o no.

Además, los controles se deben realizar durante la aplicación de las medidas para, en su caso, poder modificar algunas de ellas, si se comprueba que no resultan tan eficaces como estaba previsto, o si de su aplicación surgen efectos secundarios no previstos y solucionables mediante alguna medida complementaria.



Por último, se debe realizar un control final que determine si el plan ha dado los resultados previstos. De conformidad con la legislación vigente, en el caso de que las medidas hayan dado como resultado que los niveles sonoros ambientales se han reducido hasta límites admisibles, se puede dar por concluido el plan y en su caso revocar el acuerdo de aprobación de ZPAE o ZSAE.

#### **4.4. Costo económico de los Planes de acción específicos**

En la mayoría de los Planes de Acción encaminados a resolver los problemas acústicos originados por el tráfico en sus tres vertientes e incluso el ruido industrial, las medidas correctoras se limitan a apantallamientos acústicos, o a la utilización conjunta de pantallas y mejora de aislamiento de las viviendas. Dichas medidas correctoras pueden ser fácilmente evaluables económicamente.

Por el contrario, hacer una valoración económica de un Plan de Actuación Específico es realmente difícil, dado que las posibles medidas correctoras que se puedan adoptar son muy diversas en función de las características de los emisores acústicos que originan la afección acústica. No obstante, se pueden hacer algunos comentarios que permitan dar directrices para aminorarlos.

El Plan de Acción Específico menos costoso es haber realizado una planificación urbana acústicamente correcta de los nuevos desarrollos urbanísticos. Las ciudades modernas tienen muchos problemas acústicos y supondrá un importante esfuerzo resolverlos; no se puede consentir que su crecimiento siga originando espacios acústicamente contaminados que posteriormente precisen de Planes específicos de reducción de dicha contaminación, en caso contrario nunca se resolverá el problema.

Las Administraciones Locales deben adoptar ya la decisión, como primer punto de un Plan de Acción General para la ciudad, de no consentir desarrollos urbanísticos en los que no se cumplan las exigencias acústicas establecidas en la legislación vigente; sin la adopción de esta decisión dichas administraciones irán ineludiblemente dirigiéndose al fracaso.

Por otro lado, no parece la medida más adecuada la aprobación simultánea de la totalidad de planes específicos que una ciudad precisa. La manera más lógica de actuar sería:

- a) Enumerar la totalidad de zonas que precisen Planes específicos
- b) Determinar el número de personas afectadas en cada una de ellas
- c) Determinar su grado de afección
- d) Esbozar las medidas correctoras precisas y su coste, y
- e) Establecer un criterio de eficacia

Una vez concluido este trabajo, y en función del criterio de eficacia, debe realizarse un esquema de tiempos, para ir acometiendo paulatinamente los distintos planes, en función de las disponibilidades económicas. No cabe duda que, desde la aprobación de la legislación acústica vigente, todos los ayuntamientos de España tienen la obligación de disponer de partidas presupuestarias específicamente destinadas a la lucha contra la contaminación acústica, y quienes no la tengan estarán incumpliendo la ley. La cuantía de dichas partidas será función de las disponibilidades de cada ciudad.

Por otra parte, no todos los costes de las medidas incluidas en un plan específico tienen forzosamente que asignarse al plan específico. Los planes pueden perfectamente contener medidas cuya ejecución se dilate en el tiempo para ser acometidas dentro de actuaciones programadas por el ayuntamiento, de mayor envergadura.

Por ejemplo, si del estudio de las necesidades de un plan de acción se estableciese la necesidad de ampliar el espacio destinado al peatón mediante el ensanche de las aceras, y en la zona el ayuntamiento tienen previsto realizar una sustitución del pavimento de las calzadas y aceras de la zona, las medidas recomendadas en el plan de acción deberían incardinarse en el proyecto general con lo que el incremento de costes no sería excesivo y se eliminaría la partida indicada en el plan de acción.

Esta manera de actuar debería ser la correcta, lo que supone que cualquier actuación prevista en un municipio debería llevar incorporadas aquellas medidas correctoras que supusieran una mejora de la calidad acústica de las zonas.

Como resumen final, si se quiere ir mejorando la calidad acústica de las ciudades, no es suficiente con la adopción de planes de acción. Se precisa que toda la ciudad, los ciudadanos y todos los estamentos del Ayuntamiento, asuman el reto con el convencimiento de que una ciudad con mejor calidad acústica es posible.

#### **4.5. Bibliografía**

*Plan de Actuación Acústica del Distrito Centro de Madrid.* Septiembre 2002- Departamento de Control Acústico. Ayuntamiento de Madrid

*PERCA. Plan Estratégico de Reducción de la Contaminación Acústica 2001-2003.*- Departamento de Control Acústico. Ayuntamiento de Madrid

*Plan de Acción en materia de contaminación acústica de Bilbao 2009.* Enero 2009 Ayuntamiento de Bilbao

*Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.* BOE 18 noviembre 2003

*Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a evaluación y gestión del ruido ambiental.* BOE 17 diciembre 2005

*Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisores acústicos.* BOE 23 octubre 2007

## Capítulo 5

### Planeamiento urbanístico con criterios acústicos

*Guillermo García de Polavieja*

#### 5.1 Introducción

Este capítulo parte de un consenso sobre la necesidad de crear un medio ambiente urbano menos ruidoso y, por tanto, más saludable y confortable para el ciudadano; en el que éste pueda desarrollar sus actividades (conocimiento, relación) en las mejores condiciones ambientales posibles. A la vez, este escenario nos permitirá recuperar el paisaje sonoro de la ciudad, incluso su carga espiritual o poética; y recuperar así su auténtico carácter: la ciudad como espacio civilizado donde podemos y debemos vivir<sup>1</sup> y desarrollarnos en plenitud.

Aunque los objetivos concretos y prácticos del capítulo se tratan más adelante, podríamos resumir en estos cuatro puntos lo que aquí se pretende:

1. Reflexionar sobre la necesidad de prevenir la contaminación acústica urbana -o ruido ambiental<sup>2</sup> en el entorno urbano-, desde el planeamiento urbanístico, fase previa a la intervención material donde la eficacia de las medidas es máxima y que, desde su carácter planificador, va a determinar las características futuras de lo construido. Muchas de esas características serán después inalterables.
2. Reflexionar sobre el estado general de la situación en España: sobre la consideración de la variable acústica en el planeamiento, la interpretación y apoyo de la normativa en vigor y el punto de vista habitual de los diferentes actores intervinientes en el proceso de planeamiento urbanístico.
3. Revisar las herramientas de los diferentes instrumentos de planeamiento tanto para intervenir en la situación acústica de la ciudad preexistente (sobre la que también incide el planeamiento), como para prevenir la contaminación acústica sobre los nuevos desarrollos, diferenciado las utilizadas habitualmente de aquellas que aún están en gran medida por explotar.
4. Ver cómo podemos usar dichas herramientas con ejemplos a diferentes escalas de intervención y desde diferentes instrumentos de planeamiento, con un breve análisis de su idoneidad y las consecuencias esperables, tanto positivas como negativas.

---

<sup>1</sup> La ciudad es el modo de asentamiento más eficiente, logrado a través de la concentración de servicios y la reducción de consumos unitarios. Por mucho que la huella ecológica de nuestras ciudades sea muy grande y deba urgentemente ser reducida; probablemente será menor que la de sus millones de habitantes dispersos en otros modelos de asentamiento territorial. La ciudad no es el problema, el problema es la superpoblación y el consumo exagerado de energía, recursos y bienes.

<sup>2</sup> La Directiva 2002/49/CE define el ruido ambiental como «el 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 emplazamientos de actividades industriales como los descritos en el anexo I de la Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación ».



Todo ello con un enfoque crítico y práctico, que se pretende conseguir incluso a expensas del formalismo científico que habitualmente acompaña a los textos técnicos sobre la materia.

### 5.1.1 Una reflexión previa sobre la ciudad

#### 5.1.1.1 La Ciudad: un invento ruidoso

La ciudad es un invento ciertamente ruidoso si lo comparamos con el medio natural –excepción hecha de algunos cataclismos afortunadamente poco frecuentes- porque implica la compactación de actividades y relaciones de todo tipo en un espacio proporcionalmente muy reducido; economizando así tiempos y distancias mediante la superposición de diferentes redes: habitantes-servicios, clientes-comercios-proveedores, administración-administrados...

Para que el invento funcione y justifique que vivamos en estos artefactos y no en el campo, como nos gustaría, no podemos renunciar a los principios de compacidad<sup>3</sup> espacial y mezcla de usos. Son esos principios los garantes de que esas relaciones y actividades se generen y multipliquen, posibilitando el desarrollo cualitativo de la economía, la gobernanza, la cultura, las relaciones personales... de lo que se compone la civilización, en resumen. De un modo un poco cursi, podríamos decir que la ciudad es un complejo y contradictorio intento de *cohabitación* de naturaleza y cultura, en un equilibrio precario basado en la planificación y sostenido por la gestión.

Parece que el fenómeno del ruido sería inevitable en este modelo –hasta cierto punto lo es- y sin embargo en la ciudad moderna, la principal<sup>4</sup> fuente de ruido, proviene no de concentrar y mezclar actividades, sino precisamente de separarlas. Esta separación espacial es consecuencia tanto del modelo expansivo utilizado –más bien la falta de modelo- como de la segregación estricta de usos, heredada de en su momento razonables planteamientos funcionalistas de mediados del siglo pasado. Ambas tendencias, expansión y zonificación, obligan hoy a la utilización del transporte motorizado para cubrir desplazamientos que en otra escala urbana y bajo otro modelo de relación entre usos, podrían resolverse a pie<sup>5</sup> o mediante modos de transporte menos contaminantes.

Si consiguiéramos restar del problema acústico de las ciudades la contribución del ruido de transporte motorizado masivo, el panorama sería otro muy distinto, porque al igual que la degradación ambiental (y acústica) progresa geoméricamente (cuanto más ruido percibimos,

---

<sup>3</sup> Rueda, S., 1995

<sup>4</sup> En 1994 entre el 17 y el 22% de la población de la Unión Europea –cerca de 80 millones de personas- estaba expuesta durante el día a niveles de ruido continuos causados por el transporte superiores a los 65 dBA (INRETS 1994, von Meier 1994, INFRAS / IWW 1994). Según el Libro Verde sobre la política futura de lucha contra el ruido de la Comisión Europea, el ruido del transporte rodado es la fuente de ruido principal para nueve décimos de la población de la Unión expuesta a niveles de ruido superiores a 65 dBA. En cuanto al ferrocarril: el 1,7% de la población; y respecto al transporte aéreo, más del 1% de la población está expuesta a estos niveles elevados

<sup>5</sup> Para desplazamientos urbanos de hasta 500 m de distancia el medio más veloz es el propio paso, a partir de ahí y hasta 7 - 10 km, lo es la bicicleta. Solo a partir de esas distancias, son más competitivos el automóvil o el ferrocarril metropolitano. (MOLINA, 1980)

más ruido generamos), la rehabilitación ambiental también se retroalimenta, y una ciudad liberada de su principal fuente de ruido sería la base para un comportamiento general progresivamente más silencioso.

Por otro lado, algunas de las actividades que necesitaríamos aproximar en un intento de corregir esta expansión, pueden ser intrínsecamente ruidosas y otras especialmente sensibles al ruido. Algunas incluso son ruidosas y a la vez sensibles<sup>6</sup>. Parte de la solución para su interconexión vendrá dada por la organización de espacios en el planeamiento –zonificación a la menor escala posible–, pero otra parte muy importante vendrá dada en forma de gestión del ruido urbano a una escala inferior, que el planeamiento deberá prevenir y provocar, y para la que podría tener un papel más importante del que habitualmente se cree, simplemente mediante una utilización más ambiciosa de los documentos urbanísticos actuales.

En todo caso y a pesar del convencimiento de la viabilidad del modelo compacto y complejo de ciudad, hoy en día la labor proyectual del urbanista se encuentra habitualmente con la necesidad de desarrollar un proyecto de intervención (típicamente un Plan Parcial de Ordenación) sobre un sector de planeamiento cuyos parámetros están prefijados en un planeamiento general bajo criterios habitualmente no deseables desde el punto de vista de la sostenibilidad global o de la prevención del ruido: único uso dominante (normalmente residencial), baja densidad, falta de planificación de una red de transporte público, falta de una red urbana ciclable o peatonal y, por si fuera poco, proximidad a una infraestructura ruidosa con una medida correctora prefijada en el planeamiento general mal calculada o simplemente inasumible. También para este caso habitual esperamos que este capítulo pueda servir de ayuda, de inspiración o, al menos, de consuelo.

### 5.1.1.2 La Ciudad: el paisaje sonoro

Necesitamos reducir el ruido urbano para mejorar nuestra calidad de vida: nuestra capacidad de concentración y trabajo, nuestra salud, tranquilidad y confort; pero también –como veíamos al principio del capítulo– para recuperar el paisaje sonoro de la ciudad, como espejo del valor cultural de la misma.

El paisaje sonoro del medio urbano puede ser más rico incluso que el del medio natural desde el momento que, sin renunciar al origen de los sonidos de la naturaleza que también son propios de la ciudad civilizada: la brisa sobre la vegetación, el canto de los pájaros, el discurrir del agua; es capaz de enriquecerlos y mezclarlos con los sonidos de la cultura: los sonidos de la conversación, la risa, de las expresiones artísticas callejeras, los sonidos de la arquitectura –esa misma brisa haciendo flamear un toldo o crujir una contraventana– e incluso los sonidos de la industria, del comercio, del propio transporte; siempre que logremos crear espacios donde los más potentes ocupen un plano de fondo, en la distancia, ¿o es que hay a quién le disguste el sonido de un tren en la lejanía?<sup>7</sup>

Para conseguir conformar este tipo de espacios urbanos es necesario ordenar las actividades en función de la potencia y aspereza de los sonidos que generan, de modo que se perciban en planos

<sup>6</sup> Véase apartado 5.5.3.2 Áreas de transición acústica real y tratamiento de zonas acústicamente conflictivas

<sup>7</sup> Simón, P.1983



distintos: más cercanos aquellos sonidos agradables y coherentes, en un segundo plano los más potentes y con mayor capacidad de contaminar el medio. Y ese es el reto al que nos vemos abocados como planificadores.

Es cierto que en el momento que pasamos a hablar de sonidos, de percepción sonora, nos adentramos en un campo demasiado complejo para los objetivos de este capítulo y la competencia de su autor, pero no es menos cierto que ésta ha sido la labor de arquitectos y urbanistas en tiempos pasados, -tiempos quizá donde se nos recuerda por intervenir en espacios y edificios de mayor refinamiento-. En todo caso, mientras sigamos siendo los principales responsables de la planificación urbana, no podremos renunciar a esta aspiración, ni sentirnos superados por el potencial (positivo y negativo) de esta variable ambiental.

### 5.1.2 El modelo de urbanismo vigente

Es difícil separar la variable acústica de otras variables ambientales que han de ser consideradas simultáneamente en el proceso de planeamiento. Sería asimismo un enfoque erróneo de la cuestión, ya que existen importantes similitudes causales entre ellas cuyo estudio conjunto optimiza y facilita la evaluación ambiental global de cualquier proyecto urbanístico.

Pero, sobre todo, es difícil abstraerse del problema medioambiental de fondo del hecho urbanístico en sí, que no es otro que la difícil justificación de esta supuesta e incesante necesidad de expansión urbana –ligada a veces a un crecimiento demográfico ilimitado sobre cuyas consecuencias a largo plazo nadie parece cuestionarse- y, en particular, de la expansión sin límite de cada núcleo urbano en sí, frente a un posible y más sostenible modelo de red<sup>8</sup> de ciudades de escala limitada.

La estrategia del planeamiento urbanístico debería centrarse en la reforma del tejido urbano existente en las ciudades ya consolidadas y aparentemente ‘completas’: en la renovación de sus redes internas, en la rehabilitación de espacios degradados o disfuncionales, en la reutilización de áreas y edificaciones concebidas para usos superados o directamente extintos. Todo ello en la búsqueda de la mayor **compacidad** posible (y soportable con criterios de confort, entre ellos el acústico) y de una mezcla de usos y funciones que promoviese las interrelaciones necesarias para el funcionamiento de la ciudad (que es para lo que sirve) reduciendo las necesidades de transporte motorizado<sup>9</sup>, sin generar incompatibilidades medioambientales (entre ellas, la acústica).

---

<sup>8</sup> Una vez establecidos los límites de crecimiento de cada núcleo urbano hasta su tamaño máximo óptimo – en el que las virtudes de la proximidad no se pierden a favor de los perjuicios de la aglomeración- elaborados fríamente sobre indicadores de eficiencia, de bienestar, de sostenibilidad del modelo; se debería plantear un sistema de red de ciudades, con una especialización de cada núcleo en un nivel superior para aquellos recursos y servicios que no fuera necesario encontrar de cada urbe. Estas redes se basarían en la complementación, en lugar de las habituales y perniciosas relaciones jerárquicas existentes entre núcleos próximos. Por otro lado y en el momento y lugar donde fuera realmente necesario crear ciudades nuevas por colmatación de las existentes o la existencia de ‘vacíos’ en esas redes, se podrían plantear ciudades de nueva planta sobre las que experimentar modelos contemporáneos de organización y, en nuestra variable acústica, proponer soluciones innovadoras a escala total.

<sup>9</sup> Pozueta, J. 2000



Esta concepción de la intervención en la ciudad no es nueva; era ya parte fundamental de estrategias urbanas de principios de los 80, inspiradas en una necesaria austeridad<sup>10</sup> en el planeamiento y hoy, tras la acumulación de una década de nefastas experiencias de puro desarrollismo inmobiliario, debe ser recuperada si deseamos intentar alcanzar un verdadero desarrollo sostenible<sup>11</sup> del territorio.

Pero todo ello obligaría a una reflexión profunda sobre el hecho territorial en su conjunto a la que no invita ni la fragmentación administrativa horizontal existente -el medio ambiente por un lado, las infraestructuras por otro, la edificación por un tercero...- ni la vertical, con cada administración pública intentando reproducir un pequeño modelo de estado a escala y con un completo ordenamiento jurídico propio cuyo principal principio inspirador es la diferenciación de la administración vecina. Tampoco la normativa de planeamiento colabora a favor de esta estrategia, al estar concebida fundamentalmente para regular el crecimiento<sup>12</sup> físico de las ciudades y no la intervención y gestión sobre su parte ya consolidada.

### **5.1.3 Alcance del planeamiento como herramienta de prevención de la contaminación acústica**

Tradicionalmente se ha sostenido que el planeamiento no tenía capacidad ni competencia para intervenir sobre el fenómeno acústico en origen, sobre las fuentes mismas de ruido urbano. El urbanista, incluso el comprometido con un diseño de ciudad silenciosa, renunciaba así a intervenir sobre la fuente de ruido, limitándose a una adaptación un tanto triste a las condiciones acústicas existentes o previstas mediante un diseño urbano 'defensivo', normalmente apoyado en estrategias de alejamiento o zonificación.

Sostendremos aquí, sin embargo, que si bien la estrategia defensiva y las herramientas que el planeamiento tiene para desarrollarlas son válidas y potentes -siempre y cuando su propia y a veces rígida normativa nos permita utilizarlas- existe una capacidad real en el planeamiento para intervenir activamente sobre el origen del problema mediante otros medios, directos o indirectos:

1. la planificación según modelos compactos con menor demanda de tráfico motorizado y privado
2. la promoción de planes de movilidad sostenible -y silenciosa-
3. la planificación de redes viarias jerarquizadas y el templado del tráfico sensible
4. la zonificación acústica consciente y detallada del territorio
5. el diseño acústico de la calle en sección
6. la utilización de normativa de planteamiento como instrumento de ayuda a la gestión del ruido urbano y su concatenación con el resto de normativas municipales.
7. la promoción de planes de acción concretos contra el ruido

---

<sup>10</sup> Campos Venutti, G. 1981.

<sup>11</sup> Como así lo recogen la Estrategia Territorial Europea o la Estrategia Temática para el Medio Ambiente Urbano o claramente la Ley 8/2007, de 28 de mayo, del Suelo, en exposición de motivos.

<sup>12</sup> Molina Costa, P., 2008.

Es decir, intervenir de modo directo sobre el modelo urbano y su diseño y de modo indirecto sobre la generación de tráfico y sobre los mecanismos de gestión urbanística, más allá de la propia ordenación del territorio.

En lo referente a la principal fuente de ruido urbano, el tráfico, es necesario analizar la naturaleza acústica de esta fuente, para vislumbrar las posibilidades reales de intervención sobre ella desde el planeamiento. El que se permita la circulación de vehículos más o menos ruidosos dependerá de las condiciones de homologación y la vigilancia municipal sobre vehículos fuera de norma (averiados o alterados). El vehículo como fuente de ruido no puede, por tanto, ser regulado directamente desde el planeamiento, eso es cierto.

Sin embargo, si consideramos que la fuente de ruido urbano es el tráfico lineal que discurre por cada vía pública y no los vehículos individuales que lo componen, veremos que los parámetros de esa fuente –a excepción de los vehículos fuera de norma-: intensidad, fluidez, velocidad, tipo de conducción, pavimentación, etc. sí son manejables desde el planeamiento, como veremos más adelante.

También veremos más adelante, los que se resumen como principios de intervención desde el planeamiento, como son la prevención frente a la corrección, el análisis de la rentabilidad de lo propuesto como medida de economía, la necesaria adaptación a cada escala de intervención y la predicción de los efectos diferidos y sinérgicos.

## 5.2 Estado actual. Marco normativo en España

Hasta finales de los años 90 del pasado siglo y con excepciones destacables como el caso de la ciudad de Madrid<sup>13</sup>, la normativa específica sobre prevención de la contaminación acústica a nivel urbano se reducía a la existencia de algunas ordenanzas reguladoras –enfocadas al ruido de actividades molestas- y a la influencia de estudios y recomendaciones internacionales<sup>14</sup> sobre, por ejemplo, los criterios de evaluación del impacto sonoro de infraestructuras o las normativas de calidad de la edificación (NBE-CA).

Si bien todo esto, unido al buen criterio y sentido común de algunos urbanistas, constituía un cierto marco de referencia acústica para la planificación, la mayor parte de las veces no era utilizado. Hasta el *boom* inmobiliario de principios de siglo la mayoría de los planes generales de ordenación no se concebían con criterios de prevención de la contaminación acústica, no siendo infrecuente encontrar zonificaciones de usos acústicamente incompatibles o sectores de crecimiento en la proximidad de infraestructuras especialmente ruidosas. Estos graves problemas fueron resueltos en el consiguiente planeamiento de desarrollo de la mejor manera posible –o sea, cara y poco eficaz- continuando latentes bien algunos de ellos, bien los efectos colaterales de sus improvisadas medidas correctoras.

<sup>13</sup> Con la publicación de su completa Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano de 1985.

<sup>14</sup> La referencia habitual eran los informes periódicos de la OCDE, que siguen publicándose. <http://www.oecd.org/publications/escala-total>.



A finales de los 90 las comunidades autónomas comenzaron a publicar sus normativas reguladoras de prevención de la contaminación acústica, que han servido para actualizar criterios, adaptar y promover ordenanzas municipales, dar cobertura sustitutoria a los municipios carentes de ellas, etc.

Sin embargo, desde el punto de vista del planeamiento, estas normas han sido en muchos casos parcialmente contraproducentes, al utilizarse para regular acústicamente las propuestas urbanísticas sin que sus articulados estuviesen correctamente concebidos a tal fin, -ni los funcionarios ambientales encargados de verificar su cumplimiento, preparados técnicamente para comprender la complejidad del fenómeno urbanístico o del acústico-. Si a esto sumamos el que con estas normas se ha intentado regular el planeamiento de desarrollo proveniente del deficiente planeamiento general anteriormente citado, imaginaremos el conflicto ocasionado, normalmente entre los intereses del promotor -garantizados por el planeamiento general- y la imposibilidad de ejecutar lo planificado, por no cumplir los nuevos y exigentes criterios acústicos<sup>15</sup>.

La publicación de la Directiva europea 2002/49/CE sobre ruido ambiental, marco de referencia de la normativa actual y avance indudable en la prevención y gestión del ruido; vino a traer inicialmente más confusión a la situación, cuando los funcionarios prescriptores de las normas regionales incorporaron criterios concebidos para la elaboración de mapas estratégicos a sus requisitos de justificación de prevención de la contaminación acústica en el planeamiento, como las famosas evaluaciones a 4 m. de altura.

Tras el desarrollo reglamentario completo de la Ley 37/2003, el marco normativo a nivel nacional se ha completado satisfactoriamente. La aprobación del Real Decreto 1367/2007 invitará ahora a las diferentes comunidades autónomas a renovar su normativa acústica en lo referente, al menos, a zonificación, objetivos de calidad y límites acústicos; renovación que no podrá contravenir lo dispuesto en el citado Real Decreto, de acuerdo con el, a veces olvidado principio de prelación normativa y de lo dispuesto en el Artículo 149.1.23 de la Constitución sobre legislación básica en materia de medio ambiente.

Si este traslado al ordenamiento jurídico regional se realiza de modo ordenado y razonable, sin incluir limitaciones adicionales excesivas de consecuencias contraproducentes, el marco normativo en materia acústica podría por fin ser adecuado para regular los criterios de prevención del ruido en el planeamiento urbanístico en todo el territorio nacional.

Por otro lado, la reciente entrada en vigor del documento acústico del Código Técnico de la Edificación completa el marco normativo para el urbanista, que podrá apoyarse en criterios acústicos actualizados para la futura edificación donde sus especificaciones de planeamiento no puedan alcanzar. El CTE, de modo coherente y práctico, invita a utilizar los niveles sonoros ambientales reales existentes en cada zona para dimensionar el aislamiento necesario de las edificaciones, cerrando así el último eslabón de la cadena de prevención del ruido en su último recurso defensivo: la propia edificación.

---

<sup>15</sup> La proliferación de barreras acústicas en el paisaje sería la prueba latente de esta planificación contradictoria..



## 5.3 Planeamiento urbanístico

### 5.3.1 Urbanismo: planificación y gestión

La disciplina urbanística engloba tanto la planificación del medio urbano como el diseño de sus mecanismos de gestión. A los efectos que nos ocupan, ambos serían sustantivos en la prevención y reducción de la contaminación acústica: el planeamiento (delimitación de áreas a urbanizar, diseño urbano, asignación de usos) lo es de modo fundamental para evitar problemas acústicos estructurales de muy difícil o incluso imposible solución posterior. La gestión (seguimiento, control, disciplina) retomaría por así decirlo el problema una vez que la ciudad entra “en carga”, responsabilizándose del problema y corrigiendo los conflictos sonoros en esa micro-escala.

Como ya hemos visto, el planeamiento no puede entrar a regular directamente conflictos acústicos propios del funcionamiento de la ciudad (ruido de tráfico, actividades, ruido de ocio ...) ni siquiera a través de las figuras de planeamiento en detalle y menos aún de la degeneración puntual de esa actividad urbana (actividades sin licencia, vandalismo acústico, vehículos fuera de norma...). Tampoco la gestión urbanística puede resolver problemas provenientes de una mala planificación previa (por ejemplo, los derivados de la proximidad de una ciudad a un aeropuerto).

La clave está en mantener la alerta sobre el problema de la contaminación acústica desde el inicio y en todo el proceso de planeamiento: planificando con criterios de prevención del ruido a las sucesivas escalas de intervención propias de cada fase, imaginando los conflictos acústicos que se pueden generar en el futuro y anticipando los instrumentos oportunos a recoger en futuras reglamentaciones. La metodología del estudio acústico en las diferentes fases de planeamiento vendría dada por una combinación en paralelo y de alcance cada vez más detallado de planificación y predicción:

**Planificar:** ordenar el territorio con criterios de prevención del ruido a la escala de intervención que le es propia a cada documento de planeamiento (territorial, general o de desarrollo).

**Predecir:** caracterizar los conflictos acústicos que se pueden generar en el futuro y establecer las restricciones oportunas a recoger en futuras reglamentaciones.

Por ejemplo, si se diseñan supermanzanas residenciales con tipologías edificatorias de bloque abierto y espacios comunes ajardinados; no se deberán autorizar ciertos usos en planta baja que al proliferar puedan generar un problema de ruido de ocio nocturno.

Para ello y como veremos más adelante, las figuras de planeamiento contienen documentos normativos en los que pueden ya trazarse medidas de gestión del ruido adaptadas a la previsión de la situación particular del área a ordenar. Esas medidas tendrán dificultad en ser implementadas si posteriormente no son recogidas en una ordenanza de escala municipal y sobre todo, asumidas por el gobierno local<sup>16</sup> para garantizar su cumplimiento.

<sup>16</sup> El gobierno local no solo es el responsable de mantener la disciplina acústica sino que además es el titular de algunas de las actividades potencialmente más ruidosas de las que tienen lugar en el medio urbano, como la recogida nocturna de residuos, el vaciado de contenedores, etc.

De este modo y en este capítulo, nos centraremos en el planeamiento, manteniendo siempre *in mente* la gestión futura del medio acústico urbano.

### 5.3.2 El proceso de planeamiento

El proceso de planeamiento, desde el territorial hasta el de desarrollo, y más allá mediante los proyectos de urbanización – que materializan las redes diseñadas en los planes parciales- o posteriormente los proyectos de edificación; se basa en una sucesión cronológica de documentos urbanísticos (planes) de mayor a menor rango que se van formulando y aprobando de modo paralelo a una concentración de la escala de intervención.

Este proceso en cadena arrastra una serie de determinaciones desde el documento de mayor rango al siguiente, determinaciones que una vez ‘heredadas’ no se pueden modificar pero sí pormenorizar sucesivamente para condicionar el modelo finalmente construido.

A su vez, cada documento de planeamiento tiene una génesis propia, siendo formulado en fases sucesivas y sometido a informes sectoriales y de los órganos ambientales y sustantivos, así como a procesos de información pública y alegaciones. Esto es especialmente complejo en el caso del planeamiento general donde los plazos desde su formulación inicial hasta su aprobación definitiva, rara vez bajan de los dos años.

La iniciativa del planeamiento general debe ser competencia pública, como respuesta a una auténtica necesidad social y no por mera inercia desarrollista y, menos aún, siguiendo un modelo cuantitativo / expansivo. Esta necesidad verdadera de crecimiento debe estar apoyada en estudios demográficos, económicos y geográficos; ha de articularse mediante propuestas redactadas por profesionales del planeamiento, a ser posible siguiendo los criterios de sostenibilidad enunciados anteriormente y siempre tras un estudio y comprensión del marco territorial. Todo ello con el objetivo de crear un espacio urbano de calidad.

Si el proceso comienza en este deseable marco, el desarrollo de una propuesta de planeamiento coherente con principios de prevención del ruido – y del resto de variables ambientales- será más sencillo y eficaz.

Analizamos a continuación los tres rangos principales del planeamiento y sus documentos característicos desde un punto de vista urbanístico y también de su responsabilidad en la prevención del ruido. Posteriormente volveremos a ellos para enumerar los principios de actuación contra ese ruido que les son propios y ejemplificar cómo utilizar sus determinaciones como herramientas para esa deseada prevención.

#### 5.3.2.1 Planeamiento Territorial

Los planes regionales de estrategia territorial son los responsables de trazar las directrices para la ordenación del territorio y por tanto de diseñar el modelo territorial a nivel regional. A partir de la atribución de su competencia a las diferentes comunidades autónomas, éstos se han subdividido recientemente en función de su escala en planes territoriales generales (de la

totalidad de la región autónoma) y planes territoriales parciales (para una comarca o área supramunicipal).

A un nivel puramente urbanístico, serían los responsables de la actuación en una macro-escala de intervención territorial atribuyendo a cada municipalidad su cuota de crecimiento y evitando un desarrollo expansivo injustificado. Esta función limitadora de la expansión no es normalmente asumida.

Además son planes integradores tanto de la planificación urbanística como de la planificación sectorial (medioambiental, infraestructuras...), lo que les confiere una capacidad coordinadora insustituible desde el punto de vista de la prevención del ruido, por su capacidad de compatibilizar a gran escala las intervenciones acústicamente contaminantes con las acústicamente sensibles sobre el territorio.

### *El planeamiento territorial para la defensa de los municipios*

A cierta escala, incluso las herramientas propias del planeamiento general son ineficaces en la prevención del ruido. La compatibilización acústica de la ciudad con una gran infraestructura de transporte promovida a nivel estatal o regional no es posible desde la escala de intervención urbanística municipal, por una cuestión de tiempos de planificación, de escala de intervención e incluso de jerarquía administrativa.

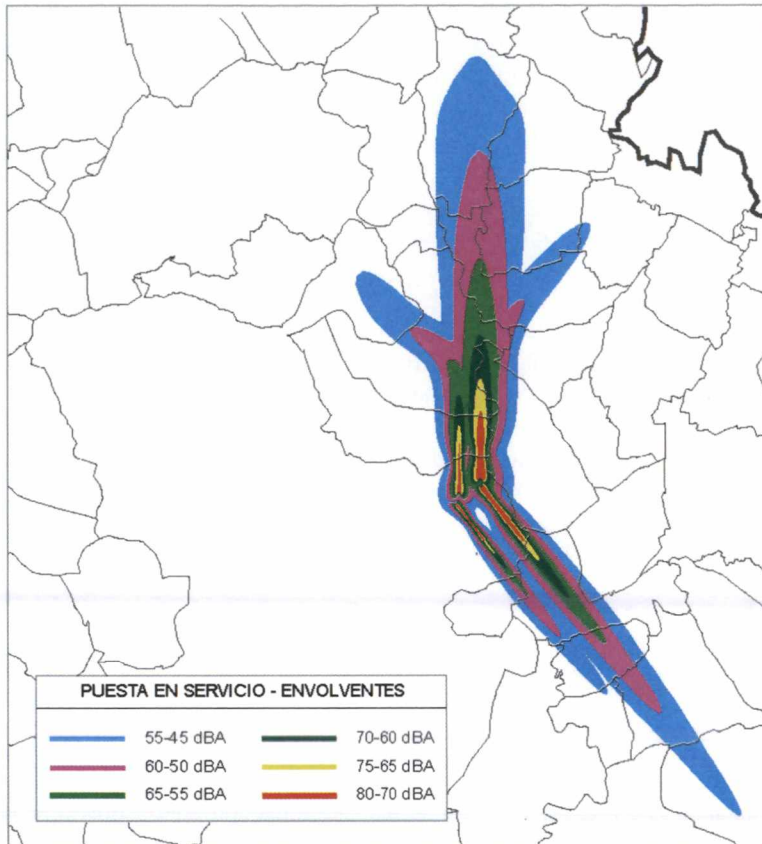
Las municipalidades ven muy reducida su capacidad de influir individualmente sobre los promotores de estas infraestructuras con los mecanismos de participación que establece la legislación medioambiental. Por otro lado, el promotor de las infraestructuras es el titular del órgano ambiental que dictamina sobre la compatibilidad de su impacto acústico, uno de los graves defectos de los procesos de evaluación ambiental existentes.

Solo la elaboración de planes territoriales que coordinen a los distintos municipios en estrategias a largo plazo permitiría equilibrar el proceso de compatibilización del diseño urbano con el de las grandes infraestructuras, que sí cuentan con sus respectivos planes estratégicos.

No tendría el mismo peso una alegación ambiental de un municipio ante el estudio informativo de una autopista estatal o regional que lo fuese a atravesar, que la alegación de un consorcio comarcal titular de un plan urbanístico territorial, que incluso podría personarse con cierto peso en el proceso de un plan estratégico de infraestructuras, por trabajar en una escala temporal similar.

De este modo es necesario promover un verdadero planeamiento territorial para prevenir el ruido también a esta escala inicial. Sin embargo esta promoción ha de venir precisamente de las administraciones estatales y regionales a quienes les resulta más cómodo tratar directamente con los municipios y sus planes, entidades administrativas normalmente pequeñas e incapaces de negociar en igualdad de condiciones. Es decir, una verdadera prueba de fuerza de la madurez democrática de las administraciones.





*Figura 5.1. La afección acústica de origen aeroportuario pertenece a la escala territorial. Huella sonora del Aeropuerto de Madrid- barajas sobre varios términos municipales (TMA, 2005)*

### 5.3.2.2 Planeamiento General

El planeamiento general tiene por objeto la ordenación urbanística general del término municipal. Los planes generales son por tanto los instrumentos básicos para formular políticas urbanísticas municipales de conformidad con el planeamiento territorial.

Sus principales cometidos son la clasificación de todo el suelo en el régimen jurídico correspondiente (en general, lo que se debe proteger, lo que se puede urbanizar y lo que no), la definición de la estructura urbanística —las determinaciones de ordenación estructurante y las determinaciones generales para una posterior ordenación pormenorizada—, delimitar los sectores para el posterior planeamiento de desarrollo y programar la gestión de la ejecución de todo ello.

Son redactados por encargo de los ayuntamientos, quienes los promueven, y aprobados por las comisiones de urbanismo de las comunidades autónomas, tras salvar los correspondientes procedimientos de evaluación ambiental.

Los planes generales tienen la responsabilidad de calificar como urbanizable y asignar un uso a aquellas áreas cuya afección acústica permita razonablemente el desarrollo de ese uso, en función de su sensibilidad al ruido. No pueden, por tanto, ignorar afecciones acústicas que puedan comprometer la viabilidad de lo ordenado, más allá de la limitada capacidad del subsiguiente planeamiento de desarrollo para corregir esas afecciones.

Por otro lado, de modo general, deben garantizar una razonable compatibilidad acústica entre usos colindantes, no estableciendo por ejemplo nuevas áreas industriales junto a barrios residenciales o viceversa.

Actualmente, además de los estudios y modelos predictivos recomendables a tal fin, cuentan con instrumentos como las servidumbres acústicas declaradas sobre las infraestructuras y las zonificaciones acústicas del territorio, como hemos visto anteriormente.

Por último y de cara al suelo ya consolidado –también objeto del planeamiento general–, deben analizar la problemática acústica preexistente y asegurar su corrección, o al menos su no agravamiento, bien en virtud de la nueva estructura urbana planificada, que puede por ejemplo descargar de tráfico una travesía congestionada, bien mediante el impulso de planes de acción contra el ruido que se plasmarán en las correspondientes medidas de gestión, todo ello a pesar de que los mecanismos de gestión del planeamiento general sobre el suelo urbano consolidado no son muy ricos, como veíamos anteriormente.

### **5.3.2.3 Planeamiento de desarrollo**

Los planes parciales de ordenación desarrollan el planeamiento general correspondiente para establecer la ordenación pormenorizada de ámbitos y sectores completos, previamente delimitados. Pueden modificar justificadamente las determinaciones pormenorizadas iniciales del planeamiento general, pero han de ser coherentes con la ordenación estructurante establecida.

De este modo, el planeamiento de desarrollo clasifica detalladamente la estructura y los usos del suelo, establece reservas para dotaciones y zonas verdes, asignándoles una ubicación; traza las redes de infraestructuras, establece alineaciones y rasantes, así como las principales condiciones de la futura edificación.

Como vemos, es un documento de ordenación fundamental para garantizar el confort acústico a nivel urbano tanto por el nivel de detalle de la ordenación como por la capacidad preventiva del ruido de sus herramientas o cometidos. Será, de hecho, el documento que recoja la mayoría de las herramientas contra el ruido que resumiremos aquí, que serán menos cuánto mejor haya sido la planificación acústica de los documentos previos.

### **5.3.3 Actores en el proceso ambiental**

En el proceso de planeamiento intervienen diversos actores: los promotores públicos o privados, los órganos reguladores (la Administración como órgano sustantivo y medioambiental), los técnicos redactores de los diferentes documentos de planeamiento y la ciudadanía; esta última no solo como

usuario final de lo planificado sino interviniente a través del necesario y obligado proceso de participación pública.

Dentro del puro proceso administrativo-ambiental del planeamiento urbanístico, el que cualquier documento de planeamiento debe seguir desde su formulación hasta su aprobación definitiva, podemos reducir los principales actores intervinientes en la variable acústica a tres: el **proyectista**, el **consultor especialista** y el **órgano ambiental**.

Aunque aún hay comunidades autónomas que exigen a ciertos planes urbanísticos del correspondiente estudio acústico, la progresiva adaptación de la normativa regional al Real Decreto 1367/2007 finalmente obligará a todos ellos, incluidos los de desarrollo (planes parciales), a justificar el cumplimiento de unos criterios básicos de prevención del ruido.

El proyectista o autor del plan, normalmente un Arquitecto Urbanista aunque en algunas ocasiones pueda ser un Ingeniero de Caminos, es el coordinador responsable del equipo técnico que elaborará el documento de planeamiento. Este equipo será más completo cuando el plan a redactar sea de rango general, componiéndose habitualmente y además del autor, de abogados urbanistas, geógrafos, demógrafos, ambientalistas, economistas, ingenieros expertos en redes (tráfico, abastecimiento y saneamiento, telecomunicaciones...), arqueólogos, etc.

En este equipo debe insertarse el especialista en acústica, cuyo diagnóstico y criterio debe ser tenido en cuenta desde la formulación inicial del plan, junto con al análisis del resto de variables estructurantes del territorio, y no al final del proceso de planeamiento para 'colocar' las medidas correctoras. La relación entre el especialista y el responsable tiene que ser de absoluta colaboración y confianza mutua, con el único objetivo de incrementar la calidad del proyecto a través de la mejora de su solvencia acústica.

En planeamiento de desarrollo, tanto el equipo como el proceso son más sencillos, pero en todo caso, el documento habrá de someterse a informe vinculante del órgano ambiental, por lo que no sólo deberá proyectarse con criterios de prevención del ruido, sino justificando el cumplimiento de la normativa sectorial de aplicación. El objetivo del equipo redactor será por tanto doble: planificar con criterios de prevención del ruido y dar cumplimiento a la normativa.

Obvia decir que el papel del órgano ambiental debería ser el de supervisar los criterios de prevención formulados e informar sobre las garantías contenidas en el documento de planeamiento, todo ello desde el conocimiento de la complejidad del hecho urbanístico y de la totalidad e interrelación de las variables ambientales en él relevantes, sin comprometer otros valores y necesidades del planeamiento ni la calidad global<sup>17</sup> de la propuesta formulada.

<sup>17</sup> Un ejemplo habitual de sobreprotección contraproducente es el de exigir unos determinados niveles sonoros al exterior, por ejemplo sobre zonas verdes- a 4 m de altura sobre el suelo, confundiendo quizá criterios de planificación con criterios de cartografía estratégica, altura a la que no existe receptor alguno –la talla media española ha crecido, pero no tanto-, lo cual lleva a construir enormes y costosas pantallas acústicas de gran impacto visual o sacrificar grandes superficies libres para la construcción de diques de tierra. Otro ejemplo habitual podría ser la supuesta incompatibilidad acústica entre una zona escolar y una deportiva adyacente por diferir en más de un grado su sensibilidad acústica, cuando ambas son compatibles acústicamente y complementarias urbanísticamente.



Otros mucho ejemplos hay, con consecuencias graves para la calidad urbanística de las propuestas, evitables desde una interpretación flexible y positiva de la normativa pero, sobre todo, a falta de todo lo anterior, también valdría el sentido común.

### 5.3.4 Planificación *ex novo* frente a intervención en el medio urbano consolidado (rehabilitación)

Conseguir el mejor medio ambiente acústico posible en función de la situación de partida debería ser el criterio básico de la intervención urbanística. Para un nuevo proceso de planeamiento o intervención sobre una zona con un clima acústico de calidad, el criterio sería el de mayor exigencia ambiental para garantizar unos niveles de ruido mínimos, adecuados para el desarrollo de todo tipo de actividades en cualquier lugar, incluso en el exterior de las edificaciones.

En este caso, la *tabula rasa* nos permite trabajar con los criterios de intervención que se describen en el apartado siguiente de modo libre y, a la vez, con la mayor exigencia para los objetivos ambientales perseguidos. La efectividad de las medidas preventivas recogidas en el planeamiento será máxima en virtud de su mayor capacidad de actuación.

En el caso de intervenciones en un medio afectado previamente por un problema de contaminación, típico caso de intervenciones sobre ámbitos o la totalidad de la ciudad ya consolidada, la intervención urbanística deberá rebajar su exigencia en función de la complejidad del problema, de las servidumbres y de los compromisos heredados del planeamiento de rango superior (si lo hubiera). De este modo, la propuesta debería ser menos ambiciosa a cambio de ser más efectiva y replegarse progresivamente a los ámbitos de confort acústico que permitan la asunción de medidas técnicamente razonables y con la máxima eficiencia ambiental posible.

Este principio de economía es recogido en la normativa de nueva generación<sup>18</sup>, que diferencia entre niveles ambientales máximos para nuevas intervenciones y objetivos de calidad para zonas consolidadas, en general menos exigentes.

La tipología de las medidas contra el ruido en cada uno de estos casos es diferente: mientras que en la intervención de nueva planta las medidas son de orden preventivo y formuladas desde la propia ordenación, como veremos más adelante; en las intervenciones sobre un medio ya consolidado éstas van a ser de tipo indirecto, a través sobre todo de medidas de gestión, recogidas habitualmente en planes de acción<sup>19</sup> a promover desde el propio planeamiento en caso de ruido urbano o por el titular de las infraestructuras en caso de servidumbres acústicas originados por éstas.

El ejemplo de lo anterior lo tenemos en el planeamiento general, donde la intervención urbanística es doble: sobre la ciudad consolidada —el suelo urbano ya consolidado en virtud del planeamiento anterior al que se sustituye— y sobre las nuevas áreas a desarrollar que el nuevo documento incorpora como suelo urbanizable.

<sup>18</sup> Real Decreto 1367/2007, Objetivos de Calidad Acústica, sección 2ª

<sup>19</sup> Real Decreto 1513/2005, Artículo 10

El criterio ambiental habitual en lo referente a la contaminación acústica es el de garantizar para los diferentes horizontes de desarrollo del planeamiento propuesto, unos niveles sonoros ambientales muy reducidos sobre las nuevas áreas de desarrollo (niveles máximos reglados en la normativa, véase Tabla 5.1), mientras que para la ciudad consolidada –sometida ya a la carga acústica de la actividad existente y a una probable escasa planificación del ruido en origen– se realiza un diagnóstico de la situación existente y un enunciado de las medidas necesarias para resolver progresivamente los conflictos presentes o, al menos, no agravarlos como consecuencia de la entrada en carga de las nuevas áreas de crecimiento propuestas, tomando como referencia unos niveles objetivo (véase Tabla 5.2), menos ambiciosos.

Esta metodología, típica de los estudios acústicos que acompañan al planeamiento general, se basa en la modelización predictiva de los diferentes horizontes de planeamiento que el plan establece.

**Tabla 5.1. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes. Tabla A del anexo II del RD 1367/2007, citada en el Artículo 14.1)**

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		Ld	Le	Ln
<b>e</b>	Usos sanitario, docente, cultural	60	60	50
<b>a</b>	Residencial	65	65	55
<b>d</b>	Terciario distinto de c	70	70	65
<b>c</b>	Recreativo y espectáculos	73	73	63
<b>b</b>	Industrial	75	75	65
<b>f</b>	Sistemas generales infraestructuras	S. D.	S. D.	S. D.

**Tabla 5.2. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas urbanizadas. Modificación de la Tabla A anterior -5 dBA, según el Artículo 14.2 del RD 1367/2007)**

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		Ld	Le	Ln
<b>e</b>	Usos sanitario, docente, cultural	55	55	45
<b>a</b>	Residencial	60	60	50
<b>d</b>	Terciario distinto de c	65	65	60
<b>c</b>	Recreativo y espectáculos	68	68	58
<b>b</b>	Industrial	70	70	60
<b>f</b>	Sistemas generales infraestructuras	S. D.	S. D.	S. D.

### 5.3.5 Planificación urbana frente a planificación de infraestructuras de transporte. Servidumbres acústicas

Estaríamos hablando de dos formas clásicas de ocupación territorial, tipológicamente dispares: una extensiva –la propia extensión de la ciudad- y la otra habitualmente lineal –el trazado de carreteras, ferrocarriles e incluso trayectorias aeronáuticas-; y de opuesto carácter acústico: una básicamente receptora y sensible al ruido y la otra fundamentalmente emisora de ruido y carente de sensibilidad al mismo. Son, además, promovidas por organismos públicos distintos –a pesar de su ámbito común- y proyectadas por distintos profesionales. Por todo ello resultan inicialmente incompatibles.

En esta disputa por la ‘conquista’ del territorio, parten con ventaja las infraestructuras y esto se debe a varias razones. Primero porque se planifican a una escala más amplia –territorial o al menos supramunicipal- con lo que el interés general que las promueve es siempre de ámbito mayor al de cada núcleo urbano afectado. Son promovidas por organismos públicos de rango estatal o, al menos, regional (ningún ayuntamiento promueve una autopista y menos un ferrocarril o aeropuerto), con lo que existe siempre una prelación jerárquica entre emisor y receptor. La evaluación de su impacto la realiza la misma administración promotora, lo cual es otra ventaja, al menos para la rapidez en la tramitación. Por último resultan además menos complejas y más rápidas de proyectar, en comparación con las tramitaciones del planeamiento general urbanístico, y su ejecución es muy rápida en comparación con el lento desarrollo de lo planificado urbanísticamente (a excepción quizá de los desarrollos inmobiliarios de los últimos años).

Por todo ello, el habitual conflicto acústico entre ambas no se plantea en igualdad de condiciones. Además la falta de normativa acústica alguna durante los años en que se trazaron y ampliaron las principales redes viarias ha sembrado el país de conflictos<sup>20</sup> acústicos que ahora necesitan solución.

Para paliar, al menos, los efectos acumulados de esta situación, la reciente normativa ha establecido la necesidad de delimitar zonas de servidumbre acústica de todas las infraestructuras lineales, aeroportuarias y portuarias, sin hacer distinción expresa de su rango, aunque se estima se realice inicialmente para aquellas que cuentan con cartografía estratégica de ruido. Esta delimitación es competencia del titular, responsable inicial también de la aprobación del correspondiente mapa de ruido.

Esta delimitación tiene una doble función. Por un lado establece las áreas de afección dentro de las cuales no se podrán proyectar usos sensibles al ruido –en ese sentido la servidumbre acústica se establece como una clásica afección territorial que imposibilita unos usos determinados eliminando la posibilidad de un conflicto futuro-; por otro lado y cuando esa delimitación incorpore zonas ya urbanizadas, su declaración será simultánea a la redacción de los correspondientes Planes de acción contra el ruido con lo que se impulsa la resolución de conflictos preexistentes.

El planeamiento urbanístico, objeto de este capítulo, deberá por tanto incorporar<sup>21</sup> a sus determinaciones la existencia de estas zonas de servidumbre, incluyéndolas en su zonificación

<sup>20</sup> Bien es cierto, que muchos de esos conflictos se han generado cuando la propia ciudad, en expansión ordenada o espontánea, se ha acercado a infraestructuras preexistentes.

<sup>21</sup> RD 1367/2007, Artículo 9.



acústica y pudiendo establecer limitaciones para usos o actividades incompatibles con el ruido dentro de ellas, potestad que inexplicablemente no se hace obligatoria. Además, los promotores – ayuntamientos- deberán de modo previo a la aprobación inicial someter cualquier eventual nuevo plan urbanístico a informe preceptivo del órgano sustantivo competente de la infraestructura. Sin embargo, a la inversa, el informe preceptivo se solicitará sólo en el caso de trazado de una nueva infraestructura, no para la delimitación de la servidumbre de una existente. Vemos, de nuevo, la desproporción entre las obligaciones ambientales del emisor y el receptor.

## 5.4 Principios de intervención

El objetivo inspirador de la intervención urbanística en lo referente a la prevención de la contaminación acústica sería el de conseguir el mejor medio ambiente acústico posible una vez que lo planificado se desarrolle y entre ‘en carga’. Este objetivo proyectado en el tiempo requiere un esfuerzo real y honesto de predicción a lo largo del proceso planificador y de utilización en su favor de las herramientas de cada instrumento de planeamiento.

Estas herramientas que el planeamiento ofrece para la prevención del ruido, son precisamente sus propios cometidos o atribuciones: la delimitación de ámbitos y usos, el diseño general o pormenorizado de la propuesta urbana, el trazado de redes, alineaciones y determinaciones volumétricas sobre las edificaciones, etc.; empleados hacia el citado objetivo inspirador, siguiendo las estrategias adecuadas y los principios de intervención apropiados.

Esos principios de intervención con los que manejar las diferentes herramientas de planeamiento, podrían resumirse así:

1. Adopción de criterios de prevención antes que corrección, a través de la predicción y corrección de problemas a lo largo de las fases de planeamiento.
2. Consideración adecuada del problema acústico a cada escala de intervención, disponiendo en cada documento de planeamiento los mecanismos adecuados para resolver los problemas a esa escala y otorgando los suficientes grados de libertad a las figuras de planeamiento subsiguientes para poder afrontar desde ellas los problemas acústicos propios de la escala sucesiva, a veces impredecibles en la etapa anterior.
3. Adaptación del alcance de cada solución propuesta a la mayor rentabilidad ambiental posible, evaluada de modo realista en función de la gravedad del problema.
4. Previsión de los efectos que las diferentes disposiciones que se realicen contra el ruido puedan tener sobre otros aspectos de la ordenación territorial para evitar que la resolución de un problema, genere o agrave otro, de modo diferido.

Los desarrollamos brevemente a continuación.

### 5.4.1 Prevención (planificación) antes que corrección

Dos serían los motivos para adoptar el principio de prevención: eficiencia e integración. En cuanto al primero (eficiencia, economía), se basa en que el esfuerzo a emplear en evitar un problema acústico desde la planificación va a ser mucho más rentable ambientalmente que el de corregir el problema

una vez existente. Esto es cierto hasta tal punto que, por un lado, ciertas situaciones no son resolubles sino desde la planificación previa, independientemente del esfuerzo corrector posterior y, por otro, otras situaciones no necesitarán para evitarse más que una correcta y lógica planificación sin especiales determinaciones o correcciones acústicas posteriores.

El segundo motivo, relacionado en parte con el primero, es el de la mayor capacidad de integración de las medidas preventivas con el resto de disposiciones de ordenación y diseño, incluidas otras disposiciones y medidas de carácter medio ambiental, es decir, la necesidad de integración para obtener una propuesta unitaria y equilibrada.

### 5.4.2 Escalas de intervención: planificación para facilitar la gestión

A lo largo del proceso de planeamiento, los diferentes planes de ordenación, desde su diferente posición cronológica en el citado proceso y progresiva reducción de su área de actuación, tiene una capacidad diferente para garantizar la adaptación y futura gestión del problema del ruido. Esa capacidad se ha de instrumentar de diferente modo en cada sucesivo documento o instrumento de planeamiento, puesto que las herramientas que la legislación urbanística otorga a cada uno son diferentes, como lo es su alcance y el nivel de detalle de su intervención.

*Tabla 5.3. Figuras de planeamiento y escalas de intervención*

Nivel	Figura / documento	Ámbito / Escala de intervención
Territorial	Plan Regional de Estrategia territorial	Regional
	Plan Parcial de Estrategia territorial	Comarcal /supramunicipal
General	Plan General de Ordenación Urbana	Municipal
	Plan de Sectorización	Subámbito municipal - sector de planeamiento
Parcial o de Desarrollo	Plan Parcial	Subámbito municipal - sector de planeamiento
	Estudio de Detalle	Subámbito municipal - área de detalle

Aunque los anticipemos, no podemos pretender resolver problemas pertenecientes a una escala inferior de planeamiento desde un instrumento de rango superior. Sí podemos y debemos, sin embargo, preverlos y establecer las directrices necesarias para que en la siguiente fase el potencial problema sea abordado en el detalle oportuno. Alcanzado el mayor nivel de definición posible desde el planeamiento, deberemos establecer las recomendaciones para, principalmente:

1. la gestión de los problemas acústicos ya inabordables desde la ordenación, como son los relativos a la disciplina ambiental, obras en la vía pública, comportamiento cívico, control e inspección de actividades de ocio, de vehículos, etc.
2. la edificación futura, a través de ordenanzas edificatorias que pueden contener especificaciones acústicas concretas a recoger en los futuros proyectos de ejecución.

### 5.4.3 Rentabilidad ambiental

La ambición de nuestra intervención sobre el territorio en el plano de la prevención del ruido debe adecuarse a la capacidad real de las herramientas a que en cada situación tengamos acceso, considerada en términos de rentabilidad ambiental (relación entre coste y beneficio ambiental obtenido).

La pretensión de alcanzar altas cotas de confort acústico en zonas sometidas a fuertes afecciones dará origen a disfunciones en la propuesta real. No se trata de renunciar a los objetivos de calidad acústica establecidos sino de reducir el ámbito en el que pretendemos obtenerlos, dentro de una estrategia defensiva, aquí sí plenamente lícita.

Como hemos visto anteriormente cuando diferenciábamos entre intervención de nueva planta o sobre ámbitos de la ciudad consolidada; para los primeros, el criterio sería el de la mayor exigencia ambiental para garantizar unos niveles de ruido reducidos y adecuados para el desarrollo del mayor abanico de actividades (de diferente sensibilidad al ruido) en cualquier lugar, incluso en el exterior de las edificaciones. En el caso de intervenciones en un medio afectado previamente por un problema de contaminación – como es el caso habitual de la ciudad consolidada- la intervención urbanística deberá rebajar su exigencia en función de la complejidad del problema, asumiendo medidas correctoras técnicamente razonables y con la máxima eficiencia ambiental posible. Así, el deseo de lograr niveles sonoros ambientales bajos en cualquier punto de la ciudad, debería reducirse a las áreas protegidas por actuaciones a tal efecto, entre ellas el diseño protector de la propia edificación respecto de sus áreas exteriores inmediatas (zonas verdes o recreativas privadas).

En un último término, para casos extremos y ‘rendidos todos los puentes’, el interior de la propia edificación debería ser el refugio<sup>22</sup> último del ruido ambiental, gracias al aislamiento que puede ofrecer la construcción, apoyado por otras medidas.

### 5.4.4 Efectos diferidos

Por último, sería necesario prever los efectos diferidos y sinérgicos que las diferentes disposiciones que se realicen contra el ruido puedan tener sobre otros aspectos de la ordenación territorial, para evitar que la resolución de un problema genere o agrave otros. Esto se consigue precisamente mediante la planificación e integración de las diferentes disposiciones urbanísticas y medioambientales en un proyecto unitario, tal y como se preconizaba en el primer punto. En todo caso conviene prestar atención a los aspectos siguientes:

- Plantear medidas compatibles y sinérgicas con el desarrollo sostenible del medio urbano, evitando deformar las propuestas hacia consumos extensivos de suelo (abuso del alejamiento como estrategia), de escasa rentabilidad ambiental (baja eficiencia frente a gran inversión) o cualquier medida que no incida en reducir el transporte motorizado.

<sup>22</sup> Esto no significa que baste con protegernos en el interior de los edificios, puesto que esto sería renunciar a un mínimo de calidad acústica exterior necesario para mantener la cualidad de espacio de relación de la ciudad. El edificio como refugio debe ser también un escudo capaz de proteger del ruido ciertos espacios exteriores, como veremos al final del capítulo.



- Establecer disposiciones que no empobrezcan la propuesta urbanística: accesibilidad, permeabilidad del tejido urbano diseñado: itinerarios y recorridos peatonales, valores paisajísticos de la propuesta, calidad de los espacios libres y zonas verdes, calidad y autonomía de las propuestas edificatorias, etc.
- Establecer medidas que no interfieran en los flujos y relaciones que propicia la ciudad y que le dan su valor, como las anteriormente citadas sobre accesibilidad, pero también las relativas a la compacidad y mezcla de usos y actividades, mencionadas en la introducción.

## 5.5 Objetivos y estrategias de intervención a cada escala

A continuación entraremos en mayor detalle, ejemplificando acciones concretas a asumir en cada fase de planeamiento: territorial -general- de desarrollo (la nomenclatura urbanística concreta de cada uno difiere hoy entre las diferentes comunidades autónomas).

En el caso de intervenciones de regeneración o 'cirugía' del medio urbano consolidado, mediante estudios de detalle, planes de actuación u otras figuras que la futura normativa de planeamiento articule –la actual es escasa en instrumentos de intervención en el medio consolidado, como ya se ha comentado-, las medidas serán iguales a las relacionadas a continuación, en función del grado de consolidación del medio urbano, la escala de la intervención y el carácter del problema acústico a resolver. En todo caso será necesaria una mayor prevención de los posibles efectos diferidos sobre el medio, al ser este habitualmente más complejo.

### 5.5.1 Estrategias en planeamiento territorial

Como hemos visto en el punto anterior, el planeamiento territorial contiene las directrices generales para la ordenación del territorio, integrando la planificación urbanística con la planificación sectorial (medioambiental, infraestructuras...). Por ello tiene una capacidad coordinadora clave desde el punto de vista de la prevención del ruido, debiendo hacer compatible las intervenciones sobre el territorio acústicamente contaminantes –carreteras, ferrocarriles- con las acústicamente sensibles – en general, los desarrollos urbanísticos.

El planeamiento municipal no tiene capacidad para asumir esta escala de intervención. La mera tutela urbanística de las comunidades autónomas sobre los planes municipales, sin un plan efectivo de coordinación territorial de referencia con vocación ejecutiva será siempre insuficiente.

Desde un punto de vista de la prevención del ruido, un plan territorial tendría la capacidad y responsabilidad de aplicar las estrategias de intervención siguientes:

- Limitar desde el planeamiento territorial las dimensiones máximas de las áreas urbanas, imposibilitando su crecimiento ilimitado y promoviendo la creación de redes de ciudades antes que grandes metrópolis de difícil gestión.
- Promover planes regionales de movilidad y transporte que incidan sobre medios propios de la escala municipal, reduciendo en último término la necesidad de transporte motorizado privado en favor de otros medios más sostenibles y menos contaminantes.

- Coordinar las actuaciones en las áreas limítrofes entre términos municipales, para garantizar la compatibilidad acústica de terrenos colindantes sujetos a planeamientos generales distintos. Resolver, por ejemplo, la planificación y gestión conjunta del ruido en aglomeraciones urbanas con más de una titularidad municipal.
- Elaborar directrices de planeamiento regional que salven las afecciones y servidumbres acústicas existentes y previstas.
- Coordinar las estrategias urbanas de ordenación frente a fuentes de ruido de escala territorial: aeropuertos, carreteras y ferrocarriles. De todos ellos, los primeros han de ser considerados obligatoriamente a esta escala, evitando la aprobación de planes generales que desarrollen ciudad nueva cerca de grandes infraestructuras aeroportuarias, en concreto actuaciones urbanísticas:
  - Cerca de las rutas de aproximación y despegue (más conflictivas que las propias instalaciones aeroportuarias)
  - A sotavento del dominante respecto del aeropuerto (las direcciones dominantes vienen marcadas por los ejes de pista)
  - En la proximidad de zonas aeroportuarias de actividad nocturna (plataforma de terminales de carga), con usos residenciales sensibles al ruido

Y, en todo caso, evitar siempre la proximidad a aeropuertos militares: especialmente ruidosos, de tráfico impredecible e impermeables a la regulación medioambiental.

Para las siguientes escalas de intervención, intentaremos diferenciar entre estrategias generales de actuación y recomendaciones prácticas concretas.



*Figura 5.2. La prevención del ruido de origen aeroportuario ha de realizarse desde las etapas iniciales de planeamiento. Boeing 747-400 desde la famosa Myrtle Avenue de Heathrow, Londres.*



### 5.5.2 Estrategias en planeamiento general

A la hora de formular un documento de planeamiento general sería un gran avance contar con un planeamiento territorial previo como el anteriormente descrito, lo que no es habitual. Además y como ya se ha comentado anteriormente, para que el marco de intervención fuese el adecuado, la iniciativa de planeamiento debe basarse en una justificación demográfica y socioeconómica real. Estas premisas no son estrategias de prevención del ruido en sí mismas, pero su aportación es fundamental para la consecución del objetivo inspirador que recordamos era conseguir el mejor medio ambiente acústico posible para el objeto planificado, la ciudad.

Desde un punto de vista acústico –y también urbanístico, puesto que las directrices aquí relacionadas no entrarían en conflicto con los fines del planeamiento-, los planes generales deberían seguir estas estrategias generales de intervención:

- Recoger y respetar las directrices territoriales de coordinación o, si estas no existen o son inconsistentes, coordinar directamente con los términos limítrofes la compatibilidad acústica de lo planificado, al menos sobre estos límites, así como la carga adicional de tráfico (y de ruido) a aportar sobre la red viaria común.
- Adoptar un criterio inicial de colmatación y regeneración de las áreas urbanas existentes, haciéndolas más compactas, útiles y sostenibles, antes de planificar la colonización de nuevas áreas rurales.
- Promover una densidad urbana mínima en esas nuevas áreas que haga rentable el transporte público y favorezca los desplazamientos a pie o en medios no motorizados.
- Estudiar la problemática acústica preexistente<sup>23</sup> e incluir las medidas necesarias para su corrección progresiva junto con las eventuales directrices de crecimiento, especialmente si estas medidas son planes de acción contra el ruido que se hayan iniciado ya.
- Estudiar la situación acústica en escenarios progresivos mediante el empleo de modelos de predicción y retroalimentar la propuesta urbanística del plan hasta hacerla acústicamente satisfactoria.
- Posicionarse respecto de servidumbres acústicas existentes o previstas: trazando medidas generales de protección, alejamiento o compatibilidad de usos urbanísticos, En concreto:
  - Garantizar el alejamiento de grandes infraestructuras industriales y portuarias: debido especialmente a su actividad nocturna y al tráfico pesado que generan y que las hace muy difícilmente compatibles con las áreas urbanas.
  - Garantizar el alejamiento de otras grandes infraestructuras lineales: autopistas y ferrocarril o búsqueda de garantía de medidas efectivas de protección (a continuación veremos esto más en detalle)
- Apoyarse verdaderamente sobre planes de movilidad y transporte sostenible<sup>24</sup> tanto para la gestión del suelo consolidado, como para la planificación de nuevos desarrollos.
- Zonificar el territorio acústicamente, pero con la mayor libertad posible de usos urbanísticos, que deberán adaptarse a la tipología acústica de cada área y no al revés. Una segregación estricta

<sup>23</sup> Sería recomendable, incluso para aglomeraciones inferiores a las establecidas en la Directiva 2002/49/CE para cartografiado estratégico, la elaboración de mapas de ruido de las poblaciones, al menos de las que vayan a renovar su planeamiento general.

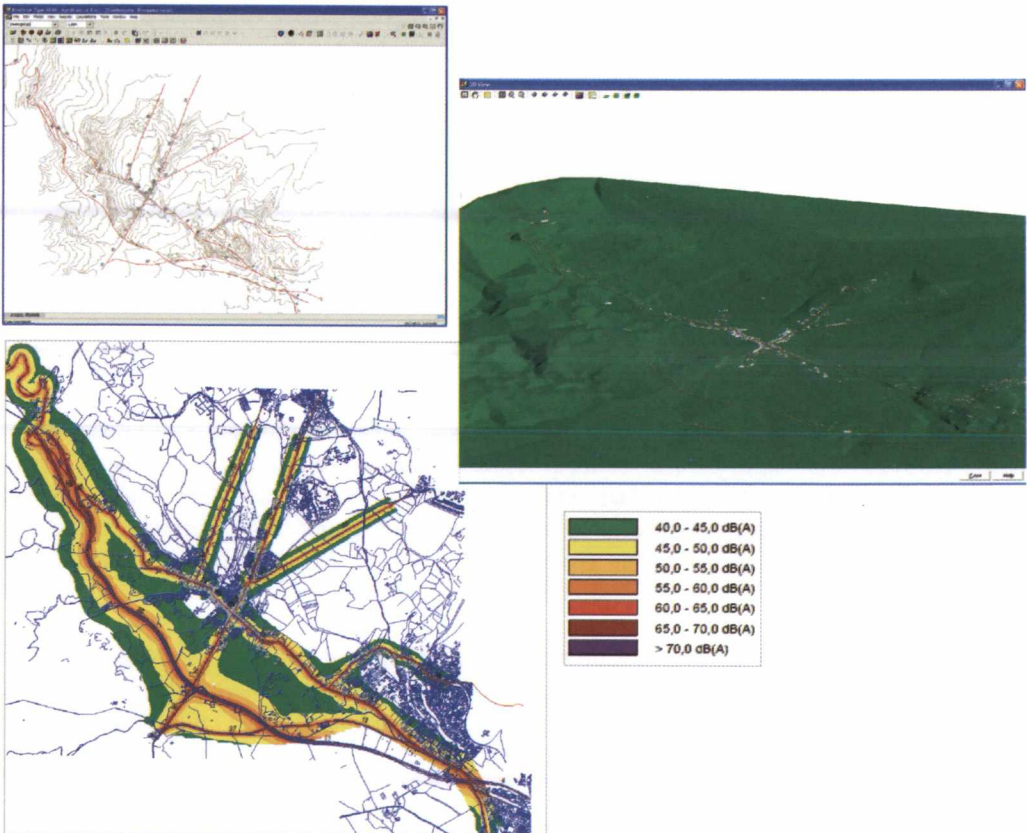
<sup>24</sup> Actualmente existen numerosas iniciativas y subvenciones para ejecutar estos planes a nivel municipal a raíz de la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes derivadas del transporte motorizado. La eventual reducción de las emisiones energéticas (ruido) sería un beneficio colateral inestimable. (Nota del autor).



empobrece el tejido urbano y conlleva un mayor coste ambiental (y acústico) derivado de las mayores necesidades de transporte.

- Establecer los mecanismos de vigilancia y gestión del ruido necesarios para la regulación del mismo a lo largo de los años de desarrollo del plan (ordenanzas de prevención del ruido apoyadas en zonificación acústica).
- Derivar de forma coordinada la pormenorización de medidas preventivas propias del planeamiento de desarrollo hacia los futuros Planes Parciales.

Vamos a intentar desarrollar estas estrategias generales, intentando formular algunas recomendaciones prácticas centradas en áreas típicas de intervención en el planeamiento general:



**Figura 5.3.** La elaboración de modelos de predicción es una herramienta fundamental para la planificación acústica. En la imagen modelo elaborado para el PGO de Guadarrama Madrid.

### 5.5.2.1 Proximidad a una infraestructura ruidosa

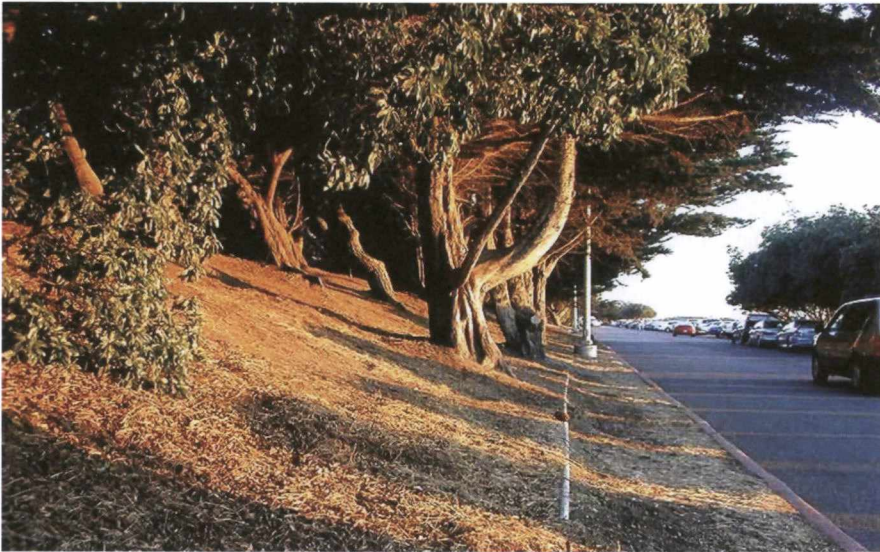
Inicialmente, deberíamos prever la proximidad a infraestructuras ruidosas que no haya podido resolverse a nivel territorial mediante una delimitación del propio ámbito de la propuesta urbanística, alejado de la propia fuente, intentando no desarrollar (recalificar) el suelo afectado por elevados niveles de ruido más próximo a la misma (las denominadas *buffer-zones*), o bien calificándolas como suelo no urbanizable de protección acústica y carácter forestal, si la normativa de planeamiento lo permite.

Para poder aplicar esta estrategia, las fuentes de ruido deben ser preexistentes o conocidas y debemos situarnos en una etapa de planeamiento inicial, en la que aún estemos a tiempo de establecer qué parte del territorio se va a ocupar por esos usos sensibles (viviendas, zonas verdes, dotaciones escolares y sanitarias...). No es, por tanto, una estrategia válida en planeamiento de desarrollo, donde la delimitación de sectores, usos e intensidades están ya normalmente prefijados y donde el alejamiento necesario de la fuente sonora (p.e. una carretera o ferrocarril) puede ser tan grande que impida la materialización de los aprovechamientos urbanísticos con las tipologías edificatorias deseadas en la parte de suelo restante. Esto es sencillo de entender si pensamos que en un típico desarrollo residencial, por ejemplo, el porcentaje de suelo ocupado por viviendas -el que genera los aprovechamientos que sostienen económicamente la actuación, es decir, el uso genérico que 'financia' al resto-, es mucho mayor que el ocupado por usos teóricamente de menor sensibilidad (deportivo, comercial...), por lo que el espacio intersticial creado por el alejamiento no podrá ser ocupado totalmente por estos usos, haciendo inviable la actuación. Por tanto la estrategia de alejamiento es válida sólo en planeamiento general o territorial, donde estaremos a tiempo de delimitar los sectores a ocupar por usos sensibles, lejos de las infraestructuras ruidosas.

Como alternativa, en caso de necesitar incorporarlas al suelo urbano, estaría el intento de crear zonas verdes no estanciales de uso visual, forestal, recreativo, zonas verdes o espacios libres no ligados directamente al uso residencial, a los que no se exijan los niveles sonoros de zonas verdes estanciales y que, con una configuración extensiva de bajo mantenimiento, permitan la separación de las infraestructuras ruidosas. Estas zonas verdes de transición acústica podrán tener un uso paisajístico (entre otras cosas de ocultación de la infraestructura ruidosa), medioambiental (sumidero de  $CO_x$ ), forestal (aprovechamientos forestales clásicos), recreativo y deportivo (itinerarios deportivos) y de entretenimiento (ocio agrícola). Este tipo de zonas verdes no están contempladas en algunas normativas acústicas para la planificación, que exigen para todas ellas niveles sonoros muy bajos, por lo que en algunos lugares su obtención es difícil y su uso como transición acústica imposible.

Además de sortear este problema, sería interesante que estas zonas verdes pudiesen computar parcialmente en el cálculo de las cesiones urbanísticas ya que, de modo parcial, tendrían una utilidad pública (forestal, paisajística, ambiental, recreativa...) Si estas zonas verdes se proyectan de modo conjunto con caballones o diques de tierra junto a la fuente de ruido que aporten una atenuación inicial por apantallamiento, podrían incluso diseñarse y computar a efectos de cesiones, como zonas verdes clásicas de carácter estancial, ya que sus niveles sonoros podrían reducirse hasta los límites propios de este uso sensible (siempre que se evalúen a la altura lógica de una persona y no a 4m de altura, como se exige en alguna comunidad autónoma, de modo inexplicable).





*Figura 5.4. Ejemplo de un caballón ajardinado de 4 m de altura en Berkeley, California. Nada que ver con una pantalla al uso*

En caso de no ser posible alejarse del origen del ruido, será necesario prever la proximidad a infraestructuras ruidosas mediante zonificación y atenuación combinada por distancia y apantallamiento.

La zonificación consiste en asignar usos menos sensibles al ruido (industrial, comercial, deportivo...) a las zonas más próximas a la fuente. El problema es que la zonificación por sí sola, no suele ser suficiente, porque no suele haber suficiente demanda de suelo industrial o terciario como para crear un área de transición de un uso menos sensible que proteja completamente las áreas residenciales.

En ese caso estaríamos abocados al apantallamiento de la fuente, ya que el alejamiento en sí consume suelo urbano innecesariamente y obliga al mantenimiento de espacios libres de baja calidad acústica.

Si no es posible esa atenuación por zonificación y distancia, será necesario establecer medidas que garanticen la protección a todas las alturas de la edificación previendo:

- una limitación progresiva en las alturas máximas respecto de las fuentes de ruido.
- medidas de apantallamiento eficaces para todas las alturas de edificación previstas o conjunción de medidas de apantallamiento efectivas a nivel de suelo, con medias de protección de la edificación en altura.

### **5.5.2.2 Zonificación acústica**

La zonificación acústica de nuevas áreas deberá realizarse de modo acorde con los niveles sonoros existentes y, sobre todo, con los niveles ambientales deseados en función de los usos dominantes,



garantizando siempre la compatibilidad de áreas limítrofes, que no deberán diferir en más de un grado en su sensibilidad.

Para zonas consolidadas, la zonificación deberá reflejar el uso característico o dominante y recoger de modo adicional la existencia de problemas acústicos mediante la delimitación de zonas de actuación, como primer paso para la corrección.

La zonificación acústica debe promover una organización de los usos del suelo con criterios de compatibilidad acústica, pero nunca de modo excluyente: permitiendo desde el planeamiento general la microzonificación a nivel de planeamiento de desarrollo, con medidas de templado y compatibilización para posibilitar la necesaria mezcla de usos, que a su vez reducirá la demanda de transporte. De este modo, las áreas acústicas resultantes de la zonificación deberían permitir la existencia de actividades y usos distintos a los característicos de esa sensibilidad acústica, siempre que se adecuen a esa sensibilidad, bien en sus emisiones –caso de ser más ruidosos- o bien en su protección –caso de ser más sensibles-.

Para una mayor efectividad práctica de la zonificación acústica sería necesario tanto la regulación acústica de los usos reales para su adaptación a los criterios del área (menor emisión para los teóricamente más ruidosos y mayor aislamiento para los más sensibles) como la existencia de mecanismos de información, que incorporen la tipología acústica a la documentación registral, más allá de los documentos de planeamiento. En este sentido, sería deseable, por ejemplo, que la clasificación acústica del área en que una vivienda se encuentra estuviese recogida a nivel registral o, al menos, de forma obligatoria en los documentos de compraventa. Esto se conseguirá implícitamente y a nivel de proyecto en los edificios de nueva planta, ya que sus aislamientos se calcularán a partir de los niveles sonoros existentes en el exterior, tal y como especifica DB-HR del Código Técnico de la Edificación. Sin embargo, los edificios de nueva planta en su mayoría se sitúan ya en áreas acústicas de sensibilidad acorde con su uso. Esa información sería de especial interés para los edificios antiguos que encontramos en zonas acústicamente inadecuadas.

Es necesario prestar especial atención a la ubicación de zonas acústicamente conflictivas en sí, aquellas en que su sensibilidad acústica no encaja con su capacidad de producir ruido, o ésta con sus necesidades de ubicación. Estos casos pueden plantearse en el planeamiento general, pero habitualmente se tratan en fase de ordenación pormenorizada, por lo que los comentaremos más adelante.

### 5.5.2.3 Estudios independientes y revisión normativa

La revisión del planeamiento general debería ser hoy en día una oportunidad para impulsar trabajos independientes de modo coordinado con el nuevo planeamiento, así como normativas específicas que ayuden a la gestión futura del ruido urbano. También para reflexionar sobre los resultados de estudios realizados a nivel municipal y aprovechar sus conclusiones para un planteamiento acústico más completo:

- Por ejemplo, las Agendas 21, muchas de ellas elaboradas en los últimos diez años, son una oportunidad única para la obtención de un diagnóstico estadístico ambiental que puede incluir datos de afección y percepción del ruido urbano.

- Los estudios de tráfico o encuestas de movilidad realizados por necesidades de mejora de la red viaria o red de transporte colectivo, son una base valiosa sobre la que apoyar pronosis de ruido de tráfico a través de modelos de predicción (véase apartado siguiente).
- La acumulación de denuncias e inspecciones por ruido, incorporadas a un sistema de Información Geográfica nos ofrece una imagen fidedigna de la ubicación y delimitación previa de zonas acústicamente conflictivas o saturadas.
- Si se ha realizado un Mapa Estratégico de Ruido de la población o de las infraestructuras de transporte que atraviesan el correspondiente término municipal, ese esfuerzo ha de rentabilizarse en el planeamiento, utilizando sus resultados de nuevo para un diagnóstico acústico global (con la precaución de corregir la altura de evaluación utilizada, ya que no es adecuada para la planificación).

En cuanto a los nuevos estudios a impulsar desde las conclusiones del diagnóstico acústico-ambiental realizado para el planeamiento, la más evidente es la puesta en marcha de planes de acción contra el ruido en las zonas detectadas como de afección o actuación.

A nivel normativo, la revisión del planeamiento general es una oportunidad única para renovar las ordenanzas de control del ruido:

- Adaptándolas a la nueva normativa acústica de rango superior.
- Incorporando la zonificación acústica del término para facilitar el control del ruido ambiental.
- Incorporando las áreas de afección y las directrices de los correspondientes planes de acción
- Añadiendo a su ámbito de aplicación nuevas actividades que necesitan ser regladas desde el punto de vista acústico como:
  - licencias de actividades ruidosas
  - licencias de obras en la vía pública
  - control del ocio al aire libre
  - regulación acústica de la carga y descarga comercial
  - ruido de los servicios urbanos: recogida de basuras, ruido de contenedores de vidrio, barrido con escobas de soplado, etc.

Actividades muchas de ellas de enorme impacto acústico en la ciudad y muchas de ellas dependientes directamente de la propia administración local.

#### **5.5.2.4 Tráfico y transporte**

Como ya se ha mencionado anteriormente, la principal actuación hacia el tráfico desde del planeamiento general es la ejecución de un diseño urbano compacto que reduzca la necesidad de desplazamientos motorizados y que haga rentable el transporte colectivo.

A partir de estas condiciones básicas de diseño, y antes de definir medidas de diseño del viario y su tratamiento acústico que se tratan en la fase siguiente, será necesario establecer desde el planeamiento general un diseño de la red con criterios de prevención del ruido, basado en la jerarquización de la red viaria y en la ejecución de planes de movilidad sostenible.

### ***La jerarquización de la red***

Una estructura jerárquica clara de la red viaria, además de facilitar el diseño preventivo específico adaptado a las necesidades y capacidades de cada vía, tal y como se verá en el planeamiento de desarrollo, puede conseguir los siguientes efectos favorables a la reducción del ruido:

- Optimización de recorridos, evitando la carga adicional de tráfico de paso.
- Distribución de la intensidad circulatoria proporcionalmente a la categoría de la vía evitando tráfico intenso junto a zonas residenciales origen y destino de los desplazamientos.
- Optimización del coste de aplicación de medidas, concentrándolas en las vías de mayor rango.
- Adecuación de la reducida demanda de suelo para usos menos sensibles (comercial, oficinas, recreativo) con la longitud de vías de mayor carga (más ruidosas).
- Compatibilización con tráficos ciclistas que pueden discurrir por vías urbanas de segunda categoría
- Optimización del trazado de las líneas de transporte público permitiendo una proximidad relativa a las áreas residenciales sin atravesarlas (áreas con viario en *cul de sac*).

Hay numerosas y destacables experiencias de organización de la red viaria, específicamente en áreas residenciales, de gran impacto en la reducción del ruido de tráfico. Todas ellas gravitan sobre la utilización del *cul de sac* y son habitualmente ignoradas en España a favor de estructuras ortogonales sin mayor justificación que su mayor simplicidad de planificación, precisamente en la etapa que requiere mayor complejidad en su planteamiento.

### ***Planes de transporte o movilidad sostenible***

Han de ser concebidos de modo coordinado con la medida anterior y ejecutados de modo también coordinado con el planeamiento general. El efecto acústico más directo de estos planes es la reducción de la demanda de transporte privado motorizado, ayudando a reducir las emisiones acústicas de éste, principal fuente de ruido urbano.

Estas serían algunas líneas de actuación básicas de un plan de movilidad sostenible:

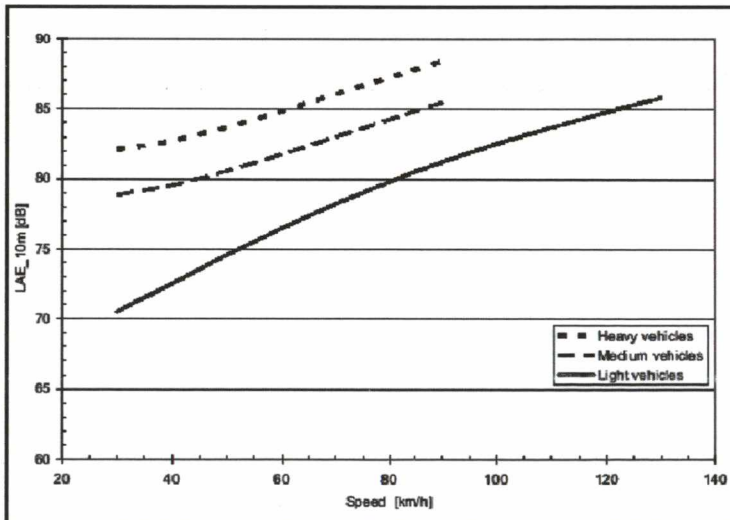
- Partir de una mínima densidad urbana que haga rentable el transporte público, promoviendo una reducción de la demanda de tráfico motorizado privado.
- Potenciar medios no contaminantes acústicamente: itinerarios peatonales y ciclables mediante la creación de nodos de interconexión con el transporte público y adaptación de los medios de transporte público para el transporte de bicicletas.
- Templar el tráfico en el mayor rango posible del viario urbano para posibilitar la compatibilidad con el tráfico ciclista.
- Diseñar una sección del viario que compatibilice distintos medios de transporte y áreas de carga y descarga.
- Establecer una mayor exigencia en la homologación acústica y el control de emisiones de vehículos: semipesados ruidosos, motocicletas trucadas o especialmente ruidosas en origen...





**Figura 5.5** Autobuses urbanos con transporte para bicicletas. Un ejemplo de integración de medios de transporte de medio y largo recorrido en Seattle, Oregon EEUU

El efecto acústico de la reducción y templado del tráfico motorizado queda en evidencia en las siguientes figuras. En la Figura 5.6 se aprecia la diferencia de emisión entre vehículos ligeros, semi-pesados y pesados, especialmente notable a bajas velocidades. En la Tabla 5.4 observamos el efecto sobre los niveles sonoros de diferentes porcentajes de reducción en el flujo de tráfico. En la Tabla 5.5 vemos la atenuación lograda por reducción de la velocidad, de nuevo especialmente acentuada en los saltos de menor velocidad.



**Figura 5.6.** Predicción del nivel de presión sonora a 10m de distancia para las tres categorías típicas de vehículos a velocidades constantes, según el método Nord2000. (Kragh et al, 2006)

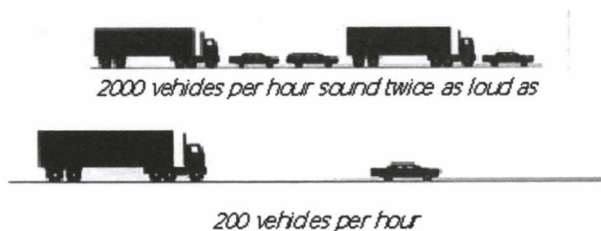
*Tabla 5.4. Efecto de los cambios en el volumen de tráfico sobre los niveles sonoros. (Bendtsen, H., et al, 2004)*

Reduction in traffic volume	Reduction in noise ( $L_{Aeq}$ )
10 %	0.5 dB
20 %	1.0 dB
30 %	1.6 dB
40 %	2.2 dB
50 %	3.0 dB
75 %	6.0 dB

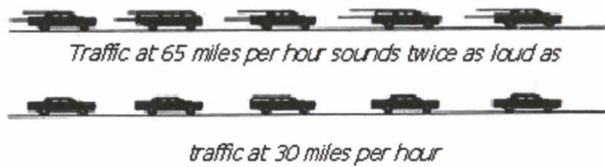
*Tabla 5.5. El efecto de las reducciones en la velocidad sobre el ruido. (Andersen, B., 2003)*

Reduction in speed	Noise reduction ( $L_{AE}$ , dB) from light vehicles	Noise reduction ( $L_{AE}$ , dB) from heavy vehicles
From 130 to 120 km/h	1.0	-
From 120 to 110 km/h	1.1	-
From 110 to 100 km/h	1.2	-
From 100 to 90 km/h	1.3	1.0
From 90 to 80 km/h	1.5	1.1
From 80 to 70 km/h	1.7	1.2
From 70 to 60 km/h	1.9	1.4
From 60 to 50 km/h	2.3	1.7
From 50 to 40 km/h	2.8	2.1
From 40 to 30 km/h	3.6	2.7

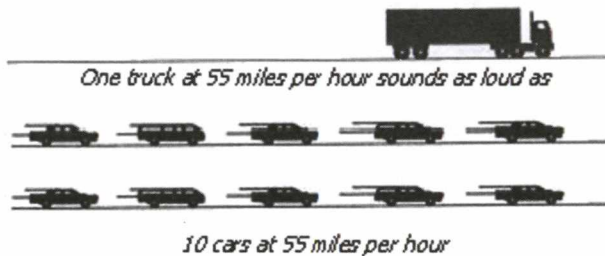
Las siguientes tres figuras de la Federal Highway Administration norteamericana ejemplifican intuitivamente los efectos acústicos de los tres fenómenos anteriormente citados: reducción de las intensidades (volumen de tráfico), reducción de la velocidad y reducción de vehículos pesados en la composición de un tráfico determinado.



*Figura 5.7. Cómo el volumen de tráfico afecta al ruido*



**Figura 5.8. Cómo la velocidad afecta al ruido**



**Figura 5.9. Cómo los vehículos pesados afectan al ruido. (Originales de la Federal Highway Administration, EE.UU.)**

### 5.5.2.5 Coordinación con el planeamiento de desarrollo

Por último, es necesario derivar de forma coordinada la pormenorización de medidas preventivas propias del planeamiento de desarrollo hacia los futuros planes parciales.

Esto se logra transmitiendo los resultados de las predicciones de ruido realizados en la fase de planeamiento general y las consiguientes precauciones y necesidades en las correspondientes fichas de planeamiento de cada sector.

Por otro lado es necesario que el planeamiento general no sea rígido, y otorgue a los planes parciales los grados de libertad necesarios para permitir su adaptación a la situación acústica futura. De este modo, las determinaciones del planeamiento general hacia los sectores de planeamiento de desarrollo deberán ser lo más abiertas posible, para que los futuros planes parciales puedan gestionar los problemas acústicos que no se hayan podido resolver desde el planeamiento general.

Por ejemplo, si a un sector de planeamiento situado en un área parcialmente ruidosa (próximo a una carretera) se le asigna un uso sensible (residencial) sin otros usos alternativos complementarios, se le traza un viario general vinculante que condiciona su diseño interior e incluso se le limita su tipología edificatoria; se le estarán cercenando las posibilidades de adaptarse satisfactoriamente a la situación acústica futura, como veremos a continuación al ver las estrategias acústicas en la etapa de desarrollo.



### 5.5.3 Estrategias en el planeamiento de desarrollo

En esta fase de planeamiento urbanístico nos encontramos con el plano de intervención más próximo a la realidad construida y donde se deben concretar las determinaciones que se han venido arrastrando desde las anteriores fases del proceso.

Desde un punto de vista acústico, es el último documento de ordenación desde el cual podemos prevenir efectivamente los futuros problemas de ruido ambiental. Todo lo que no se resuelva en esta fase, deberá resolverse mediante medidas correctoras de carácter defensivo de mayor impacto y menor rentabilidad.

Tal y como se ha mencionado, sería deseable que para la elaboración de un Plan Parcial u otra figura de planeamiento de desarrollo (Plan Especial, Estudio de Detalle...) en la meso o micro-escala urbanística, el planeamiento de rango superior hubiera establecido unas directrices acústicamente correctas en cuanto a la calificación urbanística del ámbito y las medidas generales de protección contra las afecciones por ruido preexistentes o previstas sobre el mismo. Sin embargo, no es extraño encontrar sectores a desarrollar, delimitados y ordenados en sus parámetros generales por figuras de planeamiento deficientes en su consideración del problema del ruido, con lo que sobre ellos recae la responsabilidad de la resolución de problemas acústicos de una escala superior a sus posibilidades o capacidad razonable de intervención.

En muchos casos, además, los actuales criterios de calidad acústica no existían a la aprobación del planeamiento general, y la actual exigencia del órgano ambiental sobre el planeamiento de desarrollo puede dificultar su viabilidad debido a la carga económica y de diseño de las medidas correctoras a asumir.

Para la solución de estos problemas, se debería ser proclive al uso de las herramientas de la propia arquitectura (por ejemplo el edificio-pantalla volcado hacia su fachada silenciosa, que se ejemplifica más adelante), no exigiendo la justificación previa de unos niveles sonoros ambientales al exterior en todo el sector de planeamiento cuando éstos sean imposibles de alcanzar o bien necesites medidas que puedan desvirtuar la propuesta urbanística.

#### 5.5.3.1 Estrategias de intervención en el planeamiento de desarrollo

En esta etapa de planeamiento debemos mantener en lo posible una línea intervención activa contra el ruido de modo preferente, combinándola con estrategias de orden defensivo. Desde ese punto de vista activo, el centro de actuación del planeamiento de desarrollo debe ser en gran medida la calle, como escenario principal de emisión. Renunciar a intervenir en el diseño de la calle y centrarse exclusivamente en la regulación de la edificación no sería aceptable. Por tanto, las medidas de planificación que puedan incidir en el viario: jerarquización, templado, sección, etc. deberán ser prioritarias.

Las estrategias de intervención en esta fase de planeamiento, a efectos de prevención de la contaminación acústica, podrían establecerse de este modo:

- Ordenación de detalle: establecimiento de usos pormenorizados con criterios de compatibilidad acústica, más allá de lo que establece la normativa al uso, a partir de la zonificación acústica

general. Esto es lo que denominamos microzonificación acústica, que se basa en la posibilidad de compatibilizar a escala reducida usos de diferente carácter acústico, siempre y cuando sean naturalmente compatibles o dicha compatibilidad se fuerce mediante la adaptación a las necesidades del más sensible. Para ello será necesario considerar con especial detalle las áreas de transición acústica real y los conflictos entre zonas sensibles y a la vez ruidosas.

- Trazado de una red viaria colectora y distribuidora jerarquizada (mismos principios que el planeamiento general), considerando tipologías viarias de menor incidencia acústica en el acceso final a las áreas residenciales (*cul-de-sac*).
- Combinación de medidas de diseño del viario con la ordenación volumétrica de la edificación para provocar secciones conjuntas viario – edificación que prevengan la afección por ruido.
- Diseño de una red viaria que incluya medidas de templado de tráfico (regulación de velocidades), produzca flujos de tráfico continuos e incorpore medidas de restricción del vehículos ruidosos, allí donde sea necesario. Utilización de las propias ordenanzas de plan parcial para promover la regulación del tráfico ruidoso y la afección de los servicios urbanos (recogida de basuras y otras labores ruidosas de servicio público)
- Establecimiento de prescripciones acústicas para la edificación: tipologías, alineaciones y volúmenes a edificar que colaboran a su adaptación al ruido ambiental, permitiendo la mayor libertad posible para el diseño arquitectónico: disposición volumetría de la edificación (edificios pantalla), microzonificación a nivel edificatorio (compatibilidad interna de usos y con el ruido en fachada)
- Por último confiar en la pericia del proyectista, ya que la Arquitectura posee respuestas tradicionales al problema del ruido siempre que se permitan ciertos grados de libertad compositiva. La historia de la arquitectura moderna está llena de ejemplos magníficos de solución de problemas de inmisión sonora.

Vamos a desarrollar a continuación algunas de estas estrategias, con ejemplos concretos de intervención

### 5.5.3.2 Áreas de transición acústica real y tratamiento de zonas acústicamente conflictivas

Una zonificación acústica poco inteligente o poco detallada puede crear falsas necesidades de compatibilización de usos urbanísticos. Un ejemplo clásico es la teórica incompatibilidad de una zona deportiva (tercer grado de sensibilidad al ruido) con una zona escolar (primer grado); sin embargo ambas actividades no solo son compatibles sino complementarias y separarlas o introducir áreas de transición acústica entre ellas es innecesario.

Otro ejemplo claro son los polígonos tecnológicos, de razonablemente bajo impacto acústico directo (por su actividad productora en sí) o indirecto (por inducir relativamente poco tráfico ruidoso). Su clasificación como zonas industriales en un cuarto grado de sensibilidad / conflicto acústico, los hace incompatibles, por ejemplo, con áreas residenciales, cosa no siempre cierta.

Por ello, antes de determinar necesidades de transición acústica es necesario analizar el verdadero carácter de las actividades y zonificarlas pormenorizadamente de acuerdo con ese carácter. En todo caso, esa transición debería intentar conseguirse mediante otro uso del territorio y no simplemente introduciendo espacios libres vacíos de contenido.



En este sentido, y como mencionábamos al hablar del planeamiento general, es necesario prestar especial atención a la ubicación de zonas acústicamente conflictivas, aquellas en que su sensibilidad acústica no encaja con su capacidad de producir ruido, o ésta con sus necesidades de ubicación. En estos casos es primordial aceptar las incongruencias, planteando soluciones de detalle (microzonificación) a desarrollar en proyecto. Tres casos típicos:

1. Las dotaciones escolares, sub-áreas especialmente ruidosas (patios y áreas de recreo) y a la vez con necesidad de aislamiento en las edificaciones docentes.
2. Los grandes hospitales con necesidades de silencio y a la vez de accesibilidad, próximos por lo tanto a vías de alta capacidad
3. Intercambiadores de transporte, generadores de ruido por tráfico semi-pesado intenso y de amplio horario, a localizar en puntos neurálgicos de las ciudades próximos a áreas residenciales y por tanto sensibles al ruido.

Aquí sería necesaria una interpretación flexible de la normativa acústica existente para posibilitar la mejor ubicación y configuración de estas áreas.

Un ejemplo para la solución de este tipo de casos es la ya citada, microzonificación acústica, casi a nivel de proyecto de edificación donde, por ejemplo, un área escolar puede tener sub-áreas deportivas o recreativas, acústicamente clasificadas con una sensibilidad específica diferente de las sub-áreas puramente docentes. En cada una de estas sub-áreas acústicas serán de aplicación las limitaciones acústico-ambientales que la normativa les asigna (véanse Tablas 5.1 y 5.2, sobre niveles objetivo en epígrafe 5.3.4).

### 5.5.3.3 Diseño y tratamiento acústico de la red viaria interior

Como evolución de las medidas ya planteadas en el planeamiento general, basadas sobre todo en la jerarquización del viario, el planeamiento de desarrollo deberá enfocar su esfuerzo en conseguir la máxima fluidez del tráfico con el máximo templado del mismo, evitando paradas innecesarias y excesos de velocidad, respectivamente (véase Figura 5.6).

Por otro lado se deben proponer secciones de viario complejas y preventivas del ruido que ordenen esa microzonificación de la ciudad a partir de la calle, manejando criterios acústicos de modo compatible con otras necesidades: movilidad, soleamiento, necesidad de dotaciones. Algunas recomendaciones de actuación en cuanto al diseño viario / edificación para las zonas más densas:

- Estudiar cada sección de calle en función de su jerarquía, previendo la existencia o no de tráfico semipesado, de carga y descarga, las posibles medidas de atenuación de su ruido, la necesidad de compatibilización con tráfico ciclista, etc.
- Evitar secciones de calle en U cerrada: una apertura de la sección mejora el soleamiento y reduce las reflexiones acústicas.
- Evitar galerías paralelas a avenidas ruidosas o bien acondicionarlas con materiales absorbentes para evitar reflexiones en su interior.

Algunas recomendaciones de actuación en cuanto al diseño del viario:



- Continuar la jerarquización iniciada en el planeamiento general, diferenciado el trazado y características de las vías colectoras o distribuidoras, de las de acceso final a las viviendas, de donde se debe conseguir extraer el tráfico de paso y, en lo posible, el de servicios urbanos ruidosos (recogida de residuos sólidos urbanos y vaciado de contenedores de reciclado).
- Diseñar la vía incorporando medidas de templado de tráfico, más allá de la mera limitación de velocidad, ejemplos:
  - Introducción de badenes de sección suave (para no generar ruido adicional) de forma espaciada y coincidentes con puntos de atención, como pasos de peatones o cruces.
  - Crear estrechamientos de la calzada en puntos de buena visibilidad para provocar una intuitiva reducción de la velocidad. Pueden ser también coincidentes con puntos de atención y usarse en combinación de los anteriores.
  - Provocar cambios de alineación del eje, simplemente variando el lado de estacionamiento en tramos de una misma calle, para evitar las rectas de gran longitud.
- Diseñar las intersecciones del viario de modo que funcionen con la máxima fluidez<sup>25</sup> evitando arrancadas y paradas sucesivas, por ejemplo:
  - Glorietas de correcta dimensión y visibilidad donde geoméricamente sea posible.
  - Cruces de jerarquía clara, buena visibilidad y bien compatibilizados con el tráfico peatonal y ciclista, etc.
- Trazar itinerarios peatonales y ciclables en vías colectoras, promover la compatibilidad de los segundos con el tráfico motorizado en el viario de rango inferior mediante un fuerte templado de este último y una correcta señalización.
- Situar cuidadosamente los puntos críticos por ruido: paradas de autobús, contenedores, áreas de carga y descarga.
- Aplicar y mantener pavimentos fonoabsorbentes en las vías de tráfico más intenso.
- Utilizar una señalización específica para el control de ruido, además de la propia para la regulación del tráfico.



**Figura 5.10. Australia es pionera en señalización acústica y también en el control del ruido de tráfico. Detalles de señalización preventiva (Australian National Transport Commission y New South Wales Government)**

<sup>25</sup> Steven, H., 2005; estudio del efecto acústico de diferentes esquemas de conducción.

El diseño final de la red viaria se define en un documento proyectual que materializa las determinaciones detalladas sobre dicha red –y sobre el resto de redes urbanas- del Plan Parcial de Ordenación; es el denominado Proyecto de Urbanización.

#### **5.5.3.4 Diseño de la edificación**

Que los documentos de planeamiento de desarrollo recojan ordenanzas edificatorias que permitan un diseño de la edificación defensivo frente al ruido tiene un gran interés en caso de existir o preverse una especial afección no resuelta en su totalidad desde el planeamiento. En caso de no preverse más afección que la generada por la propia actividad urbana, las ordenanzas edificatorias deberían centrarse en la configuración en sección abierta de las calles, de acuerdo con las recomendaciones del apartado anterior.

En caso de afección preexistente, las ordenanzas edificatorias del plan parcial, deberían permitir ciertos grados de libertad compositiva y volumétrica para la edificación, pudiendo hacer del edificio una eficiente barrera antirruído sin comprometer el confort acústico interior.

#### ***Principios de la edificación defensiva***

En la ordenación pormenorizada de nuevos desarrollos y más aún en intervenciones de detalle sobre áreas ya consolidadas de la ciudad, la estrategia intuitiva del alejamiento de la fuente de ruido no es posible o aceptable: tanto por falta de espacio material –conseguir una atenuación significativa por distancia requiere mucha- como por economía de uso del espacio existente. De este modo, no tendría sentido alejar la edificación de la fuente de ruido (carretera, ferrocarril, área industrial...) exponiendo los espacios liberados al ruido, cuando la propia edificación puede ser la mejor barrera y proteger esos espacios sin necesidad de medidas de apantallamiento.

Existen numerosos ejemplos de edificios adaptados al ruido exterior que mediante su posición activa y el sacrificio de una fachada ‘ruidosa’ consiguen tanto un aislamiento perfecto en su interior como atenuar por apantallamiento propio los niveles en una fachada silenciosa y los espacios exteriores colindantes con ella. Para ello es necesario un diseño que aúne ciertos principios de posición en la parcela, de forma y volumen edificados.

Solo en áreas donde haya necesidad de edificación aislada y de muy baja altura (unifamiliar, normalmente) es recomendable intentar un cierto alejamiento coordinado con una medida de apantallamiento de la fuente. En estos casos, la edificación no puede servir de barrera (por su escaso volumen y su dispersión) y las barreras al uso sí tienen eficacia sobre todas las alturas edificadas, que son normalmente dos.

#### ***Edificio barrera, situación y posición***

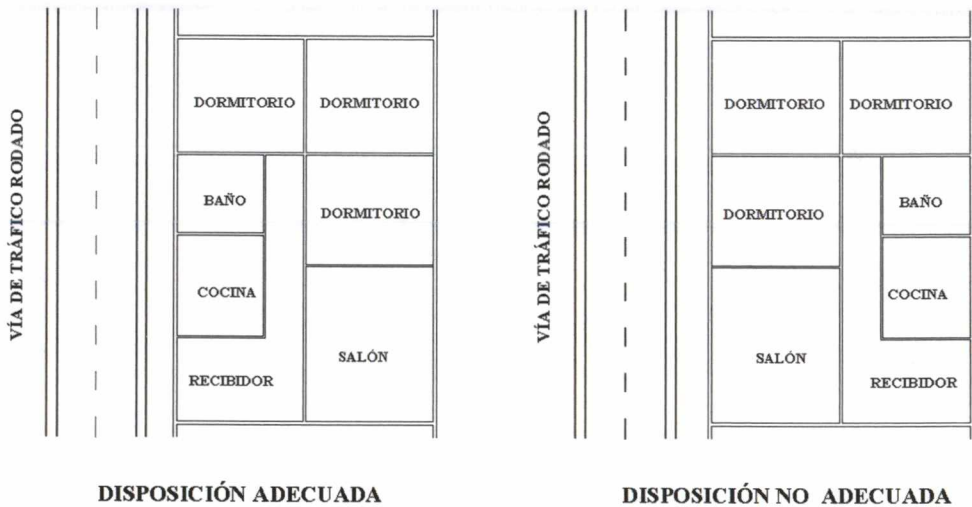
La tipología edificatoria del edificio barrera debe responder a las configuraciones de bloque lineal o manzana cerrada, siendo más flexible la primera. En ambos casos, la tipología del bloque lineal o de cada crujía de manzana ha de ser de vivienda pasante, para que todas las viviendas con fachada ruidosa, tengan también la correspondiente fachada silenciosa.

La posición del edificio ha de ser activa, aproximándose razonablemente a la fuente e incrementando así su eficiencia geométrica como barrera. La clave será la búsqueda de una fachada silenciosa, por lo que la forma del bloque ha de ser paralela a la fuente de ruido. Lógicamente, el aislamiento acústico de la fachada expuesta deberá ser dimensionado en función de los niveles existentes y, para que sea efectivo, sus huecos no deberían ser practicables.

### Programa

Por este motivo, es recomendable organizar el programa edificatorio (distribución de usos interiores) de modo que sobre esa fachada ruidosa recaigan en lo posible elementos comunes o de paso, como huecos de escalera, corredores, ascensores, cuartos de servicio, etc. y, en segundo lugar, las estancias menos sensibles de las viviendas: cocinas, baños, pasillos, etc.

A cambio, ese mismo programa localizará las estancias vivideras y más sensibles (salones y dormitorios) hacia la fachada silenciosa, donde sí se podrá hacer vida con ventanas abiertas, balcones y terrazas, que además colindarán con las zonas comunes que el propio edificio estará apantallando contra el ruido (véase Figura 5.11).

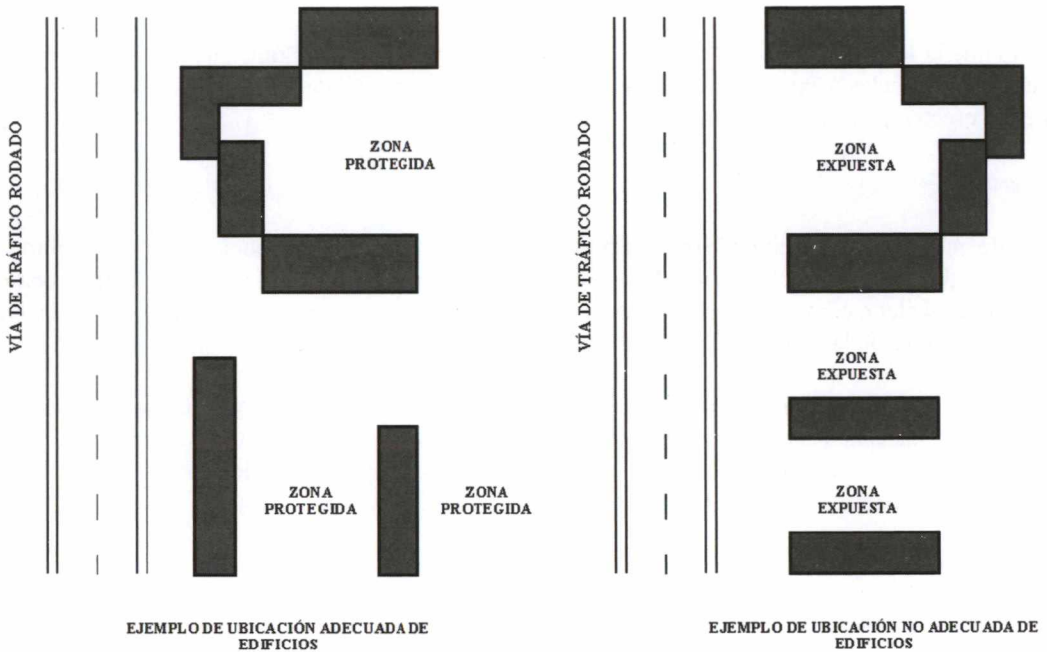


*Figura 5.11. Propuestas de organización de un programa residencial en el interior de viviendas situadas en zonas ruidosas (sobre esquemas originales del MOPU 1983)*

### Forma en planta

El edificio barrera ha de tener una importante componente longitudinal paralela a la fuente de ruido (lineal) y una altura mínima si deseamos que proteja adicionalmente a edificaciones posteriores. Frente al ruido transmitido por los flancos de la edificación, las formas convexas o formas en L o en C resultan efectivas (véase Figura 5.12).





**Figura 5.12.** Esquemas en planta para la mejor disposición edificatoria contra el ruido (sobre esquemas originales del MOPU 1983)

### Sección

En estas fachadas ruidosas se pueden proyectar ‘silenciadores’, balcones absorbentes que reducen los niveles finalmente incidentes sobre el cerramiento. Deben ir protegidos con petos y material absorbente en la parte inferior del voladizo. Sin embargo su uso particular quedaría restringido a terrazas de servicio o tendederos.

Otra opción son las viviendas - corredor, que posibilitan una doble fachada en el frente ruidoso si los corredores longitudinales se cierran, creando una auténtica barrera antirruído integrada en el propio edificio.

Una tipología interesante es la disposición de bloques con elevación progresiva: con viviendas bajas (apantallables) en primera línea y líneas de edificación sucesivas de mayor altura (véase Figura 5.13).

Una variación de lo anterior cuando el uso de la edificación puede ser mixto consiste en provocar un retranqueo del tramo residencial mediante un basamento comercial o terciario que apantalla (edificio escalonado). Esta solución es muy útil para solucionar secciones edificatorias en avenidas urbanas de tráfico intenso con capacidad y necesidad de alojar usos comerciales.

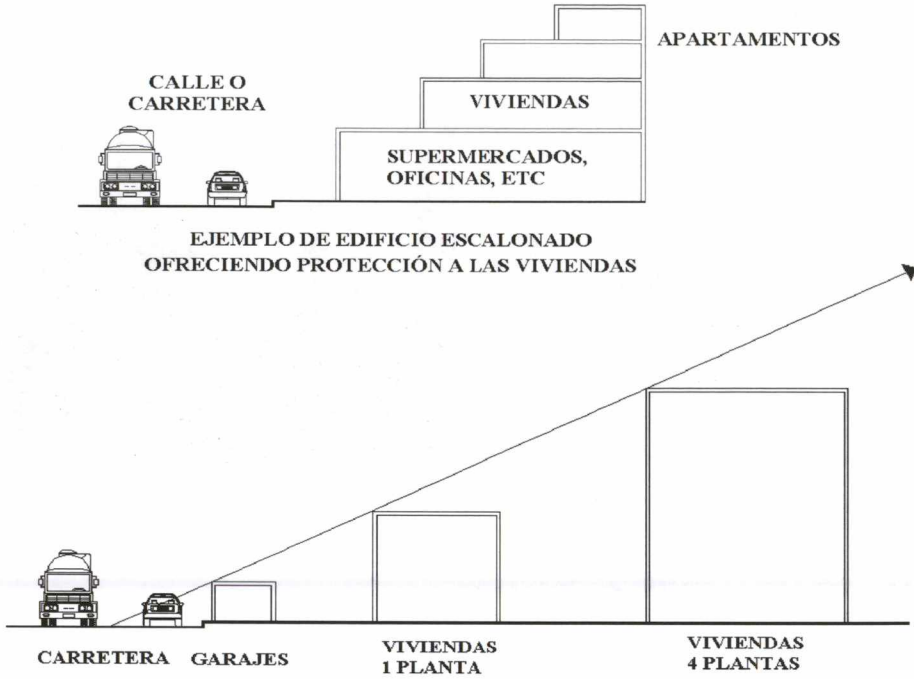
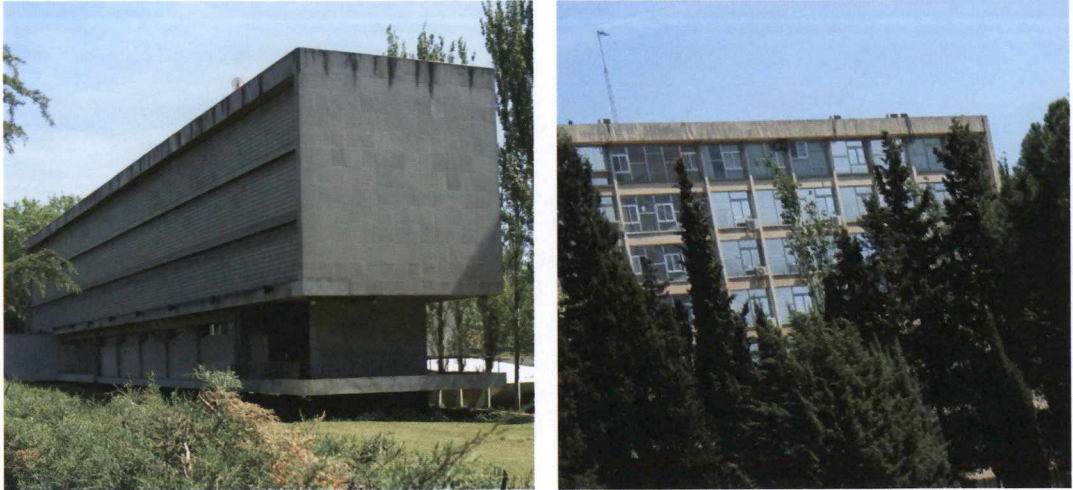


Figura 5.13. Esquemas en sección y planta para la mejor disposición edificatoria contra el ruido (sobre esquemas originales del MOPU 1983)



Figura 5.14. Ejemplo de arquitectura defensiva: desmaterialización de la fachada ruidosa e integración en la medida de apantallamiento. Viviendas junto al cinturón urbano de Oxford, Inglaterra



*Figura 5.15. Ejemplo de arquitectura defensiva: fachada ruidosa y fachada silenciosa de la Casa do Brasil, de L.A. d'Escragnolle (Arq.), junto a la autopista A-6 en Madrid*

### 5.5.3.5 Alejamiento: retranqueo acústico

Esta estrategia es práctica y aceptable en zonas de baja densidad, donde prime la edificación aislada unifamiliar. En todo caso la corrección en esta etapa de planeamiento no vendrá dada tanto por el alejamiento en sí, como vimos en el epígrafe 5.5.2.1 sino por su combinación con medidas de apantallamiento de dimensión razonable y, a ser posible, integradas con la zona verde liberada entre la fuente de ruido y las primeras viviendas. Aquí, estas medidas sí serán eficaces puesto que las alturas edificadas son pocas y fáciles de proteger.

### 5.5.3.6 Apantallamiento

No entraremos a tratar en detalle el caso de las pantallas acústicas, puesto que son objeto de otro capítulo de este libro. Nos limitaremos aquí a reiterar su consideración como el último recurso contra el ruido exterior, asumiendo que ninguna de las medidas preventivas citadas en el capítulo haya sido posible.

A la hora de dimensionar una pantalla es necesario conocer su funcionamiento acústico, al menos los principios básicos de su sección, para lo que remitimos al lector al citado Capítulo 7. Baste decir aquí que la zona de sombra acústica de una barrera es más pequeña que su sombra visual, es decir, que el hecho de que una barrera oculte el tráfico no significa que lo apantalle acústicamente, debido a la difracción que se produce en su cumbre. Por ello será difícil conseguir que una pantalla proteja a un receptor situado a la misma altura o superior a la de la propia barrera respecto del emisor. De este modo, la eficacia acústica de las pantallas más habituales constructivamente (3-5m de altura), concebidas para la protección de los espacios exteriores en general y de sus usuarios a pie de calle, se ve muy escasamente representada a la altura de evaluación de 4m que se utiliza para elaborar los mapas estratégicos de ruido y planes de acción. Por ello no se debe confundir la altura de evaluación acústica en planeamiento (1,5m en general) con otras alturas de evaluación para otros fines.



Como comentarios desde el punto de vista urbanístico, incidir que la elección de la tipología y criterios de diseño ha de guiarse por las necesidades acústicas a resolver (eficiencia) y su integración en el medio: reflexiones, oclusión visual, permeabilidad, degradación (graffiti) y mantenimiento<sup>26</sup>. Eficiencia e integración urbana serían las dos claves de diseño del apantallamiento. Para la primera nos volvemos a remitir al capítulo correspondiente, comentando brevemente a continuación sobre la segunda.

### ***Integración urbana***

En cuanto a la integración de la pantalla, citar en primer lugar la necesidad de no crear un problema acústico diferido por el efecto reflectante de la pantalla que se producirá si esta se levanta con un material de estas características y con un ángulo que, en función de la sección, pueda reflejar el sonido incidente en áreas sensibles opuestas.

Desde un punto de vista paisajístico es necesario prever la oclusión visual del efecto barrera de pantallas de altura considerable. Este efecto, para una altura similar, es menor en el caso de los caballones y, para ambas tipologías, se ver reducido si se integran en una zona verde contigua mediante el empleo de vegetación.

En cuanto a la permeabilidad urbana, es necesario destacar que una pantalla no es solo una barrera contra el ruido, sino también ante la circulación de peatones. Esto, junto con los efectos paisajísticos, las hace poco recomendables en áreas urbanas densas.

En el caso de las pantallas, la necesidad de prever y, en lo posible evitar, el graffiti es primordial si no queremos crear un muestrario permanente de degradación visual. Los métodos más útiles son:

- Construir caballones de tierra en vez de pantallas verticales
- Dificultar al acceso a la base de la pantalla
- Recubrir la pantalla de vegetación: plantas trepadoras, barreras de arbustos densos, etc.
- Utilizar paneles de materiales repelentes a la pintura o con una importante rugosidad superficial que los haga menos atractivos como 'lienzos'.

Los inconvenientes de los caballones son que ocupan más superficie en planta y para una misma altura máxima, tienen menos efectividad acústica al alejar la cumbre de la fuente de ruido. El segundo método tiene la debilidad de que la base de la pantalla es precisamente la zona de mayor protección o sombra acústica y restringir su acceso significa reducir el área de protección. En lo referente a la vegetación, comentar la necesidad de mantenimiento, especialmente hasta asegurar el crecimiento y protección de la barrera.

## **5.6 Bibliografía**

- Arau, H. *ABC de la Acústica Arquitectónica*. Capítulo 9. Transmisión de sonidos en espacios semicerrados: ciudades. Ediciones CEAC, 1999.

<sup>26</sup> Como referencia técnica sobre apantallamiento recomendamos la publicación de la OCDE de 1995 Roadside Noise Abatement, publicada en España por el MOPTMA, (ver Bibliografía)

- Campos Venutti, G. *Urbanismo y Austeridad*. Editorial SXXI, Madrid. 1981.
- Comité de Desarrollo Territorial de la Unión Europea. *Estrategia Territorial Europea ETE. Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE*. 1999.
- Comisión Europea. *Libro Verde sobre la política futura de lucha contra el ruido de la Comisión Europea*. COM(96)540, noviembre de 1996.
- Comisión Europea. *Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo, de 11 de enero de 2006, sobre una Estrategia temática para el Medio Ambiente Urbano* [COM (2005) 718 final, no publicada en el Diario Oficial].
- Daumal, F. Ruido y Planeamiento Urbano. *El Ruido en la Ciudad, gestión y control*. Ayuntamiento de Madrid 1991.
- Díaz Sanchidrián, C. *Apuntes de Acústica en la Edificación y el Urbanismo*. Instituto Juan de Herrera, 2002.
- Documento Básico HR de protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación, aprobado por el RD 1371/2007, modificado por el RD 1675/2008.
- Federal Highway Administration, EE. UU. *Highway Traffic Noise, 2007*.
- Fernández Pirla, S. *Arquitectura Legal y Tasaciones Inmobiliarias*. Editorial Rueda, Madrid 1985.
- García de Polavieja, G. *El impacto acústico del tráfico rodado: legislación y efecto sobre el planeamiento urbanístico*. Revista de Ingeniería Municipal. 2005.
- García Prieto, A. *La planificación territorial*. Cecodet - Universidad de Oviedo
- Ministère de l'Urbanisme et du Logement. *Bruit et Formes Urbaines*. CETUR. 1981
- Molina, E., Sanz, A. *Transporte en modos no motorizados. Ciudad y Territorio*, 1980
- Molina Costa, P. *El regreso a la Ciudad. Sobre la necesidad de innovación en el planeamiento del suelo urbano*. Congreso Nacional de Medio Ambiente, 2008.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE. *Roadside Noise Abatement*, publicado en España por el Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medio Ambiente. 1995.
- Pozueta, J. *Movilidad y Planeamiento Sostenible*. Instituto Juan de Herrera. 2000
- Rifkin, J. *What can cities do for the environment?* Foundation on Economic Trends. Washington, 2008

- Rueda, S. "*Ecología Urbana: Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents*" Beta Editorial. 1995
- Simon, P. *Train in the distance*. Hearts & Bones. Warner Bros. 1983
- Steven, H., 2005. Investigations on Noise Emission of Motor Vehicles in Road Traffic. *Research Project 200 54 135, Final Report*. Wuersele: RWTUEV Fahrzeug GmbH.
- Vejdirektoratet (Dinamarca). *Noise Control through Traffic Flow Measures. Effects and Benefits* Report 151. 2007

## Normativa

- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002 de *Evaluación y gestión del ruido ambiental*. Diario Oficial nº L 189 de 18/07/2002 p. 0012 - 0026
- Ley 8/2007, de 28 de mayo, del Suelo, BOE del 29 de mayo de 2007. Derogada por el RD 2/2008 de 20 de junio por el que se aprueba le texto refundido.
- Ley 37/2003 del Ruido, BOE número 276 del 18 de noviembre de 2003
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. BOE 23 de octubre de 2007.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a evaluación y gestión del ruido ambiental BOE 17 de diciembre de 2005
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE 28 de marzo de 2006.
- Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico DB-HR Protección frente al Ruido del CTE y se modifica el RD 314/2007. BOE 23 de octubre de 2007
- Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano de 1985, BO. Ayuntamiento de Madrid 05/12/1985

## FIGURAS

1. Tasvalor Medio Ambiente, SL. Esquema para el *Estudio de afección acústica por tráfico aeronáutico sobre el TM de San Fernando de Henares*. 2007.
2. *Boeing 747-400 desde la famosa Myrtle Avenue de Heathrow*, Londres. Foto de Adrian Pingstone.



3. Tasvalor Medio Ambiente, SL. Modelo para el *Estudio Acústico del PGO de Guadarrama, Madrid* 2005. [www.tma-e.com](http://www.tma-e.com)
4. *Caballón ajardinado en Berkeley, California*. Foto de Paul Kamen de la Berkeley Waterfront Commission.
5. *Autobuses urbanos con transporte para bicicletas en Seattle, Oregon* EEUU. Foto [www.momentumplanet.com](http://www.momentumplanet.com)
6. Kragh, J., Jonasson, H., Plovsing, B., Sarinen, A., Storeheier, S. Å. y Taraldsen, G., 2006. *User's Guide Nord 2000 Road*. Hørsholm: DELTA. AV 1171/06.
- 7, 8 y 9. Federal Highway Administration, EE.UU. *Highway Traffic Noise*, 2007.
10. *Señalización acústica en el sur de Australia*. Imágenes de la Australian National Transport Commission y el New South Wales Government.
- 11, 12 y 13. OCDE de 1995 *Roadside Noise Abatement*, publicado en España por el Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medio Ambiente. *Efecto de la disposición de la edificación sobre el nivel de ruido*.
14. *Viviendas junto al cinturón urbano de Oxford, Inglaterra* (foto del autor).
15. *Casa do Brasil, de L.A. d'Escragnolle (Arq.), junto a la autopista A-6 en Madrid*. Fotos: Ana Gómez-Pallete.

## TABLAS

1. *Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes*. Reproducción de la Tabla A del anexo II del RD 1367/2007, citada en el Artículo 14.1
2. *Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas urbanizadas*. Modificación de la Tabla A anterior -5 dBA, según el Artículo 14.2 del RD 1367/2007)
3. *Figuras de planeamiento y escalas de intervención*. Guillermo G. de Polavieja.
4. *Efecto de los cambios en el volumen de tráfico sobre los niveles sonoros*. Bendtsen, H., Haberl, J., Litzka, J., Pucher, E., Sandberg, U. and Watts, G., 2004. *Traffic management and noise reducing pavements – Recommendations on additional noise reducing measures*. Danish Road Directorate. Report 137.
5. *El efecto de las reducciones en la velocidad sobre el ruido*. Andersen, B., 2003. Danish Transport Research Institute. Report 2.

## Capítulo 6

### Normas y procedimientos de evaluación en Acústica Ambiental

*Leopoldo Ballarín Marcos*

Con este capítulo se pretende dar una información sencilla de los procedimientos de medida al uso en la comunidad acústica relativos al área medioambiental. Como en cualquier rama de la física aplicada, la correcta medida de las magnitudes que intervienen se hace una necesidad vital para el hombre y muy especialmente cuando esas magnitudes en evaluación afectan de forma muy directa a las formas y calidad de vida que todos deseamos. La evaluación de la “molestia” que el ruido puede provocar en los humanos en su actividad diaria, generando reacciones físicas y psicológicas tales como: pérdida del sueño, interferencias en las comunicaciones y alteraciones vitales, es tremendamente compleja. No es fácil disponer de un único procedimiento de evaluación, sencillo, práctico y económico que permita caracterizar las muy variadas situaciones que en la acústica ambiental pueden producirse. Incluso es difícil llegar a un acuerdo entre autores e investigadores sobre cuáles son los procedimientos idóneos para conseguir un método lo más preciso posible para evaluar de forma objetiva, perfectamente cuantificable e incluso sancionable, una situación que en muchos casos tiene una elevada componente subjetiva y una marcada variabilidad temporal.

#### 6.1 Normas y Legislación

Con independencia de las posibles variantes semánticas que distintos autores puedan dar a los términos de norma y de legislación es muy habitual establecer la diferencia en la obligatoriedad o no de su aplicación. Con la denominación de norma generalmente se hace mención a un documento principalmente de carácter técnico y que con frecuencia describe protocolos de ensayo o criterios de procedimiento. Por otro lado la legislación suele abarcar de forma clara todos aquellos textos legales que en distintos ámbitos de la sociedad (nacional, autonómico, local,...) fijan criterios de obligado cumplimiento generalmente acompañados de límites y de posibles sanciones. Para evitar su extensión y complejidad técnica, las legislaciones generalmente se apoyan en el uso de normas técnicas desarrolladas por organismos internacionales de avalada calidad (ISO, IEC, AENOR,...)

##### 6.1.1 Normas, ámbito y evolución

Con la intención ya antes mencionada de establecer unos criterios homogéneos, técnicamente fiables y repetibles, la comunidad científica se ha dedicado a lo largo de los años a intentar elaborar, con mayor o menor fortuna, procedimientos y protocolos de evaluación del ruido en sus muy variadas facetas. Inicialmente esto se ha producido a nivel local o más bien nacional pero con el desarrollo de la globalización y el alcance transnacional de los emisores de ruido –una aeronave emite el mismo nivel de ruido con independencia del país en el que se encuentre, pero el procedimiento operativo establecido para esa misma aeronave en un determinado aeropuerto, puede hacer que el ruido percibido por las poblaciones limítrofes sea mayor o menor- ha sido necesario trabajar en un ámbito

más global aunque sea principalmente a nivel de la caracterización acústica de los niveles de emisión sonora de las muy diversas fuentes existentes.

ISO fundada en 1947 dispone en la actualidad de más 200 Comités Técnicos destinados a la elaboración de las más variadas normas en el campo de la técnica, el análisis y la metrología. Su catálogo alcanza las 16.500 normas disponibles. En sus orígenes la organización se inicia con 67 comités técnicos entre los que ya se encuentra el número 43, que es el referido a la Acústica. En los inicios, el comité elabora documentos básicos denominados “recomendaciones”. En años posteriores se inicia la publicación de normas que, aunque no pueden ser de obligado cumplimiento, sí son la base para producir un tejido metrológico unificado internacionalmente. Actualmente ISO tiene publicadas cerca de 200 normas bajo el epígrafe de “acústica” y la acústica forma parte tangencialmente de otro buen número de normas de otros campos de ISO.

IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) es el otro gran organismo normalizador a nivel internacional, fundado a principios de pasado siglo (1906) Tiene a su cargo la elaboración de normas técnicas en el amplio sector de la electrotecnia, los instrumentos de medida y la seguridad electrónica. El comité TC29 denominado Electroacústica, fue creado en 1937 y desde entonces desarrolla normas específicas sobre aspectos definidos de los equipos de medida y demás instrumentación de aplicación a la medida del sonido.



*Figura 6.1. Logotipos correspondientes a los tres principales organismos de normalización*

CEN representa para Europa uno de los organismos más importantes en materia de normalización. Desarrollado al amparo de la Unión Europea, tiene una de sus mayores fortalezas en que sus normas son a la vez normas de adopción obligatoria en los países de la UE. La elaboración de normas dentro del seno de CEN ha seguido sus propios caminos hasta la firma del Acuerdo de Viena en 1991, momento a partir del cual el desarrollo de normas CEN, se realiza de manera acorde con ISO con lo que se optimizan los recursos y se obtiene un cuerpo normativo más estable y consensuado. Actualmente son 30 los países de la UE que son miembros de CEN, representados por los correspondientes organismos nacionales –AENOR en el caso de España–.



CEN se diferencia de ISO e IEC en varios aspectos formales, pero es de reseñar una clara diferencia consistente en el claro enfoque que el cuerpo normativo de CEN tiene respecto de la evaluación de la calidad de productos y la desaparición de barreras entre países de la propia UE. Las más de 100 normas que al día de la fecha tiene publicadas CEN relativas al tema de ruido lo son principalmente en materia de evaluación de producto y están distribuidas dentro de cada comité técnico. Los comités CEN que tienen un carácter acústico exclusivamente, y que se corresponden con comités equivalentes en ISO, son: CEN/TC126 de Propiedades acústicas de los edificios y elementos de construcción (equivalente al comité ISO/TC43/SC2) y CEN/TC211 de Acústica (equivalente al comité ISO/TC43/SC1) donde, entre otras, están recogidas todas las normas ISO de ensayos para la determinación de la potencia sonora de diversas fuentes.

En el ámbito nacional la estructura es muy similar, pues los distintos organismos normalizadores se encuentran representados en cada país por un único organismo normalizador que tiene asignado el desarrollo de las tareas de normalización. Desde 1986 y como resultado de la publicación del RD 1614/1985 es AENOR la única entidad aprobada para la realización de dichas tareas en España y quedando, de la misma manera, facultada para la elaboración y publicación de normas UNE. Asimismo AENOR es miembro de pleno derecho y es el representante de España en los organismos europeos e internacionales de normalización: CEN, ISO, IEC, CENELEC,... y es por tanto la vía para que expertos españoles puedan participar en los grupos de trabajo, los comités técnicos y demás foros de elaboración de normas.

El primer Congreso Internacional de Acústica se celebró en Holanda en 1953 y desde esa fecha se han venido sucediendo con notable periodicidad en muy diversas partes del mundo, a España le ha correspondido la organización en dos ocasiones 1977 y 2007. El comité 43 de ISO (ISO/TC43) se reúne también de forma periódica (cada 18 meses) en diferentes lugares, en España se ha celebrado por primera vez una reunión plenaria en el año 2006.

### **6.1.2. Normas, elaboración y desarrollo**

Aunque cada organismo normalizador tiene sus particularidades, los procesos de elaboración de normas son bastante similares, pues todos ellos parten de la necesidad de dar una respuesta a una demanda social, técnica o mercantil mediante la creación de comités técnicos o grupos de expertos que puedan elaborar un documento que satisfaga las necesidades previamente expresadas por las partes interesadas.

Cada proyecto de norma queda alojado desde su inicio en un comité técnico (TC), generalmente compuesto por grupos de trabajo (WG) que tienen capacidad para opinar sobre la idoneidad o necesidad de dicha norma. El proceso suele ser lento y, en el mejor de los casos, alcanza los 18 meses aunque puede durar varios años.

De forma simplificada se pueden establecer las etapas siguientes:

- Propuesta de norma
- Elaboración por el grupo de trabajo
- Proyecto original

- Encuesta en el organismo normalizador
- Elaboración del proyecto final
- Aprobación
- Publicación

En el caso de normas ISO o IEC los países no están obligados a trasponerlas e incluirlas en el conjunto de normas propias –UNE en el caso de España-, es una decisión que compete al organismo normalizador nacional teniendo en cuenta la información de la secretaría correspondiente o las necesidades de las partes interesadas. Por el contrario las normas elaboradas por CEN deben ser obligatoriamente traspuestas a normas nacionales y por tanto traducidas al español, manteniendo una absoluta correspondencia en todo su contenido.

La notación habitual para las normas esta formada por cuatro campos correspondientes a:

- Organismo u Organismos elaboradores: ISO, EN, UNE, IEC...
- Número de norma y partes si las hay
- Fecha de publicación
- Título

El cada vez más acelerado proceso de desarrollo de la tecnología, los procesos y el comercio hacen que haya sido necesario por parte de los organismos normalizadores poner en activo formulas que permitan mantener un ritmo de renovación de normas acorde con la situación. En el caso de ISO y como política general se han establecido las siguientes reglas. Todas las normas publicadas se revisan en el plazo de tres años desde su publicación y todas las normas revisadas entran en un ciclo de revisión periódica cada cinco años. La revisión se realiza por los comités de los distintos países integrantes y mediante voto se puede: anular, revisar o mantener la norma hasta el siguiente ciclo.

### 6.1.3. Normas aplicables y al uso en acústica ambiental

Es quizá el carácter local de la contaminación acústica ambiental – la propagación de una determinada fuente no alcanza en el mejor de los casos más de algunas decenas de kilómetros- o la dificultad para simplificar su evaluación – numerosas situaciones y variables a controlar- lo que ha motivado una escasez normativa en el ámbito internacional, que ha motivado que el proceso normalizador en acústica ambiental haya sido asumido preferentemente por administraciones locales y organismos nacionales.

La norma técnica internacional actualmente con mayor peso específico en el sector medioambiental es la norma ISO 1996 la cual, desde su primera publicación (como recomendación años 70), ha sufrido diversas modificaciones y actualizaciones. El proceso de actualización de la norma ha sido uno de los más lentos de la historia de ISO.

La recomendación ISO/R 1996:1971 es el primer documento internacional en el que se intentan unificar los criterios e indicadores para la evaluación del ruido medioambiental. Vigente durante más de 10 años, es sustituida por una nueva versión – años 80- en la que se incluyen indicadores como el  $L_{Aeq}$  y queda estructurada en tres partes.

- ISO 1996-1:1982 Acoustics. - Description and measurement of environmental noise. Part 1: Basic quantities and procedures
- ISO 1996-2:1987 Acoustics. - Description and measurement of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use
- ISO 1996-3:1987 Acoustics. - Description and measurement of environmental noise. Part 3: Application to noise limits

Casi 20 años más tarde de esta publicación, ISO ha editado una nueva versión, reducida a dos partes:

- ISO 1996-1:2003 Acoustics. - Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures
- ISO 1996-2:2007 Acoustics. - Description measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels

Ambas partes presentan notables avances respecto de la edición anterior, incluyendo apartados específicos para la valoración más precisa de factores tales como: la incertidumbre, las condiciones meteorológicas, la situación de los micrófonos y la determinación de componentes tonales.

Considerando la importancia que esta norma tiene para el correcto desarrollo del RD 1367/2007 se adopto, en AENOR, la decisión de publicarlas como normas UNE; la parte 1 ya está disponible y la parte 2 lo estará en breve.

La dificultad para combinar los criterios locales al uso y generar un único criterio común en Europa para la evaluación del ruido medioambiental es una de las razones por la que la norma ISO mencionada nunca haya llegado a alcanzar el nivel de norma EN y sean los miembros de ISO en cada país los que decidan su adopción o no.

En la actualidad y debido fundamentalmente a la publicación de la Directiva de la Unión Europea 2002/49/CE en la que se establecen unos criterios unificados para toda Europa, a la hora de cartografiar acústicamente el territorio y las infraestructuras, surge la necesidad de utilizar criterios comunes. Se adopta como criterio de medida el de la norma ISO 1996. En este punto es de lamentar que, por razones de cronología, se incluyesen en la citada directiva las versiones de la norma correspondientes a los años 82 y 87 y no se haya establecido el procedimiento para la actualización a las más recientes versiones de 2003 y 2007.

La misma directiva da validez a otra norma ISO, la relativa al cálculo de la propagación y atenuación del sonido en condiciones de campo libre exterior. Dicha norma, también reflejada, como no podía ser de otra manera, en el RD 1513/2005 Se aplica para el cálculo de la atenuación con la distancia en el caso de fuentes sonoras de tipo industrial y su algoritmo suele estar implementado en todos los modelos de cálculo de predicción de ruido al uso. Esta norma no ha sido publicada por la UE ni por AENOR por tanto solo tiene estatus de ISO (ISO 9613-2:1996 Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors—Part 2: General method of calculation) y con una antigüedad superior al decenio.

La transposición de la directiva antes mencionada y la publicación de los RD 1513/2005 y 1367/2007 da cabida a la aplicación en el entorno medioambiental a diversas normas que, aunque no han sido



desarrolladas para dicha aplicación, sí permiten el cálculo o la medida de emisores diversos. Varias de ellas no han salido del grupo de ISO y carecen de notación UNE o EN y no han sido traducidas al español.

ISO 8297:1994 Acoustics. Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment- Engineering method. Como su título indica es un método de ingeniería para determinar la potencia sonora de emisión de plantas industriales multifuente, a partir de los niveles de presión medidos. Utiliza el análisis en octavas para la medida y con más de 10 años de antigüedad no es una norma que haya tenido anteriormente una repercusión importante, debido fundamentalmente a la ausencia de legislación nacional que demande dicho tipo de evaluación.

ISO 3744:1994 Acoustics. Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure- Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane. Esta norma que sustituyó en el año 94 a otra edición anterior (1981) se encuentra en la actualidad en revisión dentro de correspondiente comité y sigue tramitación en paralelo en CEN. La versión española de esta norma es la: UNE-EN ISO 3744: 1996, es una norma muy en uso, pues por un lado describe un método relativamente sencillo de obtención de la potencia sonora de un emisor y por otro lado porque forma parte de otros textos legales tales como: Directiva 98/37/EC de seguridad en máquinas y Directiva 2000/14/EC sobre emisiones sonoras en el entorno. Esta última ha sido transpuesta a legislación nacional en el RD 212/2002.



*Figura 6.2. Instalación para la medida de potencia sonora según normas citadas*

ISO 3746:1995 Acoustics. Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure- Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane. Esta norma que sustituyó en el año 95 a otra edición anterior (1979) se encuentra en la actualidad en revisión dentro de correspondiente comité y sigue tramitación en paralelo en CEN. Al igual que la ISO 3744 es una norma muy en uso, pues por un lado describe un método todavía más sencillo de obtención de la potencia sonora de un emisor y, por otro lado, forma parte de los mismos textos legales: Directiva 98/37/EC de seguridad en máquinas y directiva 2000/14/EC sobre emisiones sonoras en el entorno, que ha sido transpuesta a legislación nacional en el RD 212/2002. La versión española de la norma ISO 3746 es la: UNE-EN ISO 3746.

Además de las normas citadas se pueden considerar de interés para su uso en la evaluación en acústica ambiental las normas y proyectos de ISO siguientes:

ISO 17201 (partes 1 a 5): Acoustics. Noise from shooting ranges. Entre todas las partes se establecen distintos aspectos de la clasificación, medida y evaluación de los niveles de ruido producidos por el uso de armas de fuego y cargas explosivas de reducidas dimensiones

ISO/TS 15666: 2003 Acoustics. Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. Establece las bases para la realización de encuestas públicas a los efectos de determinar la molestia producida por el ruido ambiental a la personas en sus residencias. Incluye cuestionarios, valoraciones e informes.

ISO 13474:2009 Acoustics—Framework for calculating a distribution of sound exposure levels for impulsive sound events for the purpose of environmental noise assessment. Es una revisión muy actual de la anterior versión de 2003. En ella se describen las condiciones de evaluación y medida de los niveles de ruido propagados a grandes distancias y producidos por explosiones procedentes de actividades tales como: minería, usos militares, demoliciones, etc. Tiene en consideración las condiciones meteorológicas y del terreno a los efectos de la propagación.

Ya se indicó anteriormente que los catálogos de normas son documentos activos y siempre en evolución, por tanto se hace muy recomendable su consulta de forma periódica y especialmente en el caso de tener que abordar un nuevo trabajo de evaluación o un tipo de medida no realizado anteriormente. Es muy probable que exista una norma técnica que se aproxime bastante a lo buscado.

## 6.2. Procedimientos de medición

Se hace difícil evaluar una magnitud física tan compleja y llena de sutilezas, y más especialmente cuando esa evaluación se hace con referencia a los daños y sensaciones que produce en el ser humano. Como cualquier magnitud física, el ruido es evaluable desde muy diferentes caminos y aproximaciones teóricas y prácticas: propagación, atenuación, absorción, difracción, gradiente, evolución temporal, etc. Son variables que han sido muy correctamente definidas matemáticamente y que se rigen por leyes de la física perfectamente predecibles.

No obstante, la situación se hace compleja y complicada por dos motivos fundamentales: por una parte se pretende reducir a la máxima simplicidad un fenómeno complejo ofreciendo como resultado metroológico único; un único número – incluso redondeado sin decimales – en decibelios que represente la magnitud valorada en todas sus vertientes (temporalidad, composición espectral, percepción,...) lo cual es muy difícil cuando menos o bastante impreciso cuando más. Por comparación estaríamos hablando de asignarle a un único valor numérico la representación del conjunto de factores que forman por ejemplo la meteorología de un determinado lugar a lo largo de un año (horas de sol, lluvia, nieve, viento, temperaturas máximas y mínimas,...) y que ese número fuese descriptivo de todas las variables mencionadas y tuviese una acertada correlación con la sensación percibida por el ser humano.

Por otro lado la complejidad fundamental viene dada por el hecho de que lo que se está evaluando lo está siendo en relación con el ser humano y su reacción frente a la contaminación. Con lo que, si



ya ponerle número es difícil, hacer que ese número represente todas o la gran mayoría de las respuestas que los individuos o las colectividades pueden dar ante circunstancias similares, es altamente complicado.

Para soslayar toda la compleja problemática planteada, la comunidad científica se ha dedicado a buscar y establecer procedimientos metrológicos lo más fiables y repetibles posibles, e incluso a veces sencillos que permitan cuantificar, al menos de forma directa, los niveles de energía sonora producida, propagada y recibida por la fuente, el medio y el receptor respectivamente.

Las técnicas al uso, en el momento actual de desarrollo de la tecnología, se basan en la medida directa de la presión sonora presente en el medio, cuando éste es excitado por la emisión de una determinada fuente sonora. La presión sonora corresponde a un escalar proporcional a la amplitud de la variación dinámica de la señal y con una caracterización espectral específica. Los transductores e instrumentación necesaria para la medida de la presión sonora se describen en otro apartado de este mismo capítulo.

### **6.2.1. Análisis de los objetivos**

Aunque el objetivo en origen y de forma simplificada puede parecer único, la realidad demuestra que dicha hipótesis es absolutamente errónea. Sí es cierto que se pretende medir un mismo tipo de magnitud física –el ruido– y sí es cierto que el ámbito de aplicación, en el caso que nos ocupa, es el medioambiente, pero aun así es imprescindible determinar claramente el objetivo de la evaluación a realizar para así aplicar correctamente las normativas y/o criterios de muestreo espacial y temporal que garanticen que las muestras obtenidas son: válidas, coherentes, representativas, precisas y suficientes para caracterizar apropiadamente el objeto en evaluación.

Los objetivos de evaluación se pueden agrupar de forma simple en cuatro grupos, con alguna subdivisión para alguno de ellos.

#### **- Inspección de inmisión**

Se pretende identificar un emisor al cual imputar el ruido medido en el interior de un recinto o en un área acústica. Se busca el momento y lugar de máxima afección y se descuenta o se garantiza la no afección por otras fuentes de ruido. Se requieren tiempos de medida muy cortos, descontar el ruido de fondo y localizar el lugar de máximo nivel evitando las distorsiones metrológicas producidas por obstáculos y cerramientos. Para mejorar la precisión de la evaluación se suelen realizar series de medidas estadísticamente independientes que garanticen una baja dispersión.

#### **- Inspección de emisión**

Similar en muchos aspectos a la de inmisión, pero con las salvedades de que generalmente se lleva a cabo sobre emisores al exterior, tales como bares o industrias, caracterizados por ser emisores superficiales para los que las distancias de medida son especialmente importantes y donde hay que considerar todas las condiciones inherentes a una medida en ambiente exterior (dirección y velocidad del viento, humedad, temperatura, ruido de fondo,..)

#### **- Evaluación de índices de calidad a largo plazo**

Se pretende caracterizar un ambiente acústico mediante un único número que sea representativo de la afección acústica que en ese determinado lugar y bajo las más diversas condiciones se ha



producido a lo largo de un año natural, incluyendo el ruido de fondo y diferenciando los distintos periodos del día (día, tarde y noche). En este caso y de forma general se requiere de un muestreo espacial y temporal que asegure que la información obtenida es representativa del objetivo buscado. En el caso de que la evaluación sea relativa a emisores acústicos determinados, se requiere aplicar las metodologías coherentes con las diferencias de cada emisor; pueden considerarse las siguientes:

**- Fuentes temporalmente estables: tráfico rodado, industria**

Requieren un evaluación mediante medida en continuo o periodo largo suficientemente significativo y representativo de la actividad de la fuente en evaluación. Deben tomarse muestras independientes distribuidas en los tres periodos temporales habituales y asegurar que todas ellas cumplan con el **criterio de estabilidad de la integración** (La duración de la medida de cada muestra del  $L_{Aeq}$  deberá ser lo suficientemente prolongada como para confirmar que no hay fluctuaciones debidas a sucesos individualizados). Generalmente es muy difícil evaluar correctamente la contribución del ruido de fondo, especialmente en el caso del ruido de tráfico.

**- Fuentes temporalmente transitorias: tráfico aeronáutico y ferroviario**

Requieren de una evaluación en la que se discrimine claramente la contribución de cada una de las fuentes y que, mediante la identificación durante la medida o por posterior análisis, se determinen los periodos imputables a la fuente transitoria y/o al resto para poder caracterizar correctamente a largo plazo la afección diferenciada de la fuente.

**- Evaluación de emisores acústicos**

Es un procedimiento en el que se requiere la evaluación de la emisión sonora de un determinado dispositivo bajo unas determinadas condiciones de trabajo con el fin, bien de aplicar un límite fijado, bien con el criterio de aplicar la información obtenida a la caracterización acústica de entornos complejos.

Existe una amplia relación de normas, especialmente de ISO, que describen las metodologías de ensayo específicas para cada tipo de producto tanto para el cálculo de la potencia sonora como para la valoración de la presión sonora de emisión. En este apartado cabe mencionar la existencia de un amplio bloque de normas ISO – la conocida serie 374X- en la que se describen con absoluta precisión los procedimientos para la medida y obtención del nivel de potencia sonora de cualquier dispositivo. También se debe mencionar el Real Decreto 212/2002 en el que se recogen todos los emisores acústicos destinados al trabajo al aire libre, que están sujetos a control de sus niveles de emisión sonora. En este decreto se incluyen más de 50 tipos diferentes de máquinas o vehículos que deben ser etiquetados con el nivel declarado y entre los que cabe mencionar, por su directa implicación en el medioambiente urbano, los vehículos de recogida de basuras y los contenedores de reciclado de vidrio.

## 6.2.2. Muestreo espacial

Las condiciones supuestamente homogéneas del medio de transmisión habitual del sonido requieren de un análisis pormenorizado que asegure que el punto de medida reúna requisitos de representatividad de lo evaluado

La caracterización espacial viene determinada en el ambiente exterior por factores tales como: la topografía del terreno, las distancias entre receptores y emisores, las condiciones de absorción acústica del terreno y los obstáculos en la propagación desde la fuente hasta el receptor, las reflexiones, difracción, gradiente de temperatura, humedad, obstáculos y sus dimensiones, además del viento y su dirección. Todos ellos tienen que ser considerados y valorados de acuerdo a su relevancia e importancia en cada caso. En el momento actual la georreferenciación de las medidas es una ayuda inestimable a la hora de representar los valores medidos sobre una cartografía a escala apropiada y utilizada mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS).

El muestreo espacial en el ambiente exterior y en el plano vertical queda marcado por las normas específicas de aplicación: altura de 4 m sobre cota de suelo para medidas relativas a mapas estratégicos; altura de 1,5 m para medidas relativas a emisores en general; altura de 6 m para medidas relativas a evaluación del ruido aeronáutico. No obstante existen documentos y protocolos donde se pueden fijar otras alturas de medida, pero en general es muy recomendable ajustarse a las primeras, dado que la aplicación de correcciones espaciales para normalizar la altura de evaluación hacen extremadamente complejo el procedimiento y aumentan notablemente la incertidumbre de medida.

El muestreo espacial en el ambiente exterior en el plano horizontal también está definido generalmente en las mismas normas de aplicación, no obstante se suelen seguir criterios mediante los cuales se puedan determinar los niveles producidos por la fuente en sus proximidades, y la atenuación con la distancia. En este sentido suele ser bastante habitual escoger distancias donde se pueda, de alguna forma, comprobar las condiciones de atenuación con la distancia en campo libre. Es decir, utilizar posiciones de medida situadas perpendicularmente a la fuente y a distancias dobles de forma que se puedan observar las atenuaciones de 3 o 6 dB, dependiendo de si la fuente es lineal o semiesférica, y la contribución del ruido de fondo.

En el caso del muestreo espacial para la evaluación de recintos cerrados, los criterios al uso pretenden reducir al máximo los errores derivados del grado de aleatoriedad del campo sonoro en un recinto cerrado. Un recinto cerrado no es un campo sonoro uniforme para todo su volumen. Los distintos coeficientes de absorción de los diferentes materiales que conforman los cerramientos de un recinto, añadidos al posible mobiliario existente, hacen que sea necesario establecer algunas reglas que permitan garantizar una repetibilidad en las medias efectuadas. El alejamiento de las superficies límite, distancias comprendidas entre 1 y 2 m, minimiza el efecto del incremento de nivel debido a las reflexiones en las paredes (no todas tienen por que tener el mismo coeficiente de absorción y por tanto la energía reflejada no tiene que ser la misma) de la misma manera que respecto del techo y del suelo. Suele ser muy común fijar la altura de evaluación respecto del suelo en 1,5 m.

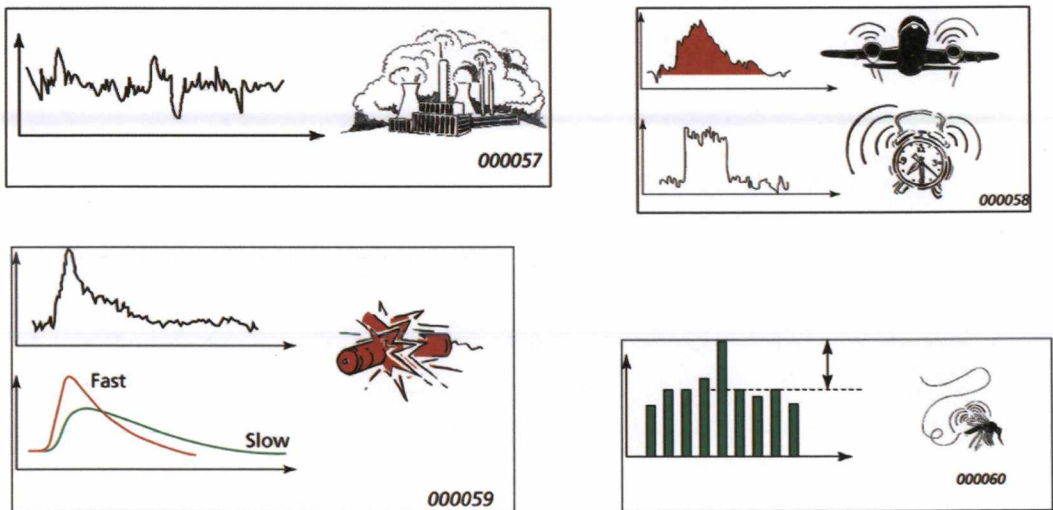
Para garantizar que los niveles dentro del área de medida sean similares, e incluso para aplicar el criterio muy extendido de que la medida deberá realizarse en el momento y lugar en el que la afección sea máxima, es imprescindible realizar en cada recinto un muestreo espacial de al menos tres muestras independientes, dentro de los límites espaciales antes indicados, que aseguren la representatividad de los valores medidos. Este muestreo espacial es previo y no sustituye al muestreo temporal que se detalla más adelante.



### 6.2.3. Muestreo temporal, promediación

La habitual variación temporal de los ruidos objeto de evaluación ha forzado a lo largo del tiempo a establecer unos criterios que, aun no siendo absolutamente fieles respecto de la cuantificación del nivel medido, sí son al menos criterios homogéneos y que garantizan una repetibilidad metrológica.

La casuística es muy variada pues los orígenes lo son también. Puede ser el disparo de un arma, el paso de un tren de alta velocidad, el sobrevuelo de una aeronave, el paso de un tren de mercancías, un vial de elevada IMD, un concierto al aire libre, una discoteca, una maquinaria de proceso industrial o una unidad compresora de aire acondicionado. Todos ellos requieren la aplicación de criterios temporales de evaluación que aseguren la descripción en términos energético-temporales de la afección.



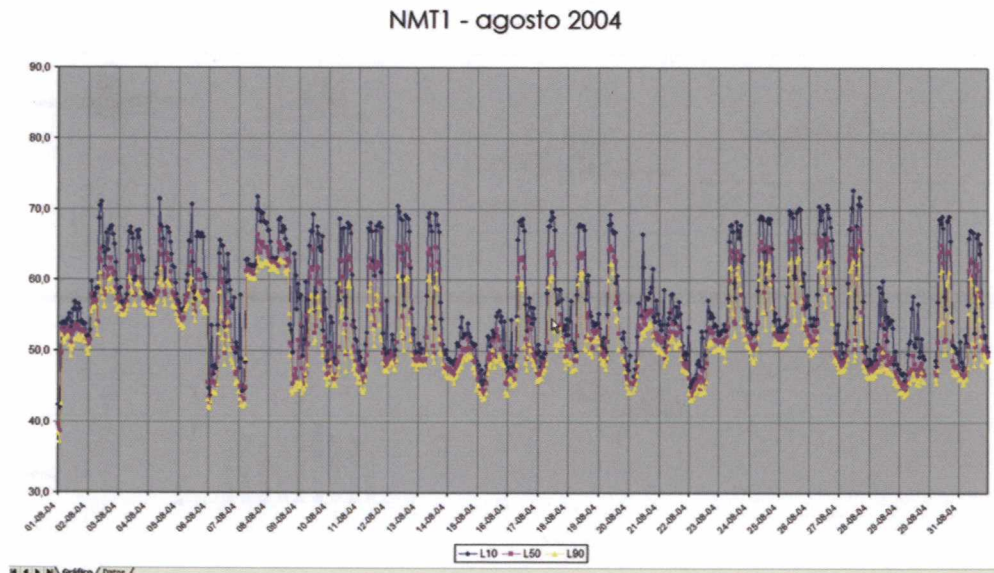
*Figura 6.3. Evolución temporal y espectral del ruido emitido por diversas fuentes*

Desde los inicios de la instrumentación de medida se establecieron criterios fundamentalmente basados en la respuesta conocida del ser humano respecto de señales sonoras variables en el tiempo y de lo que la electrónica de aquellos momentos permitía hacer. Los humanos tenemos básicamente un comportamiento sensorial temporal exponencial en cuanto a la percepción y un comportamiento lineal en cuanto a la lesión. De forma general, los criterios al uso para la evaluación del ruido en el medioambiente están más asociados con la percepción que con la lesión (entendiendo por lesión la posible pérdida auditiva motivada por la exposición prolongada en el tiempo a niveles elevados de ruido) por tanto y desde los orígenes se han utilizado procedimientos de promediación de la señal exponenciales. En otro apartado de este capítulo se describen las conocidas ponderaciones temporales “Fast”, “Slow” e “Impulse” las cuales han



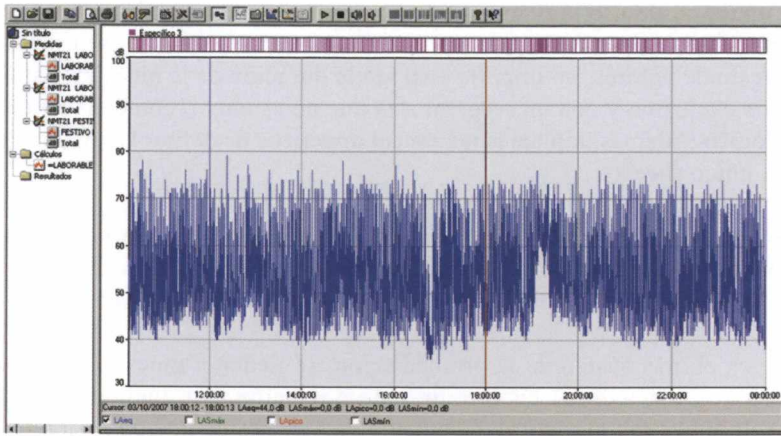
equipado la mayor parte de los instrumentos de medida desde los años 50 del pasado siglo. Su utilización ha estado y todavía está muy extendida en diversos ámbitos de la metrología acústica, no obstante con la aplicación a los instrumentos de medida de las posibilidades de integración lineal de la energía y su promediado temporal (Nivel Sonoro Continuo Equivalente,  $L_{eq}$ ) se ha abierto un nuevo horizonte a la hora de la valoración, sobre periodos temporales diversos, de la energía sonora aportada por una fuente específica en función del tiempo.

Con el uso masivo del  $L_{eq}$  en la evaluación medioambiental han desaparecido prácticamente de escena soluciones metrológicas que en origen podían ser bastante útiles. Nos referimos principalmente a aquellos indicadores que basados en la estadística permiten obtener valoraciones bastante descriptivas de una situación acústica variable en el tiempo (Nivel percentil  $L_N$ )



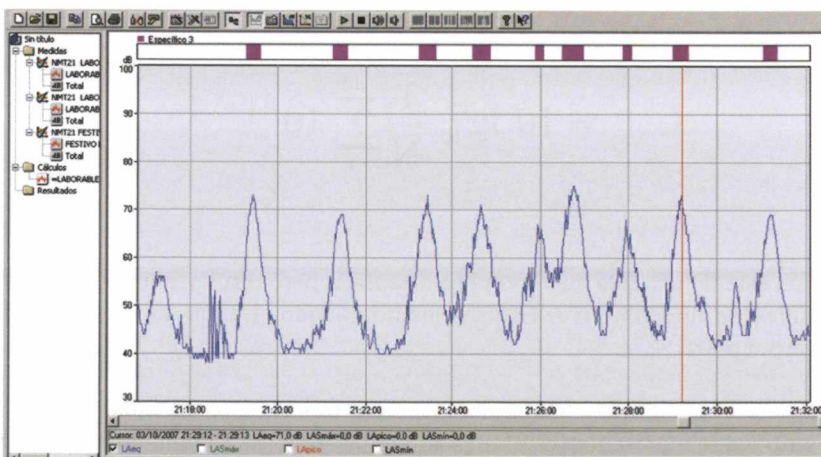
*Figura 6.4. Evolución temporal de los percentiles  $L_{10}$  y  $L_{90}$*

Las virtudes del  $L_{eq}$  son innegables, pues permite discretizar en términos temporales a cualquier nivel que sea necesario (desde milisegundos, segundos, horas, meses, hasta años) y además, en un momento de la tecnología en la que el almacenamiento de datos básicos no plantea ningún problema, es notablemente sencillo muestrear en milisegundos y/o segundos y a partir de dicha información calcular fácilmente niveles continuos equivalentes para periodos más largos  $L_{Aeq, 1h}$ ,  $L_d$ ,  $L_{den}$ . El único problema que se plantea con el uso exclusivo del  $L_{eq}$  es su limitada capacidad para ser representativo de la percepción sensorial del ser humano, especialmente para sucesos sonoros temporalmente cortos. Y la imprescindible necesidad de ir siempre referido a un intervalo temporal definido.



*Figura 6.5. Evolución temporal del  $L_{Aeq\ 1s}$  durante un día*

El muestreo temporal lineal o exponencial en las medidas de nivel de presión sonora está siempre referido al valor eficaz de dicha presión sonora y éste es el parámetro evaluado en cualquier circunstancia. Solamente en algunas legislaciones y/o reglamentos relativos fundamentalmente a la evaluación de riesgos en puestos de trabajo, y para aquellos casos en que se produzcan señales de muy corta duración y elevado contenido energético (explosiones, disparos, choques,...), se recomienda utilizar el valor de pico de la presión sonora. En estos casos se hace imperiosamente necesario hacer mención a ello en el informe de medida, dadas las elevadas diferencias numéricas que presentan el valor eficaz respecto del valor de pico. En el caso más favorable de señal estacionaria con una única componente frecuencial la diferencia será de al menos 3 dB – mayor el valor de pico – pudiendo alcanzarse cifras superiores a la decena de decibelios para señales transitorias como las citadas anteriormente.



*Figura 6.6. Evolución temporal del  $L_{Aeq\ 1s}$  de la Figura 6.5 en un corto periodo de tiempo mostrando los sucesos individualizados que lo forman*



Un indicador temporal de uso muy extendido es el correspondiente al valor máximo del valor eficaz en función del tiempo. El  $L_{\max}$  se puede definir como el único valor de la muestra que es superior al resto de valores, no importa cual sea la duración de la muestra. Esta definición le da el carácter de exclusivo y con un sesgo al alza que no es muy recomendable desde un punto de vista metrológico. Además implica la necesidad imperiosa de definir la duración de la muestra o referirla a un único suceso.

La promediación temporal viene a tratar de establecer una representatividad objetiva de las muestras temporales independientes obtenidas a lo largo del periodo de evaluación. Dependiendo del objetivo buscado la promediación podrá ser: aritmética, energética o estadística.

El primer caso es el más básico de la promediación, se tienen  $n$  muestras y se hace la media aritmética de todos los valores en términos de decibelios. Es fácil de usar y puede ser representativa de muestras que no representen a su vez promediación energética (puede ser válido para obtener un valor medio de varios  $L_{\max}$  pero no es muy acertada para hacer la media de varios valores de  $L_{\text{eq}}$  horario) Como ejemplo cabe citar que en ISO 1996-2 para la valoración apropiada del  $L_{\max}$  producido por repetidos sucesos de una determinada fuente (sobrevuelo de aeronaves) se recomienda promediar al menos 20 casos similares, utilizando promediación aritmética

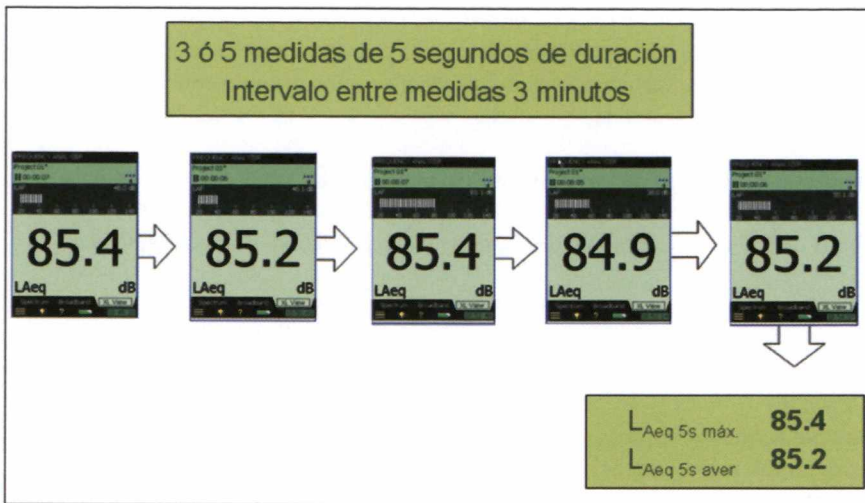
La promediación energética es extremadamente útil cuando lo que se muestrea es a su vez un indicador asociado a la energía acústica, como es el caso del  $L_{\text{eq}}$ . Es una forma de obtener indicaciones relativas a periodos de evaluación que no corresponden con periodos de medida. En este caso la cantidad de energía en términos de valor eficaz de la presión sonora promediada en un intervalo de tiempo definido, se puede promediar con todas las muestras adquiridas en los distintos intervalos temporales. Se aplica directamente por ejemplo para calcular el  $L_{\text{eq}}$  del periodo diurno mediante la promediación de los  $L_{\text{eq}}$  horarios de dicho periodo (07:00 h a 19:00 h)

$$L_{\text{Aeq}} = 10 \lg_{10} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1L_{\text{Aeq}i}}$$

La promediación estadística es la más compleja de aplicar pero resulta, para muchas aplicaciones medioambientales, la más objetiva. Especialmente cuando se tiene la necesidad de obtener indicadores a largo plazo.

En el caso de inspección lo más habitual es realizar tres o cinco medidas independientes y seleccionar como valor representativo el más alto de la serie. En reglamentaciones anteriores a la publicación del RD 1367/2007 se promediaba estadísticamente y se descartaba el valor más alto. También es frecuente encontrar el uso de la mediana como descriptor estadístico de una serie de medidas independientes.





**Figura 6.7.** Adquisición de cinco muestras independientes a intervalos determinados

En el caso de la promediación aplicable a la evaluación a largo plazo conforme a los requerimientos del artículo 25 del RD 1367/2007 se impone la valoración diferenciada respecto de cual es el valor a considerar.

*Ningún valor promedio del año superará los valores fijados en la tabla A1 del anexo III.*

Se interpreta de manera que mediante la medida en continuo (monitorización permanente) o mediante un muestreo temporal apropiado del objeto en evaluación, se pueda determinar el nivel continuo equivalente correspondiente al periodo día, tarde o noche de los 365 días que forman un año. Para ello es estadísticamente suficiente la adquisición de datos (medida) de un número de muestras independientes comprendidas entre el 5 y 10% del periodo total (365 días) correspondientes de cada intervalo ( $L_d$ ,  $L_e$ ,  $L_n$ ) mediante las cuales se calcula por promediación energética el periodo completo.

*Ningún valor diario superará en 3 dB los valores fijados en la tabla A1 del anexo III.*

Se interpreta de manera que mediante la medida en continuo (monitorización permanente) o mediante un muestreo temporal apropiado al objeto en evaluación, se pueda determinar el nivel continuo equivalente correspondiente al periodo día, tarde o noche de cada uno de los 365 días que forman un año. Es una evaluación compleja, pues solamente la medida en continuo puede asegurar el cumplimiento de lo estipulado, no obstante se puede considerar que sólo en muy determinadas circunstancias las infraestructuras referidas son susceptibles de generar elevaciones del  $L_{eq}$  de 3 dB y que estas elevaciones van generalmente asociadas con hitos sociales definidos. Para ello puede ser estadísticamente suficiente la adquisición de datos (medida) de un número de muestras independientes en las fechas o circunstancias de interés.

#### 6.2.4. Técnicas más comúnmente utilizadas

Es difícil condensar en un único capítulo toda la variada casuística empleada en las mediciones de ruido ambiental. Pero sí es posible, al menos detallar algunos aspectos comúnmente imprescindibles a la hora de realizar evaluaciones fiables.

La instrumentación debe ser de precisión (Clase 1 según IEC 61672)

Los micrófonos deben ser de campo libre (respuesta plana para incidencia perpendicular)

Es recomendable el uso de trípode (estabilidad del punto de medida)

Es imprescindible el uso de pantalla o protector antiviento (reducción del ruido de turbulencia inducido)

Es imprescindible verificar acústicamente la instrumentación pero sin modificar la calibración legal (aplicar un calibrador acústico para verificar que todo está correcto)

Debe acompañarse de las medidas de datos meteorológicos (al menos: velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad)

Debe muestrearse apropiadamente al objeto de la evaluación (el mayor número de muestras independientes compatible con los requisitos de precisión y economía)

Debe ajustarse lo más posible a los periodos y parámetros más habituales de evaluación ambiental tales como:

- Nivel continuo equivalente en intervalos cortos (3, 5, 10 segundos)
- Nivel continuo equivalente en intervalos medios (día, noche, 24 horas)
- Nivel continuo equivalente en intervalos largos (semanal, mensual, anual)
- Niveles máximos para sucesos sonoros singulares ( $L_{max}$ )
- Niveles estadísticos (percentiles  $L_N$ )
- Niveles sonoros singulares (SEL)
- Representación gráfica temporal de la evolución del ruido

Debe tenerse en cuenta para todas las evaluaciones la cuantificación del ruido residual (también denominado ruido de fondo)

Deben aplicarse las posibles correcciones debidas a las diversas características del ruido en evaluación (tonalidad, impulsividad, baja frecuencia, temporalidad,...)

Deben detallarse y justificarse las posibles correcciones por normalización de la altura de evaluación respecto de la altura de medida.

Deben detallarse y justificarse los cálculos realizados para obtener valores de indicadores a largo plazo obtenidos mediante muestro temporal.

Debe justificarse una valoración de las incertidumbres asociadas a cada medida realizada

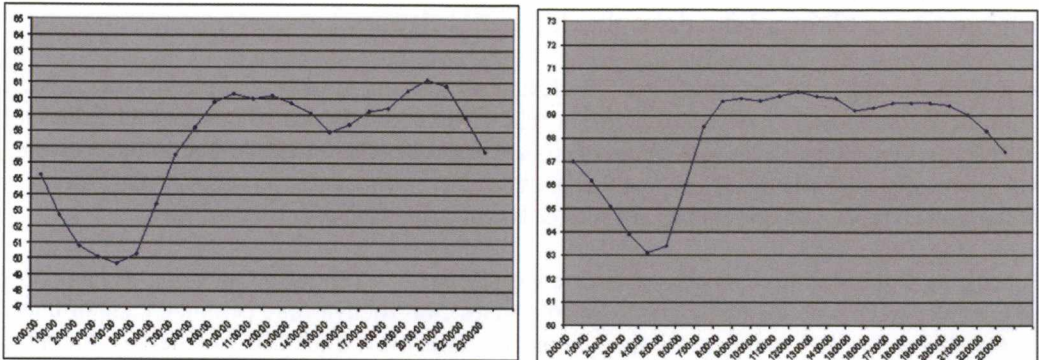


Figura 6.8. Representación gráfica de la evolución horaria del  $L_{Aeq\ 1h}$  de dos diferentes estaciones de medida de ruido en entorno urbano (nótese que las escalas de amplitudes no son coincidentes)

### 6.3. Instrumentación de medida

Aquí se incluyen todos los dispositivos diseñados y construidos para poder realizar mediciones precisas de las variaciones de la presión acústica que se producen en un medio homogéneo como es el aire.

#### 6.3.1. Tipos de instrumentación

Los tipos de instrumentación más habituales son los equipos portátiles y autocontenidos, dedicados a la evaluación momentánea e in situ del ruido. No obstante existe una variada gama de dispositivos destinados a la medida del ruido que van desde los complejos sistemas para la medida del ruido producido por fuentes específicas (ensayo de vehículos en marcha) a los sistemas de monitorización permanente o semipermanente del ruido en urbes, aeropuertos e instalaciones industriales.

Todos los instrumentos de medida del sonido se basan en el uso de un transductor (dispositivo capaz de transformar energía de un tipo en otro), mediante el cual las señales acústicas (presión sonora) son transformadas en señales eléctricas proporcionales a las anteriores. Las señales así obtenidas son procesadas dentro del propio equipo, para obtener, los datos en tiempo real en la pantalla, o bien para almacenarlos o transmitirlos a otro dispositivo con el que completar el proceso.

#### 6.3.2. Aplicaciones generales

- La instrumentación para medidas acústicas se puede asignar a cuatro grandes grupos de actividades:
- Evaluación medioambiental
- Acústica arquitectónica (incluye aislamiento acústico)
- Prevención de riesgos laborales
- Investigación aplicada



Los usos y las necesidades de los distintos países han dado lugar a que unas aplicaciones estén más desarrolladas que otras, dependiendo en gran medida de los avances tecnológicos y sociales e incluso de los criterios políticos o de los desarrollos legislativos vigentes

La evaluación ambiental en España está absolutamente ligada a la tarea controladora que desde las administraciones locales se realiza mediante la aplicación de los criterios y límites establecidos en las Ordenanzas reguladoras, de las actividades ruidosas, que prácticamente todos los municipios poseen. La evaluación ambiental está ligada con la difícil tarea de obtener datos objetivos respecto del aspecto más comúnmente considerado que es el de la molestia, la cual es fundamentalmente subjetiva.

La acústica arquitectónica está absolutamente volcada hacia la valoración, in situ o en laboratorio, del comportamiento de los materiales y las soluciones constructivas que permitan cumplir con los mínimos exigidos de aislamiento y que garanticen un confort a los usuarios de las viviendas y similares. Generalmente requiere de instrumentación específica y con características similares pero ajustadas a las distintas peculiaridades de los ensayos en campo y los ensayos en laboratorio.

La prevención de riesgos laborales en el terreno de la acústica analiza la relación dosis-efecto y trata de limitar, mediante el conocimiento de la exposición al ruido, la cantidad de trabajadores con riesgo de padecer hipoacusia por motivos derivados de la exposición al ruido en el puesto de trabajo, habitualmente requiere de técnicas específicas de muestreo y análisis así como de instrumentación específica – dosímetros de ruido-.

La investigación aplicada abarca todos aquellos procesos, generalmente de ingeniería, mediante los cuales se buscan soluciones menos ruidosas a: máquinas, vehículos, componentes, dispositivos, etc. Y en los que la medida permite conocer las fuentes y cuantificar objetivamente las mejoras.

### **6.3.3. Sonometría básica**

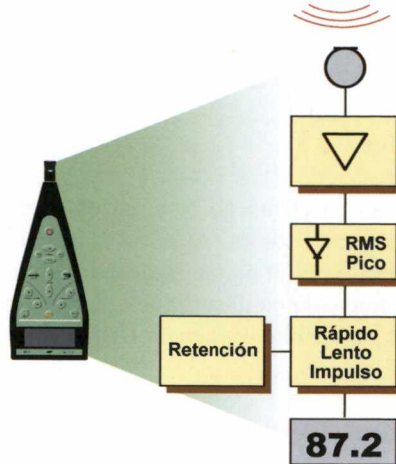
Según se ha citado ya, la mayor parte de las medidas acústicas se suelen llevar a efecto mediante el uso de instrumentos dedicados, portátiles, de reducidas dimensiones y con la intención de obtener un valor numérico en decibelios en el mismo momento de la medida, mediante lectura en pantalla o el almacenamiento de los datos en memoria.

En los sonómetros actuales (denominación específica para los dispositivos portátiles destinados a medir el sonido) el tratamiento de la señal se hace mediante técnicas digitales, aunque los micrófonos sigan siendo dispositivos analógicos.

Un sonómetro está compuesto por una serie de elementos que pueden quedar recogidos en un conjunto de bloques tal como:

- Micrófono
- Conversor analógico digital
- Procesador de señal
- Memoria
- Pantalla de datos

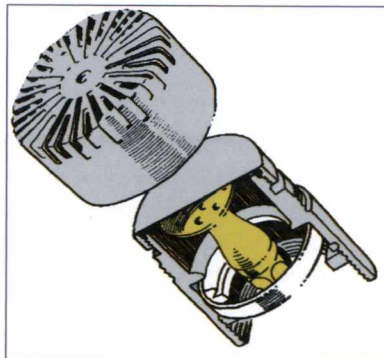
Los sonómetros de propósito general suelen ser portátiles, alimentados a pilas o baterías, con diseños ergonómicos y con unas dimensiones lo menores posibles para ser compatibles con sus aplicaciones.



*Figura 6.9. Diagrama de bloques de un equipo de medida de ruido*

Los micrófonos que equipan a los sonómetros son generalmente transductores cuyo principio de funcionamiento se basa en las facultades eléctricas de un dispositivo denominado condensador. Los micrófonos están formados por dos placas mecánicamente protegidas y separadas una distancia micrométrica, de tal manera que las variaciones de la presión sonora incidente sobre una de ellas, extremadamente delgada y ligera, le provoca desplazamientos, respecto de la otra, proporcionales al nivel y la frecuencia del sonido incidente.

Los desplazamientos de la membrana del micrófono se transforman en señal eléctrica, en forma de voltios, más bien de microvoltios, que serán procesados por el resto del equipo en la forma apropiada.



*Figura 6.10. Micrófono de medida seccionado*

Los micrófonos de los sonómetros son elementos frágiles y sensibles, pero que se construyen para soportar las habituales condiciones de trabajo de campo. Las características destacables de un micrófono para uso en instrumentación de medida son:

- Alta sensibilidad de transducción (milivoltios por Pascal)
- Amplia respuesta en frecuencia (20Hz a 20kHz)
- Gran gama dinámica (20dB a 150dB)
- Respuesta omnidireccional (0 a 360°)

Todos estos factores se combinan en el diseño para así obtener transductores acordes con las necesidades metrológicas específicas. Los micrófonos de instrumentos de medida suelen ser cilíndricos y deben tener el diámetro exterior normalizado, para así facilitar el proceso de calibración acústica (técnica habitual que requiere de un dispositivo externo denominado calibrador acústico y que se describe más adelante) los más habituales son de 1/2 pulgada, aunque también se usan de 1/4 y 1/8 de pulgada

Los micrófonos suelen ir roscados sobre el cuerpo del sonómetro, pero generalmente lo hacen a través de una etapa intermedia denominada preamplificador y que cumple varias misiones:

- Adaptar impedancias entre la salida del micrófono y el amplificador de entrada
- Alejar el micrófono del cuerpo del sonómetro para mejorar la omnidireccionalidad del conjunto
- Permitir el uso de cables prolongadores para las situaciones que así lo requieran

Los micrófonos suelen ser más resistentes de lo que puede parecer, pero cuando se deterioran o dañan, nunca tienen reparación y sólo cabe la sustitución por otro.

#### **6.3.4. Funcionalidades**

El cuerpo del sonómetro contiene todos los elementos necesarios para poder realizar medidas específicas y precisas de ruido de todas aquellas situaciones que el proceso metrológico requiera. No obstante, no todos los sonómetros disponen de todas las funciones imaginables y generalmente recogen solo aquellas relativas a aplicaciones determinadas. Actualmente y debido al desarrollo habido en la tecnología de programación es muy habitual la existencia de sonómetros programables mediante paquetes, dedicados e instalables, de software que resuelven situaciones específicas de medida.

Los sonómetros se han beneficiado del desarrollo de la tecnología digital y actualmente pueden incluir más y nuevas funciones en menos espacio y menor peso. Los diseños más recientes se basan en el uso de microprocesadores que tratan la señal acústica analógica convertida a formato digital mediante el uso de conversores analógico digitales de alta calidad. La información digital es procesada en el interior del sonómetro emulando los aspectos básicos de los sonómetros analógicos antiguos, pero añadiendo todo el potencial que el tratamiento digital de las señales permite.

Para adecuar la respuesta espectral de los sonómetros al comportamiento espectral del oído humano y su percepción de los sonidos se han utilizado a lo largo de los tiempos diversas redes



o circuitos de ponderación frecuencial. Todas ellas normalizadas obedecen principalmente a la simulación de la variación en la respuesta del oído humano con el nivel. Actualmente la mayor parte de las normas destinadas a describir procedimientos metrológicos y por tanto bastantes legislaciones exigen que los sonómetros dispongan al menos de las denominadas ponderaciones A y C lo que permite a estos equipos ofrecer lecturas directas en decibelios A (dBA) o en decibelios C (dBC)

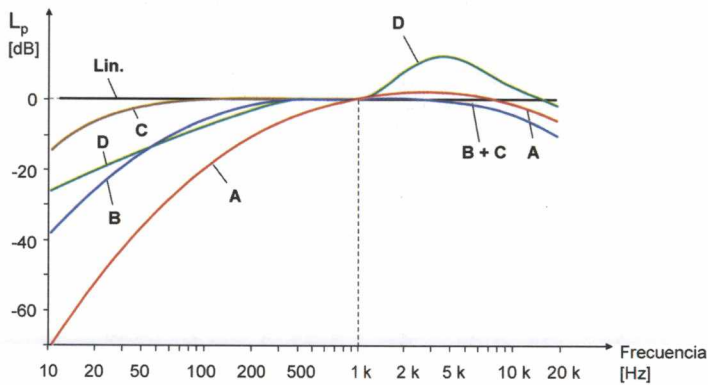


Figura 6.11. Curvas de ponderación frecuencial

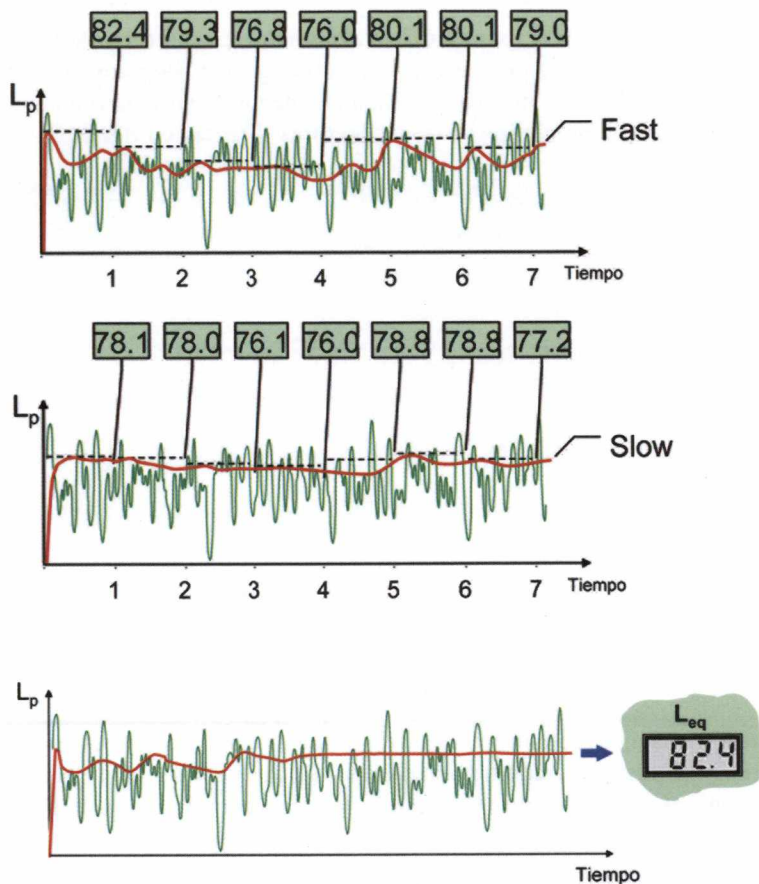
Teniendo en cuenta que un sonómetro ha de estar preparado par medir señales o ruidos que sean estacionarios temporalmente o que fluctúen o incluso que sean de alta intensidad pero de corta duración se hace necesario que dispongan de los procedimientos para evaluar de forma correcta cada tipo de ruido.

Históricamente los sonómetros han estado equipados con circuitos rectificadores que permiten obtener el valor eficaz (también denominado RMS) de la señal temporal. Las constantes de tiempo de los circuitos rectificadores están normalizadas y tienen los valores y denominaciones siguientes:

Slow	(lento)	1 segundo
Fast	(rápido)	125 milisegundos
Impulse	(impulso)	35 milisegundos

Las tres constantes citadas corresponden a lo que se consideran promediaciones temporales exponenciales que responden muy bien a la forma en que los humanos percibimos el sonido en su faceta temporal

Actualmente y debido a la introducción de los circuitos integradores promediadores lineales, prácticamente todos los sonómetros disponen de la capacidad para medir o calcular el Nivel Sonoro Continuo Equivalente ( $L_{eq}$ ) en intervalos seleccionables y que pueden abarcar desde los milisegundos hasta las horas y los días.



**Figura 6.12.** Representación comparativa de la medición con constantes de tiempo exponenciales (Fast y Slow) y lineal ( $L_{eq}$ )

Una de las ventajas que ofrece el tratamiento digital de la señal es que muy frecuentemente los sonómetros tienen la posibilidad de calcular simultáneamente varios parámetros sobre una misma muestra de señal y ofrecer al usuario los resultados cómo si hubiese seleccionado todas las ponderaciones frecuenciales o temporales con anterioridad.

En los sonómetros actuales el procesador se ocupa, entre otras tareas, de gestionar las memorias de almacenamiento de datos y el volcado de datos a pantalla mediante menús predefinidos o ajustables por el usuario.

La memoria interna es una herramienta de gran ayuda, permite almacenar los datos de interés y luego volcarlos o analizarlos tranquilamente en laboratorio, para ello cada día más, los sonómetros, se benefician de los incrementos que en los dispositivos de almacenamiento de datos (memorias CF, SD, etc.) desarrolla la industria. No obstante y por razones de uso obvias, suele ser muy necesario leer o disponer de la información en el momento y sin la ayuda de ningún otro dispositivo adicional.

Para ello las pantallas de los sonómetros han evolucionado notablemente. Desde los indicadores mediante una aguja analógica de hace años, hasta las pantallas a color VGA hay toda una amplia variedad de posibilidades.

De las pantallas merecen ser destacadas las características siguientes:

- Información alfanumérica y gráfica
- Presentación simultánea de varios parámetros
- Selección de parámetros por el propio usuario
- Adaptación a diferentes condiciones lumínicas ambientales

Aunque en muchos casos la información en el propio equipo es lo único necesario, bien es verdad que la conectividad es, en algunas aplicaciones, muy necesaria. La mayor parte de los sonómetros disponen de interfaces de comunicación con otros dispositivos, generalmente ordenadores o impresoras, que van desde el histórico RS232 al más rápido USB o a la transferencia mediante el uso de tarjetas de memoria. Para algunas aplicaciones existe la posibilidad de conectar directamente al sonómetro un MODEM que permita transmitir la información usando las redes telefónicas en servicio.

### 6.3.5. Análisis en frecuencia

En numerosas aplicaciones de la metrología acústica se hace imprescindible el análisis de la composición espectral de la señal objeto de estudio. Para ello los instrumentos de medida incluyen dispositivos electrónicos capaces de discriminar las componentes en frecuencia de las señales. Aunque en la actualidad el proceso de filtrado se realice mediante algoritmos incluidos en el procesador de señal, dicho proceso emula a la función analógica equivalente y consistente en la separación mediante filtros de paso de banda de las componentes presentes en la señal en estudio.

Históricamente, la evaluación de la contaminación ambiental por ruido se ha realizado exclusivamente mediante la medida de valores globales ponderados frecuencialmente (dBA). Actualmente la aplicación del RD 1367/2007 que incluye el índice  $L_{KX}$  para evaluar la molestia y los niveles sonoros con correcciones por componentes tonales y de baja frecuencia hace necesario el uso de filtros de octava y/o tercio de octava para la medida correcta (para la impulsividad no son aplicables los filtros de octava y/o tercio de octava).

Todos los sonómetros con capacidad para realizar análisis en frecuencia disponen de un banco de filtros, analógicos o digitales, con anchos de banda normalizados. Los anchos de banda más comúnmente utilizados son los de 1/1 octava y 1/3 de octava. Dichos filtros abarcan el rango en frecuencia de interés, mediante elementos individuales y correlativos.

Los filtros de 1/3 de octava tienen un ancho de banda aproximadamente igual a 1/3 del ancho de banda de un filtro de 1/1 octava es decir caben tres filtros de un tipo en el ancho del otro. Esto se traduce en que los filtros de 1/3 de octava permiten un mejor análisis, por ser más selectivos. El ancho de banda que generalmente requiere de análisis abarca desde los 20 Hz hasta los 20 kHz y se puede recorrer todo este rango, bien con 10 filtros de 1/1 octava, bien mediante 30 filtros de 1/3 de octava.



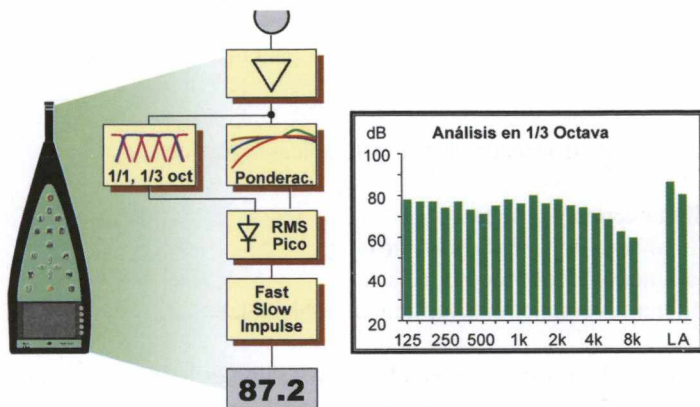


Figura 6.13. Diagrama de bloques de un equipo de medida con análisis en frecuencia

Los equipos antiguos solo permitían el análisis mediante barrido. Se recorrían todos los filtros secuencialmente, desde el más bajo hasta el más alto, y se anotaban los valores obtenidos en cada uno de ellos. En la actualidad los equipos digitales realizan el análisis en todos los filtros simultáneamente y presentan los datos a la vez y generalmente mediante una pantalla gráfica.

### 6.3.6. Instrumentación específica para medidas ambientales

La necesidad de obtener unos valores correspondientes a unos indicadores que de forma sencilla y cómoda permitan evaluar el ruido a largo plazo, pero considerando sus fluctuaciones y evolución temporal, da lugar a la necesidad de diseñar instrumentación específica para abordar las medidas ambientales, incluyendo los métodos estadísticos de valoración.

La mayor parte de la instrumentación actualmente al uso permite en una única aplicación medir prácticamente todos los parámetros e índices necesarios para una correcta valoración. Lo que en numerosas ocasiones se hace específicamente imprescindible en las medias ambientales es:

- Adecuar la instrumentación al trabajo en condiciones de intemperie
- Permitir la identificación auditiva de las fuentes emergentes y/o características

### 6.3.7. Monitorado permanente y semipermanente

Iniciado en el ambiente aeroportuario por exigencias de los niveles habituales de molestia ocasionados, pero posteriormente extendido a otras áreas tales como las ciudades y las industrias, cada día es más frecuente la instalación de sistemas y dispositivos que, al igual que para otros contaminantes, permitan controlar de forma continuada y precisa la evolución de los niveles de ruido existentes.

Se considera monitorado permanente cuando los equipos encargados de la medida quedan instalados en una determinada posición por periodos que superan con creces el año o años. Por el contrario se considera monitorado semipermanente aquellos casos en los que la instrumentación queda instalada en un determinado emplazamiento por un periodo que puede abarcar desde las semanas a los meses, pero

generalmente obedeciendo a las necesidades de evaluación de una campaña específica. De cualquier manera en ambos casos, permanente o semipermanente, se suele utilizar un tipo de instrumentación específicamente adaptada para permanecer en un emplazamiento sin que sea necesaria la presencia de personal de forma permanente. Para ello los equipos a utilizar, aunque básicamente son sonómetros, requieren de determinadas adaptaciones para sobrevivir en un ambiente muchas veces hostil.

Aspectos destacables de los monitores son:

- Micrófono externo capaz de soportar viento, lluvia y demás agresiones medioambientales
- Verificación de la calibración de forma automática y periódica
- Gran rango dinámico de medida (100 dB o más)
- Gestión de sucesos sonoros
- Memoria de gran capacidad
- Dispositivo de volcado o transmisión de datos
- Alimentación eléctrica externa con reinicio en caso de fallo de alimentación

En las instalaciones permanentes se suelen utilizar líneas telefónicas convencionales, RDSI o también ADSL para la transmisión de datos a la estación central. En las instalaciones semipermanentes lo más habitual es el uso de comunicaciones inalámbricas en el formato más básico y con mayor cobertura, “líneas” GSM que permiten una movilidad casi absoluta pero que tienen un limitado ancho de banda de transmisión. Recientemente se ha producido un notable avance en las soluciones de comunicaciones y es factible utilizar soluciones inalámbricas del tipo GPRS o 3G, lo que conlleva un incremento del ancho de banda.

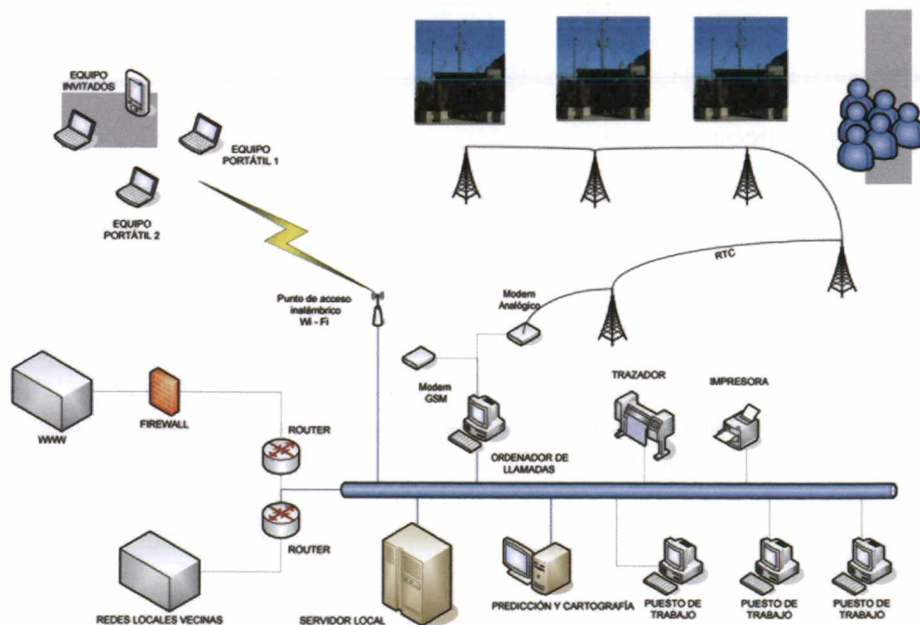


Figura 6.14. Esquema de configuración de una red de monitoreo de ruido

Los datos recopilados por las estaciones, tanto permanentes como semipermanentes, son almacenados en ellas mismas y transferidos mediante llamadas automáticas a la estación central de procesamiento de datos donde, mediante procesos automáticos o bajo supervisión de los operadores se validan y calculan los indicadores necesarios y se gestiona su difusión y salvaguarda.

La capacidad de medida, análisis y transmisión de datos en una red de monitoreo de ruido es muy grande. Por ello, según las aplicaciones específicas de cada caso, se pueden limitar a aquellos datos de interés. No obstante, las características básicas de una red de este tipo permiten trabajar con informaciones tales como:

- $L_{Aeq}$  muestreado segundo a segundo
- $L_{Aeq}$  calculado a intervalos de minutos, horas o días
- Sucesos sonoros singulares
- Grabación de audio en formato comprimido
- Análisis estadístico del ruido ( $L_N$ )
- Análisis espectral del ruido (octavas y 1/3 de octava)
- Georreferenciación mediante GPS (más útil en semipermanente)
- Verificación periódica de las calibraciones
- Información meteorológica (el terminal debe disponer de los sensores apropiados)

La abundante información acústica que un sistema de monitoreo permanente o semipermanente puede aportar a los responsables de la toma de decisiones para mitigar el ruido medioambiental ha dado lugar a que se hayan convertido en herramientas de uso cotidiano y mediante las cuales se puede conocer: la evolución histórica del ruido, las mejoras aportadas por las soluciones aplicadas, la información veraz al ciudadano, la elaboración de mapas de ruido fiables y todas aquellas otras que el conocimiento más profundo del ruido en el medio ambiente puedan facilitar.

## 6.4. Aspectos prácticos

En este apartado se presentan varios aspectos relacionados con las normas y procedimientos de evaluación que, sin ser imprescindibles, sí son necesarios a los efectos de una mejora práctica en los usos metrológicos.

### 6.4.1. Calibración y verificación

Los sonómetros en general se diseñan y construyen de forma que cumplan con estrictas normas internacionales relativas a la precisión y fiabilidad de sus resultados. Las normas al uso en esta materia son las emitidas por Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y en particular las siguientes:

- IEC 60651
- IEC 60804
- IEC 61672

Para garantizar la transparencia y evitar el fraude, son numerosos los países que establecen un control metrológico sobre aquellos productos que se consideran de interés social o comercial. Los sonómetros



en España están desde el año 1998 sujetos a control metrológico por parte del Estado. Este control estaba desarrollado mediante una Orden Ministerial (OM 29920-1998) que está a su vez basada en la Ley 3/1985 de metrología legal, la cual establece los criterios y procedimientos a aplicar para determinar la idoneidad y capacidad de un sonómetro para ser utilizado en actividades de medida.

La orden es de obligado cumplimiento y no permite la venta y uso de sonómetros que no hayan cumplido con los requisitos que marca; se apoya técnicamente en las normas IEC antes citadas y establece cuatro fases de control:

- Aprobación de Modelo
- Verificación Primitiva
- Verificación periódica (anual)
- Verificación después de avería o modificación

La aplicación de la OM está transferida a las Comunidades Autónomas y son ellas, por tanto, las obligadas a establecer los cauces para desarrollar su control y seguimiento.

Desde el 25 de septiembre de 2007 una nueva Orden Ministerial ITC/2845/2007 ha sustituido a la antes descrita. Su aplicación aunque con algunas ligeras modificaciones mantiene el mismo espíritu y requerimientos que la anterior y es de destacar la inclusión, en el control metrológico, de los dosímetros de ruido y el establecimiento de las fases de control mediante módulos.



*Figura 6.15. Verificación en campo de la calibración de un sonómetro y de un monitor semipermanente*

Con independencia de la metrología legal, ha existido desde antaño la necesidad de garantizar de forma científica la calidad y precisión de las medidas. Para ello se ha acudido al uso de diversas técnicas aplicables a la instrumentación de medida y que, generalmente mediante el uso de patrones, a su vez calibrados, permiten confirmar la validez de un resultado al haber confirmado previamente y a posteriori el correcto resultado de lectura usando el calibrador. La verificación y calibración en campo de los instrumentos de medida al uso en metrología de ruido ambiental suele realizarse mediante pequeños dispositivos portátiles que generan una señal

estable y conocida en términos de amplitud y frecuencia la cual, aplicada en condiciones de campo de presión sobre el micrófono, permiten al usuario confirmar el correcto funcionamiento del equipo o detectar posibles desviaciones que invaliden las medidas

La incertidumbre asociada a una calibración en campo suele ser peor que la correspondiente a laboratorio por razones obvias. Por tanto es muy recomendable establecer unos criterios de actuación claros para el caso de apreciar desviaciones durante la comprobación en campo. No se permite actuar sobre los ajustes de sensibilidad del equipo, por razones de metrología legal, pero tampoco se recomienda por razones de imprecisión del procedimiento. Como regla general se puede establecer que para un conjunto de sonómetro y calibrador acústico, ambos de precisión tipo 1, si la desviación respecto del valor esperado es mayor de  $\pm 0,5$  dB, se recomienda analizar el proceso para detectar posibles errores de procedimiento o confirmar en laboratorio cuál de los equipos intervinientes se encuentra fuera de especificaciones.

### 6.4.2. Incertidumbre

El concepto de incertidumbre ha evolucionado a lo largo de los años para todos los ámbitos de la metrología. Originalmente considerado como la cuantificación del error probable, entendido como desviación entre el valor observado y el verdadero se ha confundido de forma habitual con la precisión. En la actualidad se considera la siguiente definición internacional publicada por el VIM (Vocabulario Internacional de Términos fundamentales y generales de Metrología) en 1993: *Parámetro que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mensurando*. Entendiendo mensurando como: *La propiedad sujeta a medida* (BIPM 1993)

La necesidad de establecer criterios homogéneos e internacionales para cuantificar apropiadamente la incertidumbre asociada a cualquier procedimiento metrológico ha dado como resultado la publicación de diversos documentos que sirven de base para un desarrollo específico en cada área y tipo de ensayo. Nos referimos a: Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM) publicada en España en 1998 por el Centro Español de Metrología, organismo dependiente en aquella época del Ministerio de Fomento y a la norma UNE-ISO 3534-1 que es la última revisión de la edición de 1993 de la misma norma ISO.

Cada ensayo o medida requiere del conocimiento de las magnitudes e informaciones que de alguna manera pueden afectar al resultado, para cuantificarlas matemáticamente y aplicarlas al cálculo de la incertidumbre. En los últimos años son numerosos los WG de ISO que han decidido incluir en sus normas, anexos más o menos detallados en donde para el procedimiento de medida descrito en la norma se dan unas guías para el cálculo de la incertidumbre asociada. Son recomendaciones que pueden resultar muy útiles a la hora de enfrentarse a la no muy cómoda tarea de analizar un proceso de medida para poder expresar la incertidumbre asociada.

En el caso de la evaluación de ruido ambiental y de modo general la norma de referencia ISO 1996-2 incluye una buena aproximación a la evaluación de la incertidumbre de medida. En su capítulo 4 se establece como guía de procedimiento la GUM de 1998, se declara que no todos los posibles factores que afectan a la incertidumbre están reflejados y se incluye el procedimiento de cálculo considerando los factores siguientes:

- Instrumentación
- Condiciones de ensayo: número de muestras
- Condiciones meteorológicas y del terreno
- Nivel del ruido de fondo o residual

A cada uno de los cuatro factores se le asigna una *incertidumbre típica* dependiendo de la diferente forma de evaluación de cada componente. Por ejemplo:

- A la instrumentación utilizada se le atribuye una incertidumbre típica dependiente de su precisión. Sonómetro tipo I incertidumbre típica de 1 dB, precisiones menores (tipo II) incertidumbres mayores (> 1dB)
- A las condiciones de ensayo, en relación con el número de muestras independientes obtenidas se asigna un valor de incertidumbre típica que será menor cuanto mayor sea el número de muestras obtenidas. Cinco muestras mejor que tres
- La incertidumbre típica depende principalmente de la distancia fuente-objeto y de las condiciones meteorológicas reinantes. En la propia ISO 1996-2:2007 se dan algunas indicaciones al respecto
- La simple regla de la resta en decibelios para calcular el nivel del emisor emergente respecto del ruido residual no parece suficiente. Cuanto menor sea la diferencia entre ambos valores mayor será la incertidumbre típica correspondiente.

Esta es una relación simplificada, pero válida para una primera estimación bastante fiable. No obstante los investigadores, metrólogos y legisladores pueden avanzar y establecer criterios más desarrollados y que contribuyan a una mayor calidad de las medidas.

Una vez obtenidas las incertidumbres típicas individuales, todas ellas se combinan para obtener la incertidumbre típica combinada, que en un caso como el que nos ocupa se corresponde con la ecuación mostrada en la tabla siguiente:

**Tabla 6.1.- Cálculo de la incertidumbre expandida para el caso de una medida de ruido en el ambiente exterior según ISO 1996-2**

Instrumentación	Condiciones operativas	Meteorología	Ruido residual	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
dB	dB	dB	dB	$\sigma$ en dB	dB
1	X	Y	Z	$(1,02+ X^2+Y^2+Z^2)^{1/2}$	$\pm 2 * \sigma$

A los efectos del intercambio de información y conocimiento detallado de las condiciones de medida se suele ofrecer como dato final la conocida como *incertidumbre expandida U*, correspondiente a un determinado *factor de cobertura k*.

La valoración de las incertidumbres asociadas a una determinada medida, ya sea en campo o en laboratorio va haciéndose cada día más necesaria y confirma una tendencia a la mejora en la evaluación del ruido. Cada vez son más las normas que incluyen apartados específicos para el cálculo de la incertidumbre de cada procedimiento de medida.



## 6.5. Bibliografía

- Brüel & Kjaer Sound and Vibration Measurements A/S, *Ruido ambiental*, Brüel & Kjaer, Naerum, 2000
- Christophe Perruchet y Marc Priel, *Estimación de la incertidumbre*, AENOR Ediciones, Madrid 2000
- Harrys, Cyril M, *Manual de medidas acústicas y control del ruido*, MacGraw-Hill, 1998
- Hassal, JR y Zaveri, K., *Acoustic Noise Measurements*, Brüel & Kjaer, Naerum, 1988
- Lara, A y Stephens, *Noise pollution*, John Wiley and Sons, New York, 1986
- Migneron, JG, *Acoustique urbaine*, Masson, Paris, 1980
- Murray R. Spiegel, *Estadística*, McGraw-Hill, Madrid 1988
- Schultz, T.J., *Community noise ratings*, Applied Acoustics, London, 1972
- Directiva de la Unión Europea 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, *sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*
- Directive 98/37/EC of the European Parliament and of the Council of 22 June 1998 *on the approximation of the laws of the Member States relating to machinery*
- Directive 2000/14/EC of the European Parliament and of the Council, of 8 May 2000, *on the approximation of the laws of the Member States relating to the noise emission in the environment by equipment for use outdoors*
- Ley 3/1985, de 18 de marzo, de *Metrología*
- Real Decreto 1614/1985, de 1 de agosto, *por el que se ordenan las actividades de Normalización y Certificación*. BOE 215, 08/09/1995
- Real Decreto 212/2002, *por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debido a determinadas máquinas de uso al aire libre*, BOE, 01/03/2002
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, *del Ministerio de la Presidencia por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental* BOE, 17/12/2005
- Real Decreto 524/2006, *por el que se modifica el RD 212/2002 que regula las emisiones sonoras en el entorno debido a determinadas máquinas de uso al aire libre*, BOE, 04/05/2006
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, *del Ministerio de la Presidencia por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones Acústicas*, BOE, 23/10/ 2007

Orden, Ministerial 29920, de 16 de diciembre de 1998, del Ministerio de Fomento, por la que se regula el control metrológico del Estado sobre los instrumentos destinados a medir niveles de sonido audible.

Orden ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio por la que se regula el control metrológico de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos, BOE, 03/10/2007

Guía, *Guía para la expresión de la incertidumbre de medida*, M° de Fomento, CEM, 1998

ISO 1996-2:2007, *Acoustics. Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels*, ISO, Ginebra, 2007

ISO 3744:1994, *Acoustics—Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure- Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane*, ISO, Ginebra, 1994

ISO 3746:1995, *Acoustics—Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure- Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane*, ISO, Ginebra, 1995

ISO 8297:1994 *Acoustics—Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment- Engineering method*

ISO 9613-2:1996 *Acoustics— Attenuation of sound during propagation outdoors—Part 2: General method of calculation*

ISO 13474:2009, *Acoustics—Framework for calculating a distribution of sound exposure levels for impulsive sound events for the purpose of environmental noise assessment*, ISO, Ginebra, 2009

ISO 17201-1:2005 *Acoustics — Noise from shooting ranges — Part 1: Determination of muzzle blast by measurement*

ISO 17201-2:2006 *Acoustics — Noise from shooting ranges — Part 2: Estimation of muzzle blast and projectile sound by calculation*

ISO 17201-3 *Acoustics — Noise from shooting ranges — Part 3: Guidelines for sound propagation calculations* (en desarrollo)

ISO 17201-4:2006 *Acoustics — Noise from shooting ranges — Part 4: Prediction of projectile sound*

ISO 17201-5 *Acoustics — Noise from shooting ranges — Part 5: Noise management* (en desarrollo)

ISO/TS 15666: 2003, *Acoustics. Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys*, ISO, Ginebra, 2003

UNE-EN 61672-1:2005 *Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.*

UNE-EN 61672-2:2005 *Electroacústica. Sonómetros. Parte 2: Ensayos de evaluación de modelo.*

UNE-EN 61672-3:2006 *Electroacústica. Sonómetros. Parte 3: Ensayos periódicos.* (Ratificada por AENOR en junio de 2009.)

UNE-EN ISO 3744:1996, *Acústica—Determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido utilizando presión sonora. Método de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflectante*, AENOR, Madrid, 1996

UNE-EN ISO 3746:1996, *Acústica—Determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido a partir de la presión sonora. Método de control en una superficie envolvente sobre un plano reflectante*, AENOR, Madrid, 1996

UNE-ISO 1996-1:2005, *Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación*, AENOR, Madrid, 2005

UNE-ISO 3534-1:2008 *Estadística. Vocabulario y símbolos. Parte 1: Términos estadísticos generales y términos empleados en el cálculo de probabilidades*



## Capítulo 7

### Dispositivos reductores de ruido y pantallas acústicas. Generalidades, normativas y proyectos

*Dámaso Alegre Marrades*

#### 7.1. Medidas correctoras y lucha contra la contaminación acústica generada por los transportes

El ruido de tráfico es considerado como una de las causas de deterioro medioambiental asociado a cualquier infraestructura de transporte: autopistas, líneas de ferrocarril, aeropuertos, etc.

La creciente sensibilización de la población afectada, unida al hecho de que los niveles sonoros han aumentado en el entorno de las vías de circulación y zonas aeroportuarias, considerándose que el ruido de tráfico es la principal causa del ruido urbano (se estima que su incidencia en el conjunto de las distintas fuentes de ruido alcanza el 80 %) conducen, en consecuencia, a la promulgación de legislación y normativas al respecto, por parte de las Administraciones Públicas competentes, que obligan a tomar en consideración el problema del ruido ambiental desde una perspectiva mucho más seria día a día.

Para poder abordar el problema de la contaminación acústica en general, apreciada como molestia e incluso riesgo para la salud, es preciso conocer todos los factores que intervienen: físicos, psicosociales, etc.

En primer lugar conviene considerar qué se entiende por ruido, y la definición más aceptada es la de un sonido no deseado.

El estado del arte en la actualidad permite un adecuado análisis de los parámetros que describen el fenómeno físico

La calidad de un determinado ambiente sonoro resulta un aspecto cargado de una gran componente subjetiva, lo que dificulta enormemente la caracterización científica de los efectos de la contaminación acústica. No obstante, existe una demostrada relación entre el ruido de los transportes y los riesgos para la salud y el confort de las personas afectadas.

Hay que considerar, en cualquier caso, los aspectos peculiares de este tipo de contaminación:

- Se trata de una contaminación que podemos definir, a diferencia de los restantes tipos de contaminación, como "*limpia*", en efecto, solo existe contaminación mientras existe una fuente de ruido activa y una vez desaparecida dicha fuente, no queda ningún tipo de contaminación residual. Por consiguiente, la cuarta dimensión, el "*Tiempo*", deberá considerarse para el diseño de las medidas correctoras.

- Precisa de la existencia de individuos sensibles a la molestia asociada al ruido para ocasionar efectos negativos. Por tanto las medidas correctoras deberán ser eficaces en los puntos donde se localicen esos receptores.

## 7.2. Acciones sobre la propagación del sonido en infraestructuras

Como medidas correctoras del ruido asociado a una determinada infraestructura, puede analizarse la viabilidad de emprender distintas actuaciones que, de forma general, cabe agrupar en 4 grandes grupos.

- Actuaciones en la planificación de las infraestructuras de transporte y ordenación del territorio.
- Acciones sobre los vehículos, reduciendo al máximo la emisión de ruido del motor, escape, etc.
- Actuaciones sobre la propagación del sonido: pantallas acústicas y otros dispositivos reductores de ruido.
- Actuaciones tendentes a reducir el ruido generado en la interfase neumático-calzada y rueda-raíl.

Resulta evidente que la primera forma de evitar los efectos nocivos de la contaminación acústica de los transportes es una buena planificación urbanística, de forma que los usos del suelo menos sensibles al ruido se localicen próximos a los corredores y zonas de afección de las infraestructuras.

Las normativas europeas, ordenanzas municipales, etc. establecen límites de emisión sonora a los diferentes tipos de vehículos y medios de transporte que cada vez son menos ruidosos. No obstante siempre existe algún tipo de limitación que impide bajar de determinados niveles la emisión de las fuentes sonoras a considerar.

Las acciones sobre la propagación del sonido son las consideradas como medidas correctoras más comunes para un determinado proyecto y de ellas hablaremos más adelante.

Las actuaciones tendentes a reducir el ruido en la interfase neumático- calzada y rueda-raíl, se suelen concretar principalmente en la prescripción y empleo de firmes de tipo poroso-drenante, infraestructura de vía con carril continuo y traviesas con elementos antivibraciones, etc.

## 7.3. Dispositivos reductores de ruido: equipamiento específico

Las acciones que podemos ejercer para dificultar la propagación del sonido procedente de una infraestructura de transporte, básicamente se concretan en:

- a) la interposición de obstáculos a la transmisión, que presenten unas adecuadas características de aislamiento a ruido aéreo, y/o,

b) la modificación de las condiciones de absorción acústica en las superficies apropiadas, que intervienen delimitando el camino de la propagación acústica.

Estos parámetros, aislamiento y absorción, son fundamentales en la definición de las dotaciones anti-ruido de la infraestructura y, según sea el problema acústico al que nos enfrentemos, deberemos considerar uno, otro o los dos, exigiendo a los materiales a emplear, que presenten unas adecuadas características acústicas.

Entendemos por el término barrera o pantalla acústica aquellos elementos u obstáculos que por su situación y características protegen del ruido proveniente de una determinada fuente sonora a un determinado receptor, dificultando la transmisión del sonido a través de ellos. Por tanto en este término consideraremos incluidos:

- **Pantallas vegetales:** constituidas por masas de vegetación perennifolia, muy densas e implantadas en una banda de anchura considerable (se precisa una anchura del orden de 50 m de bosque de pino denso, para obtener una reducción de 2 a 3 dBA; no son eficaces las plantaciones de algunas pocas filas de árboles o arbustos junto a la carretera, ferrocarril, etc.
- **Diques de tierra:** obstáculos formados por amontonamiento de tierra con grandes espesores en la base. Generalmente se suelen recubrir con tierra vegetal u otros elementos para facilitar la revegetación y crecimiento de plantas. Presentan la ventaja de que el coste del material de construcción es relativamente bajo ya que pueden aprovecharse los excedentes del movimiento de tierras en infraestructuras de nueva construcción, no obstante, la ocupación de espacio que precisan y el coste de las expropiaciones que aumentarían el montante total de la obra, pueden llegar a desaconsejar su prescripción como medida correctora. Adecuadamente ejecutados, su integración paisajística puede ser óptima, particularmente en zonas rurales.
- **Pantallas acústicas:** muros o barreras constituidas por elementos de pared relativamente delgada, verticales o inclinados, que presentan distinto grado de absorción acústica y que ofrecen una gran resistencia a la transmisión del sonido a través de ellos, es decir un índice de aislamiento a ruido aéreo suficiente. Las pantallas pueden adoptar numerosas formas y pueden emplearse diversos materiales: elementos metálicos, hormigón, madera, vidrio, materiales plásticos, materiales cerámicos, elementos prefabricados a base de los materiales anteriores y materiales absorbentes (lana mineral, fibra de vidrio), etc. Son las barreras más usualmente empleadas y más interesantes como equipamiento anti-ruido, propiamente dicho, de las infraestructuras viales.
- **Construcciones mixtas:** son soluciones que resultan de la combinación de algunos de los tipos anteriores (dique de tierra + pantalla acústica en su coronación, semi-dique con elementos de contención de tierra vegetalizables, etc.).
- **Cubriciones parciales o totales de la calzada o vía de circulación:** evidentemente, desde el punto de vista de la eficacia en la reducción de ruido, son las más interesantes, pero su elevado presupuesto de ejecución las hace generalmente inabordables. Existen soluciones de cubrición total o parcial mediante elementos ligeros similares a los empleados en apantallamiento acústico



(paneles modulares, enrejados de baffles, cubiertas translúcidas o transparentes, etc.), pero igualmente su empleo resulta muy limitado en razón de la elevada inversión que suponen.

- **Dispositivos especiales:** son dispositivos diseñados especialmente para casos muy particulares, como por ejemplo, la reducción del ruido que se produce en algunas juntas de dilatación de viaductos y obras de fábrica cuando el tráfico cruza sobre ellas, etc., o bien los dispositivos que se colocan en la parte alta de las pantallas acústicas para modificar el comportamiento de la difracción.

Asimismo, existen otro tipo de elementos que dificultan la propagación del sonido, desde la fuente al receptor, por absorción acústica de las ondas sonoras que inciden sobre ellos, son los:

- **Tratamientos absorbentes:** empleados para aumentar considerablemente el grado de absorción acústica de muros de contención, paredes de trincheras, accesos y bocas de túneles, etc. Suelen emplearse materiales análogos a los empleados para la realización de las pantallas acústicas absorbentes, sin que deban aportar un mínimo grado de aislamiento a ruido aéreo; con ellos se realiza un revestimiento de las superficies a tratar. Resultan igualmente muy interesantes como dispositivos reductores de ruido de la infraestructura vial.

### 7.3.1. Pantallas acústicas

Una pantalla acústica, según se ha definido, es un muro o barrera constituida por elementos de pared relativamente delgada, verticales o inclinados, con formas planas o curvas, que ofrecen una gran resistencia a la transmisión del sonido a través de ellos y distinto grado de absorción acústica, dispuesta entre la fuente y el receptor y dimensionada convenientemente para crear una zona de "sombra acústica" junto al receptor, por difracción de las ondas sonoras en sus bordes.

#### 7.3.1.1. Principio de funcionamiento. Fundamento acústico

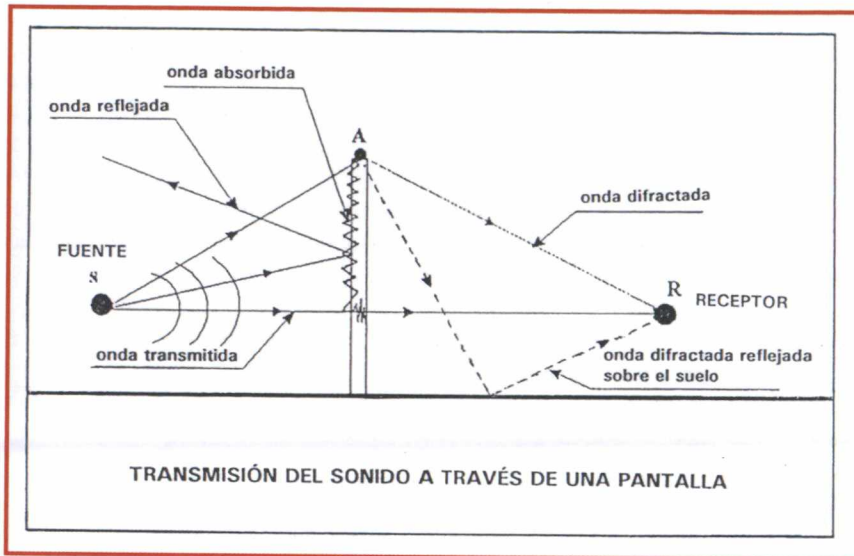
El sonido emitido por una fuente S, se propaga en campo libre por el aire hasta alcanzar al receptor R sin más atenuación que la debida a la distancia entre ambos y a la absorción del aire.

Si se interpone una pantalla entre la fuente y el receptor, la propagación del sonido resulta modificada. (véase Figura 7.1).

Parte de la energía acústica que incide en la pantalla pasa a través de la misma y alcanza al receptor (onda transmitida). Del resto de la energía incidente sobre la pantalla una parte es absorbida por el material (onda absorbida) y otra parte es reflejada según sea el ángulo de incidencia de la onda (onda reflejada). La parte de energía absorbida será mayor y por tanto, la parte reflejada menor, cuanto mayor sea la capacidad de absorción acústica de los materiales empleados en la construcción de la pantalla.

El resto de la energía acústica que alcanza al receptor proviene de la difracción de los rayos sonoros en los bordes de la pantalla, que sufren un cambio de trayectoria (ondas difractadas)

disminuyendo los niveles de ruido tras la pantalla en diferente medida según el punto considerado, creando una zona de “*sombra acústica*”. La aplicación de las teorías de la difracción de Fresnel, fórmula de Kurze & Anderson y ábacos de Maekawa, permiten estimar la disminución del nivel de ruido en el punto receptor, causada por la difracción.



*Figura 7.1. Principio de funcionamiento de una pantalla acústica*

### 7.3.1.2. Eficacia de las pantallas

La eficacia acústica, para un determinado receptor, de una pantalla instalada en una infraestructura de transporte es la atenuación sonora que proporciona frente al ruido del tráfico, disminuyendo el nivel de ruido en ese punto receptor. Los factores que influyen en la eficacia de una pantalla, según lo expuesto, son los siguientes:

- La capacidad de aislamiento acústico a ruido aéreo y el carácter absorbente o reflectante de la pantalla. Vienen determinados por los materiales constitutivos de la pantalla.
- El dimensionamiento geométrico. Fundamentalmente la altura y longitud de la pantalla.
- Su ubicación. Es decir la situación relativa de la pantalla con relación a la fuente de ruido y a la zona a proteger, así como la topografía y demás características del lugar de su implantación.

### 7.3.1.3. Diseño de las pantallas acústicas

El diseño de una pantalla acústica para un determinado tramo en una infraestructura suele ser muy complejo e implica la realización de un análisis profundo de todos los factores que intervienen:

- **Cuantificación precisa del problema acústico** a resolver, es decir, de contaminación por ruido, y definición de la eficacia acústica que deberá aportar la pantalla.

- **Determinación de la ubicación de la pantalla** con respecto a la vía de circulación: una pantalla de una determinada altura sobre la calzada, en general, será más eficaz cuanto más próxima se halle a la fuente sonora, es decir al tráfico. No obstante, en la mayor parte de los casos, la colocación de la pantalla estará condicionada por la disponibilidad de terreno y por la necesidad de garantizar ciertas condiciones de seguridad para el tráfico, que pudieran verse afectadas.
- **Diseño geométrico de la pantalla:** como se ha indicado, la eficacia de la pantalla depende, entre otros factores, de su altura y de su longitud. En principio este par de factores se pueden combinar de multitud de maneras para obtener la eficacia deseada, en base a las teorías de la difracción acústica ya indicadas. Existen distintos modelos de cálculo con muy diferente grado de fiabilidad a la hora de optimizar el dimensionado geométrico de la pantalla, siendo recomendable, salvo en casos muy simples, acudir al empleo de programas expertos tridimensionales, que permiten un dimensionado optimizado muy fiable y, aunque más costosos, el gasto suele amortizarse con el ahorro de materiales que se produce al quedar la dimensión de la pantalla reducida al mínimo necesario.
- **Diseño constructivo:** existe una gran heterogeneidad en las soluciones adoptadas en los diferentes países europeos e incluso en la relativamente corta experiencia española al respecto, aunque no obstante últimamente, se detecta una cierta tendencia a la homogeneización de los tipos de pantalla a utilizar.

En general, una pantalla acústica estará constituida:

- Por los elementos, paneles modulares o materiales que constituyen el muro y que son los elementos que aportan las características acústicas a la pantalla.
- Por el almacén o estructura soporte en el que se dispondrán los elementos anteriores. Generalmente suele tratarse de perfiles normalizados tipo HEA, HEB o IPE, dispuestos a una determinada distancia entre ejes, calculados y dimensionados según los esfuerzos a soportar.
- Por las cimentaciones precisas para mantener la estabilidad de la pantalla acústica. Pueden adoptarse diversas soluciones y su cálculo debe realizarse siguiendo las pautas establecidas en las normativas generales de construcción de obra civil.

En el diseño constructivo de las pantallas acústicas deben considerarse todas las acciones exteriores y las cargas estructurales a las que puedan estar sometidas: la acción del viento, la presión dinámica del aire causada por el paso de los vehículos, el propio peso de los elementos que las constituyen, los choques de los vehículos en caso de accidente, los impactos causados por piedras y otros materiales despedidos contra la pantalla y, en su caso, la carga dinámica debida al empuje de la nieve desplazada por las máquinas quitanieves contra la pantalla. Se han publicado Normas Europeas en las que se definen los requisitos exigibles a los elementos, fijaciones o anclajes y estructuras soporte, desde el punto de vista de su comportamiento mecánico y de estabilidad.

- **Diseño para mantener la seguridad vial y medioambiental:** las pantallas acústicas, son equipamientos que especialmente en infraestructuras como las carreteras, dadas sus características constitutivas y geométricas, pueden llegar a suponer un mayor riesgo de accidente al entorpecer la visibilidad, constituir elementos rígidos contra los que pueden llegar a colisionar los vehículos o ser



causa de reflejos que puedan ocasionar despiste a otros conductores. Además, se trata de obras civiles de considerables dimensiones que pueden ocasionar un fuerte impacto visual sobre el paisaje.

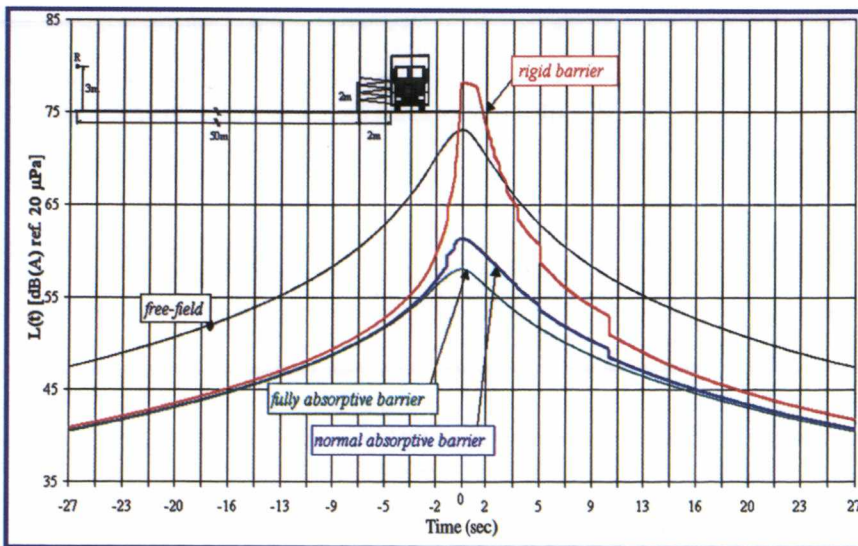
Por ello habrá que cuidar extremadamente su diseño para evitar cualquier afección a la seguridad vial y dotarlas de un adecuado tratamiento estético.

- **Definición de las prestaciones acústicas**, exigibles a los materiales constituyentes de la pantalla: hay que analizar detalladamente la posibilidad de que las ondas reflejadas puedan o no alcanzar zonas sensibles al ruido y/o disminuir la eficacia calculada para la pantalla, por las reflexiones múltiples entre las carrocerías de los vehículos y la propia pantalla (véanse Figuras 7.2 y 7.3), antes de decidirse entre la instalación de una pantalla absorbente o una pantalla reflectante.

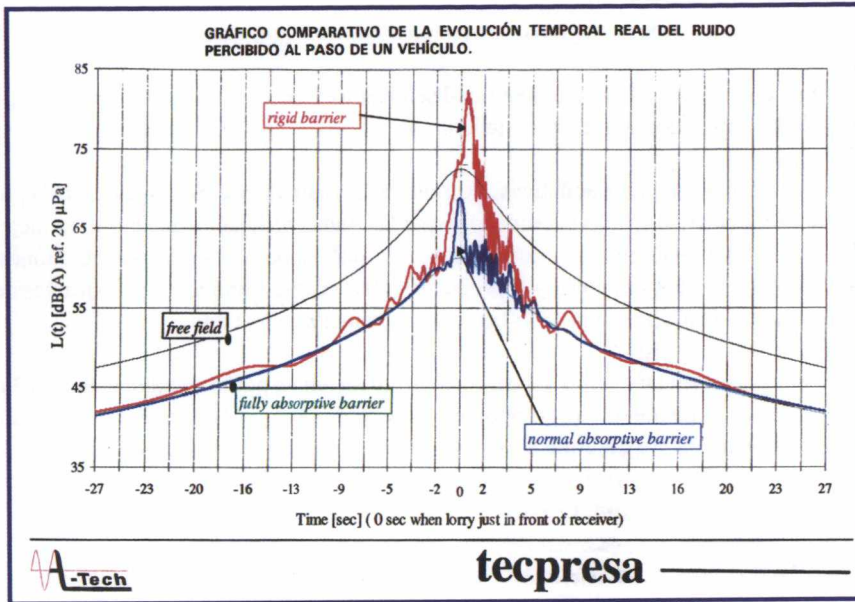
El ejemplo ilustra la evolución temporal del ruido percibido en un punto receptor situado a 3 m de altura y a 50 m detrás de la pantalla, correspondiente al paso de un camión frente a una pantalla acústica vertical de 2 m de altura. Se describe el ruido que percibiríamos en campo libre, sin pantalla (negro), con una pantalla reflectante (rojo), con pantalla absorbente real (azul) y con una pantalla teórica completamente absorbente (verde).

La Figura 7.2 presenta la modelización teórica del evento considerando fuentes incoherentes y la figura 7.3 ilustra los resultados en el caso de fuentes coherentes, más próximo a las mediciones en el caso real.

Puede apreciarse en este ejemplo el efecto muy considerable que sobre el nivel máximo de inmisión percibido, puede tener el que el material de la pantalla sea reflectante o absorbente, aunque en el nivel de inmisión equivalente total correspondiente al paso del vehículo el efecto sea menos importante.



**Figura 7.2. Modelización teórica de la interacción entre pantalla acústica y vehículo considerando fuentes incoherentes**



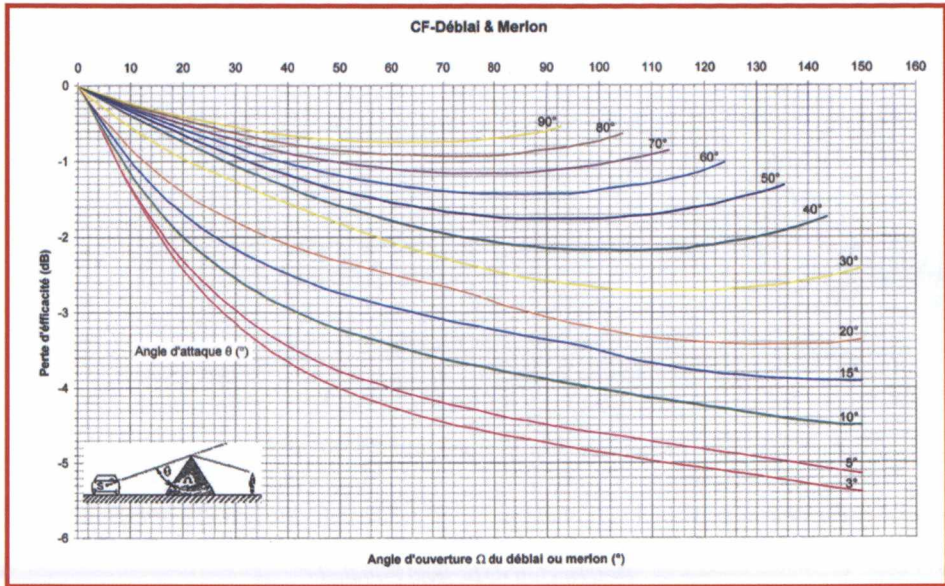
**Figura 7.3. Modelización teórica de la interacción entre pantalla acústica y vehículo considerando fuentes coherentes**

Las características relativas al comportamiento acústico de los materiales a emplear deberán quedar claramente definidas en el pliego de condiciones del proyecto correspondiente. A tal efecto, la normativa europea UNE-EN en vigor, define unos índices,  $DL_R$ , para determinar el aislamiento a ruido aéreo y  $DL_\alpha$  para evaluar la capacidad de absorción acústica, que deberán presentar los materiales a emplear. Estos índices se calculan a partir de ensayos realizados sobre una muestra de los materiales que se pretende utilizar, dispuestos de la misma forma en que esté prevista la instalación de la pantalla.

Debe de tenerse presente, asimismo, cuando se decide adoptar como medida correctora un dique, mota o caballón de tierra, que su comportamiento acústico no resulta tan eficaz como el de una pantalla acústica fina tradicional, a igualdad de altura. En efecto, se debe considerar la pérdida de eficacia que se genera según los ángulos de los taludes, por el diferente frente de ataque de onda. (véase Figura 7.4).

En cualquier caso, habrá que tener en cuenta que el diseño de las diferentes formas de la pantalla y su composición con materiales reflectantes, absorbentes o empleando ambos tipos, para un mismo caso a resolver, supondrán un comportamiento muy diferente en lo que se refiere a su eficacia y a los mapas acústicos resultantes para la zona a proteger, por lo que resulta recomendable que esta labor sea realizada por personal muy experto.

Así por ejemplo, en las figuras siguientes (véanse Figuras 7.5 y 7.6), se presenta un estudio de la variación de los mapas de ruido generados por el paso de un tren de alta velocidad, en una zona



**Figura 7.4.** Pérdida de eficacia según los ángulos de ataque de onda en los desmontes y caballones de tie-

correspondiente a un perfil transversal detrás de diferentes pantallas, que va desde 10 a 150 m de distancia al carril de la vía más cercano y desde -15 a 45 m de altura respecto a la cota de dicho carril. En la Figura 7.6, que representa los diferentes mapas de ruido obtenidos según sea la forma y composición de la pantalla acústica, se ha modificado la escala del mapa de ruido respecto a la configuración estudiada según se describe en la Figura 7.5 y se ha sobrepuesto cada configuración sobre su mapa de ruido correspondiente para que resulte más ilustrativo.

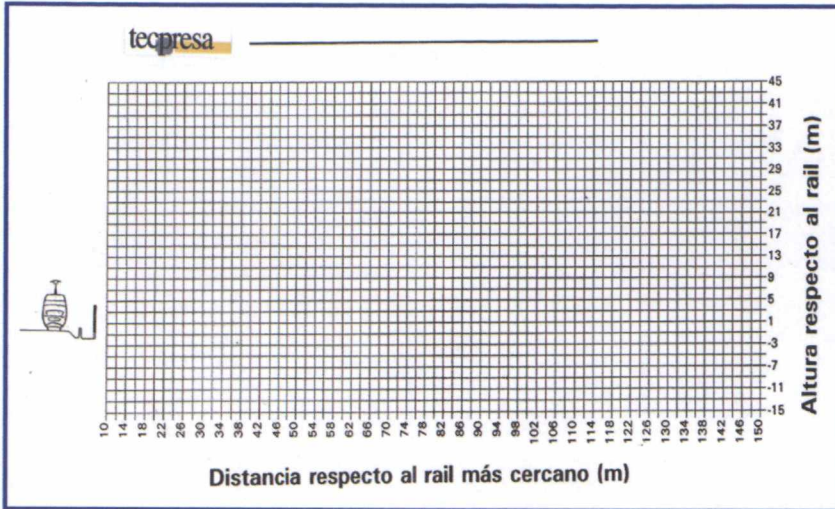
Puede apreciarse que para una altura constante de pantalla de 2,4 m, la modificación del campo acústico introducida por la pantalla es muy diferente en función de los materiales:

- reflectantes en la columna de la izquierda,
- mixto reflectantes y absorbentes en la columna central,
- absorbentes en la columna de la derecha.

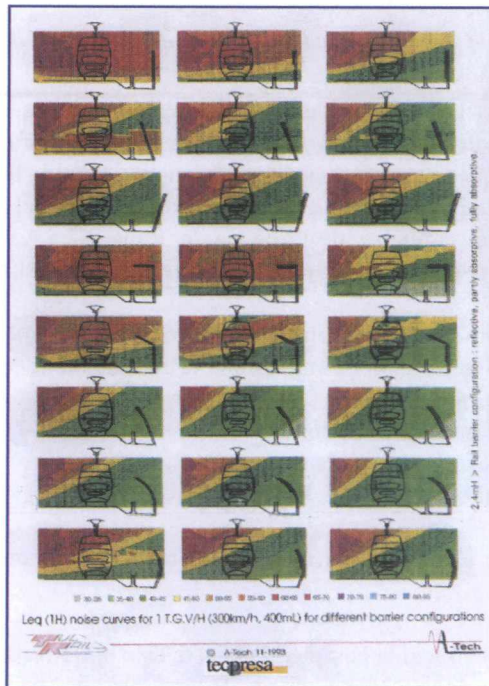
Asimismo, puede comprobarse que la forma de la pantalla influye muy considerablemente en el resultado obtenido.

Este ejemplo ya ilustra de por sí la complejidad del diseño optimizado de las pantallas acústicas, pero aún más, si en lugar de tratarse de una vía de ferrocarril de alta velocidad a la que se refiere este ejemplo, se tratase de una autopista, el comportamiento de cada una de las diferentes formas y composiciones de la pantalla que se han detallado en ese ejemplo, cambiaría considerablemente.





**Figura 7.5.** Ejemplo de variación del comportamiento acústico de una pantalla anti-ruido de 2,4 m de altura sobre cota de rail para diferentes formas y materiales empleados en su diseño.  
*Descripción de la zona estudiada*



**Figura 7.6.** Ejemplo de variación del comportamiento acústico de una pantalla anti-ruido de 2,4 m de altura sobre cota de rail para diferentes formas y materiales empleados en su diseño. Mapas de isofonas según tipología de pantalla

- **Definición de la vida en servicio de la pantalla:** es éste un aspecto generalmente descuidado por los diseñadores de pantallas y que, sin embargo, condiciona todos los demás.

En efecto, las pantallas acústicas se dimensionan en base a los datos del tráfico que circula por la carretera (IMD, velocidad media, porcentaje de pesados, etc.) o por la vía (número de circulaciones, velocidad, tipo de trenes, etc.), que variarán generalmente a lo largo del período de explotación de la infraestructura. Si se diseñan para corregir la situación prevista a muy corto plazo, puede que en breve, su eficacia resulte insuficiente para mantener los niveles de ruido por debajo de los máximos admisibles. Resulta por tanto imperativo, definir para que etapa o condiciones de la explotación (entrada en servicio, año 10, año horizonte, tráfico de saturación de la carretera, etc.) de la infraestructura viaria se diseña la pantalla.

Asimismo, será preciso prever una vida útil de la pantalla acorde con lo anterior, lo que determinará las características exigibles a los materiales a emplear en la construcción de la pantalla. Es evidente que habrá que garantizar que las prestaciones de aislamiento y absorción acústicas se mantengan prácticamente invariables a lo largo de su vida en servicio prevista. El comportamiento de los materiales frente a la corrosión, ambientes agresivos, radiación U.V., etc., debe considerarse, a fin de evitar que la pantalla pueda llegar a ser ineficaz o crear problemas de seguridad o de mantenimiento excesivo e incluso impracticable, por causa del envejecimiento de los materiales.

#### 7.3.1.4. Tipos de pantallas acústicas en proyectos de infraestructuras de transporte

Las pantallas acústicas, pueden clasificarse, en base a sus características de absorción acústica, en dos grandes grupos:

- **Pantallas reflectantes:** son pantallas con un índice  $DL_{\alpha}$  muy bajo.
- **Pantallas absorbentes:** son pantallas con un índice  $DL_{\alpha}$  considerable. Es evidente que una pantalla será tanto más absorbente cuanto mayor sea el valor de su índice  $DL_{\alpha}$ .

Es preciso resaltar que *a priori*, no resulta preferible un tipo de pantalla frente a otro, serán las peculiaridades del problema acústico a resolver las que determinarán el grado de absorción más conveniente.

En lo que se refiere a la capacidad de aislamiento a ruido aéreo de las pantallas, igualmente serán las peculiaridades de cada caso acústico las que determinarán cual es el índice de aislamiento a ruido aéreo  $DL_R$  a exigir. Generalmente, suele ser suficiente que la pantalla aporte un índice de aislamiento del orden de 25 a 26 dBA para el espectro de ruido de tráfico por carretera normalizado, asimismo, si se tratase de tráfico ferroviario u otras fuentes sonoras fijas de tipo industrial, este índice de aislamiento debería considerarse respecto a los espectros característicos de esas fuentes sonoras. En efecto, se considera que la energía sonora transmitida a través de la pantalla es despreciable cuando su nivel de presión sonora es menor en 10 dBA que el nivel sonoro resultante que llega al receptor por otros caminos (difractado, directo, etc.) y, dado que actualmente la eficacia máxima de las pantallas acústicas es raramente mayor que 15 o 16 dBA, bastará con asegurar unas pérdidas por transmisión del orden indicado, de 25 a 26 dBA.



En cualquier caso, los materiales a emplear para la construcción de una pantalla acústica, deberán presentar una capacidad mínima de aislamiento acústico, mientras que solo en ciertos casos será, además, exigible una capacidad adecuada de absorción acústica.

Podríamos clasificar los tipos de pantallas acústicas en base a otros criterios: constructivos, materiales empleados, de ubicación, etc. Así por ejemplo, las pantallas pueden ser verticales o inclinadas, soportadas o autoportantes, transparentes u opacas, finas o volumétricas, etc.

### 7.3.1.5. Materiales para pantallas acústicas. Soluciones tipo más usuales

Resulta inabordable, en el contexto de este capítulo, repasar todos los tipos de materiales susceptibles de empleo para la construcción de pantallas acústicas, por lo que nos centraremos en aquellas soluciones tipo que, realizadas con elementos prefabricados, dada su modularidad permiten adaptarse mejor a diferentes casos, con independencia de la altura o longitud de la pantalla.

#### **Pantallas realizadas con módulos transparentes:**

Se trata de pantallas reflectantes desde el punto de vista acústico y generalmente se emplean para su construcción planchas de policarbonato, polimetacrilato PMMA o vidrio. Los diferentes fabricantes de este tipo de materiales suelen tener productos, dentro de su gama de fabricados, que se adaptan mejor al empleo en la construcción de pantallas acústicas, incluso han desarrollado productos especiales para esta aplicación. Cada uno de estos materiales presenta diferentes características de resistencia mecánica y fragilidad, envejecimiento en intemperie (particularmente frente a los U.V.) y de riesgo para la seguridad vial.

Generalmente, las exigencias de estabilidad y resistencia mecánica implican el empleo de unos espesores de planchas de material ( $e = 15 \text{ mm}$ ), que confieren a la pantalla una masa superficial ( $\text{kg/m}^2$ ) suficiente para asegurar la aportación de un índice de aislamiento a ruido aéreo claramente mayor que 25 dBA.

A la hora de diseñar este tipo de pantallas es fundamental:

- cuidar el sistema de fijación de las planchas transparentes a la estructura soporte (generalmente perfiles de acero normalizados IPE, HEB,...) a fin de permitir la dilatación térmica de las planchas, asegurando la estanqueidad acústica de las juntas;
- diseñar la separación entre perfiles soporte teniendo en cuenta la dimensión estándar de las planchas que ofrece el mercado, a fin de evitar costes innecesarios por “despunte” de material;
- en su caso, prever sistemas que impidan que puedan desprenderse fragmentos de mayor tamaño que supongan un riesgo para terceros, en caso de accidente. Igualmente es preciso comprobar que no exista riesgo de reflexión de la luz que produzca deslumbramiento a terceros.

Por todo ello se recomienda que la pantalla tenga un cerco perimetral que le dé estabilidad, rigidez, y sujete los trozos en caso de posible rotura

Las pantallas transparentes tienen la ventaja de interferir mínimamente en la visibilidad del entorno, no obstante y aún a costa de perder la visibilidad del paisaje para los ocupantes que viajan en los vehículos, en algunos casos conviene evitar interacciones entre la pantalla y las carrocerías de los mismos. Por consiguiente, se recomienda que la parte baja de la pantalla se realice con materiales absorbentes (siempre opacos), cuando la pantalla se ubique muy próxima a los vehículos que circulan por la vía.



### *Ventajas*

- buen aislamiento
- gran permeabilidad visual
- fácil integración
- buena apariencia estética
- posibilidad de curvar

### *Precauciones ante su prescripción*

- analizar efecto de las reflexiones sonoras
- analizar peligro por impacto de vehículos
- analizar comportamiento al riesgo de incendio
- analizar riesgo de accidentes de fauna
- considerable sensibilidad al vandalismo
- vida media moderada (15 -20 años)

### *Uso habitual*

- tableros puentes y zonas altas de taludes
- ubicación cercana viviendas sin otras en frente
- partes altas de otro tipo pantallas



*Figura 7.7. Ejemplos de pantallas realizadas con módulos transparentes*

### **Pantallas realizadas con módulos de hormigón:**

Este tipo de pantallas puede ser reflectante o absorbente, según sea el tipo de módulo prefabricado que se seleccione.

Los módulos reflectantes son elementos prefabricados a base de hormigón armado con diferentes formas y relieves que, junto con la posibilidad de conseguir diferentes coloraciones del hormigón (aunque dentro de una gama limitada), permiten soluciones arquitectónicas con una adecuada estética. Si la obra a realizar tiene una considerable magnitud, es frecuente la realización de diseños especiales que confieren un carácter arquitectónico diferenciador a la pantalla.

Los módulos absorbentes suelen tener forma plana o curva y están constituidos por:

- una placa de hormigón armado de espesor suficiente para asegurar su comportamiento mecánico. Esta placa confiere al módulo su capacidad de aislamiento acústico.
- sobre la placa anterior se dispone una capa realizada con hormigón poroso a la que se le suele dar un acabado en relieve, generalmente estriado, que le confiere un mejor aspecto estético. Esta capa es la que confiere al módulo su capacidad de absorción acústica, en diferente grado, según sean los elementos y dosificación empleados en su realización. Este tipo de módulos raramente alcanza coeficientes de absorción elevados, presentan generalmente unos índices del orden de 4 a 5 dBA.

Existe otro tipo de paneles modulares realizados a base de elementos prefabricados de GRC (Hormigón reforzado con fibra de vidrio) que constan de un cuerpo o carcasa sólido (placa aislante), moldeado de forma que permite alojar unas planchas de lana mineral (que son el elemento absorbente) y una rejilla de GRC igualmente moldeada de forma que presente unas perforaciones suficientes para evitar la reflexiones acústicas y que proteja las placas absorbentes de lana mineral a la vez que confiere el acabado estético al módulo.

Los paneles modulares de hormigón presentan unas características muy elevadas de aislamiento a ruido aéreo, aunque conviene recordar que, en general, no por ello van a conferir una mayor efectividad a la pantalla acústica por las razones ya indicadas anteriormente. Sí será preciso, no obstante, cuidar el diseño e instalación en las juntas entre poste de estructura soporte y módulo y de los módulos entre sí, para evitar fugas acústicas que reduzcan sensiblemente el índice global de aislamiento de la pantalla.

### **Ventajas**

- buen aislamiento
- fácil mantenimiento
- gran durabilidad

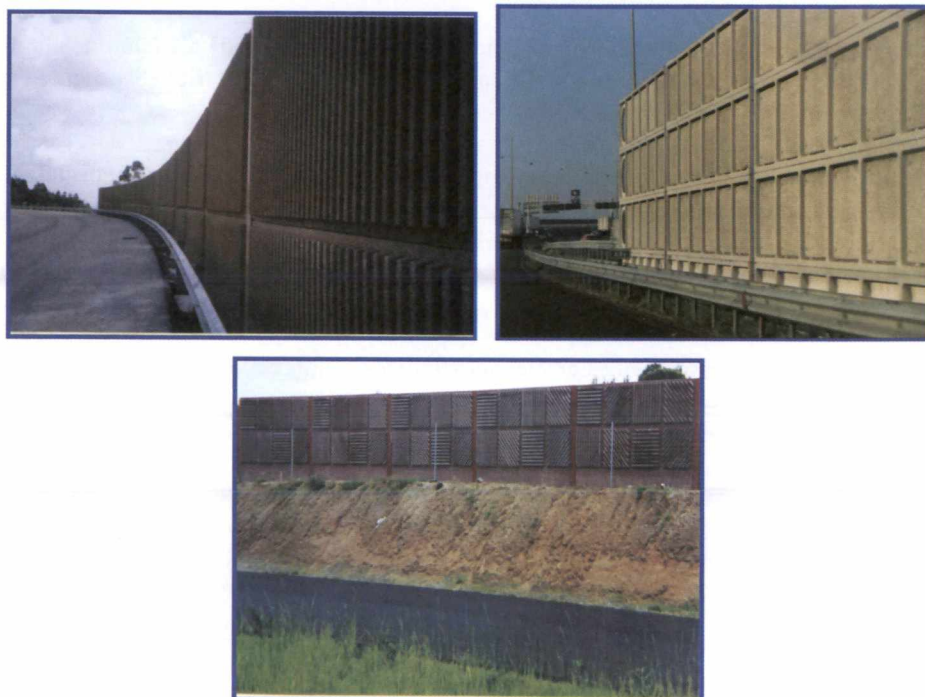
### **Precauciones ante su prescripción**

- analizar efecto de las reflexiones sonoras (en general son reflectantes o de baja absorción)

- analizar peligro por impacto de vehículos (mucha rigidez ) y riesgo de caída de la pantalla (materiales muy pesados)
- analizar riesgos por obstaculización de la visión

### Uso habitual

- zonas de gran estabilidad de suelo-cimentación
- requerimiento de gran durabilidad (>20 años)



*Figura 7.8. Ejemplos de pantallas realizadas con módulos de hormigón*

### Pantallas realizadas con módulos metálicos, tipo “sandwich”:

Aunque existen algunas pantallas reflectantes realizadas con chapa metálica corrugada, las pantallas acústicas metálicas suelen ser, por lo general, altamente absorbentes y están constituidas por paneles modulares metálicos con un material absorbente acústico en su interior.

En general, la estructura soporte suele construirse con perfiles verticales normalizados de acero, anclados al suelo mediante cimentación o hincados en el terreno, calculados y dimensionados según los esfuerzos a soportar.



Los paneles modulares tienen la doble función de aislamiento y absorción acústica y están constituidos por los elementos siguientes:

- Carcasa: realizada con chapa plegada, de acero o de aleación de aluminio de alta resistencia, con acabado pintado. Confiere al módulo su capacidad de aislamiento acústico.
- Placa o material absorbente: constituida por lana mineral o fibra de vidrio baquelizada, utilizables en condiciones de saturación de humedad con un velo protector de agua y erosión eólica. Confiere al módulo su capacidad de absorción acústica y junto con la carcasa, la capacidad de aislamiento a ruido aéreo.
- Rejilla de protección: realizada con chapa perforada, de acero o de aleación de aluminio de alta resistencia, con acabado pintado. Su misión es proteger el material absorbente y aportar el acabado superficial a la pantalla.

Los paneles metálicos pueden suministrarse pintados en los diferentes colores normalizados de la carta RAL, permitiendo lograr un diseño arquitectónico adecuado para su mejor integración en el entorno paisajístico, así como evitar posibles efectos de monotonía mediante la alternancia o diversificación cromática, garantizando la inexistencia de problemas de seguridad vial por este concepto.

Este tipo de pantallas, permite ofrecer elevados índices de absorción acústica (hasta 13 o 14 dBA), para el conjunto de la pantalla instalada.

### **Ventajas**

- poca reflexión
- gran ligereza
- fácil mantenimiento y reposición
- buen comportamiento a impacto de vehículo
- posibilidad de colores y plasticidad

### **Precauciones ante su prescripción**

- analizar riesgos por obstaculización de la visión
- sensibilidad al vandalismo
- vida media moderada (15 -20 años)

### **Uso habitual**

- tableros puentes y zonas altas taludes
- cuando existen zonas sensibles en margen contrario, pantallas enfrentadas y/o ubicación muy cercana a los carriles o vías de circulación (riesgo de interacción pantalla-carrocéricas)
- pantallas de gran altura



*Figura 7.9. Ejemplos de pantallas realizadas con módulos metálicos tipo “sandwich”*

### **Pantallas realizadas con módulos de madera**

Este tipo de pantallas se construyen a base de paneles modulares realizados en madera tratada convenientemente para asegurar su conservación a la intemperie. El tratamiento de preservación que se da a la madera empleada en los paneles se suele realizar en autoclave (impregnación profunda) una vez mecanizadas y conformadas las diferentes piezas de los elementos que constituyen el panel.

Los paneles modulares pueden ser reflectantes o absorbentes, según lleven o no un material altamente absorbente adosado por su cara expuesta al tráfico.

En el caso de ser absorbentes, generalmente los módulos están constituidos por una carcasa ciega de madera que alberga unas planchas de lana mineral y un enrejado de protección a base de semi-redondos de madera, dispuestos en diferentes posiciones (vertical, inclinada,...) para obtener distintas combinaciones decorativas. En ciertos productos, el material absorbente va adosado directamente sobre la carcasa de madera y se protege con tratamientos endurecedores de su superficie que a la vez la conforman para darle un cierto relieve y coloración que contribuyan a su inserción estética.

Estos paneles modulares, ofrecen al igual que los anteriores unas elevadas prestaciones de absorción acústica (por encima de 8 dBA).

**Ventajas**

- posibilidad de alta absorción acústica
- gran integración medio ambiental en entornos naturales
- buenas posibilidades estéticas

**Precauciones ante su prescripción**

- analizar riesgos por obstaculización de la visión
- analizar comportamiento al riesgo de incendio
- el mantenimiento puede resultar costoso
- sensibilidad al vandalismo
- vida media moderada (15 -25 años)

**Uso habitual**

- zonas de integración específica en el entorno



*Figura 7.10. Ejemplos de pantallas realizadas con módulos de madera*



**Pantallas tipo jardinera:**

Son pantallas que presentan diferente (generalmente bajo) grado de absorción acústica. Están constituidas por elementos autoportantes prefabricados de hormigón, cerámica o madera tratada que, una vez instalados habilitan unos huecos que finalmente se rellenan de tierra o grava de diferente calibre. Permiten la plantación de diferentes especies vegetales, pero hay que tener cuidado con la climatología de la zona de implantación y el costo de su mantenimiento.



*Figura 7.11. Ejemplos de pantallas tipo jardinera*

**Tratamientos absorbentes:**

En aquellos casos en que las reflexiones de las ondas sonoras sobre las superficies de paredes reflectantes, ya sea de muros de contención, de trinchera o de túneles, puedan ocasionar una elevación inaceptable del nivel de ruido en las zonas próximas a la infraestructura, se puede prever la instalación de revestimientos altamente absorbentes que permiten evitar la mencionada elevación del nivel de ruido.

Un revestimiento absorbente acústico está generalmente constituido por paneles modulares metálicos o de GRC con un material absorbente acústico en su interior o por losetas prefabricadas con grava aglomerada con resinas sobre fibra de vidrio o por paneles de hormigón poroso absorbente, y por los perfiles para soporte y fijación necesarios para construir las guías en las que se deslizarán dichos paneles o losetas para recubrir la superficie del muro o paramento a tratar.

Los paneles modulares tienen la función de absorción acústica de las ondas sonoras incidentes para evitar al máximo su reflexión sobre la superficie tratada, por lo que resulta deseable que el índice de absorción acústica  $DL_{\alpha}$  de los materiales empleados para el revestimiento acústico, sea lo más elevado posible (13 o 14 dBA), para el espectro de ruido de tráfico particular que exista en la zona a tratar ya que las reflexiones múltiples pueden modificar el espectro de ruido de tráfico respecto al espectro normalizado para el caso de diseño de pantallas acústicas. Generalmente, la efectividad acústica del tratamiento puede aumentarse para las bajas frecuencias si se deja un espacio mayor entre el panel y la superficie del muro.

En este tipo de dotaciones anti-ruido en carreteras y vías férreas, lo que interesa es la capacidad de absorción acústica de los materiales sin que el aislamiento acústico tenga relevancia alguna.

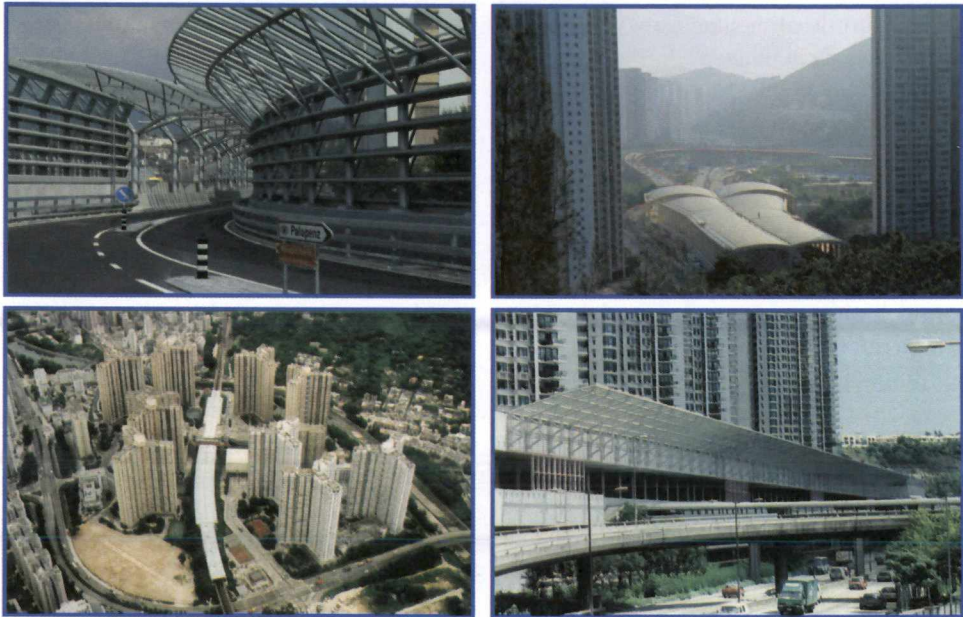


*Figura 7.12. Ejemplos de revestimientos absorbentes realizados con módulos metálicos y de madera*



### 7.3.2. Cubriciones parciales o totales de la calzada o vía de circulación

La lucha contra el ruido de las infraestructuras presenta problemas de difícil solución, en particular en las grandes ciudades modernas, con edificios de gran altura junto a ejes viarios importantes. En estos casos, existen soluciones de cubrición total o parcial mediante elementos ligeros similares a los empleados en apantallamiento acústico (paneles modulares, enrejados de baffles, cubiertas translúcidas o transparentes, etc.), pero su empleo supone siempre una elevada inversión económica.



*Figura 7.13. Ejemplos de cubriciones parciales o totales de las vías de circulación*

Es evidente que en estos casos puede llegar a tener mucha más relevancia el valor del índice de aislamiento a ruido aéreo  $DL_R$  de los materiales empleados

### 7.3.3. Dispositivos especiales

La evolución tecnológica en la lucha contra el ruido de las infraestructuras ha perfeccionado sistemas de diseño específico para problemas muy particulares de emisión de ruido.

Es sobradamente conocida la molestia que, en algunos casos, se genera a los residentes cercanos a un viaducto por el ruido que producen los vehículos al cruzar las juntas de dilatación del tablero. En efecto, el ruido producido por los neumáticos al cruzar una junta de dilatación resulta amplificado por la propia estructura y en particular en las bajas frecuencias del espectro, lo que implica una mayor dificultad de atenuación en su propagación, siendo perfectamente discernibles los picos de ruido junto a las ventanas de los edificios cercanos.



Para mitigar el problema, es preciso proceder al aislamiento acústico del espacio de dilatación previsto entre los tableros y las pilastras o estribos que debe obtenerse por interposición en el intervalo de separación de un elemento que sea a la vez denso y elástico, de forma que no entorpezca la dilatación de los tableros.

A tal efecto, puede instalarse una junta acústica que aporta estas características mediante una adecuada masa de una solución con un aditivo anticongelante en agua, confinada en una manguera elástica alimentada desde un depósito de expansión. El sistema consta de los elementos siguientes:

- Un depósito de alimentación y de expansión. La capacidad del depósito se ajusta según las dimensiones de la junta.
- Un conducto elástico de interconexión y alimentación.
- Una manguera elástica de obturación acústica de diámetro y espesor adecuados al espacio de dilatación y a la zona de fuga acústica a obturar.

La manguera elástica de obturación, que es la parte activa acústicamente de la junta, se coloca en el intervalo delimitado entre la dovela del tablero y la pilastra o estribo, cubriendo toda la longitud perimétrica inferior de la junta de dilatación, de forma que no queden espacios por los que se puedan producir fugas acústicas.

Mediante la instalación de este tipo de dispositivo reductor de ruido se han obtenido eficacias de hasta 15 dBA en la reducción de los picos de ruido de baja frecuencia.

Actualmente se están instalando nuevos dispositivos de obturación acústica en las juntas de dilatación de los viaductos, empleando láminas de caucho de alta densidad y características especiales para resistir la intemperie.



**Figura 7.14. Obturación acústica tipo manguera de una junta de dilatación**



*Figura 7.15. Obturación acústica tipo lámina de caucho de una junta de dilatación*

#### **7.4. Normativa a considerar para la definición y proyecto de pantallas acústicas**

Para una adecuada respuesta al problema de la contaminación acústica asociada al transporte, será preciso disponer de un marco normativo adecuado que contemple todos los aspectos que concurren y que, en primera aproximación, podríamos distinguir en tres grandes bloques:

- Normativa legal y Ordenanzas
- Normativa técnica de definición y cálculo
- Normativa de control y aseguramiento de la calidad

El primer bloque mencionado se refiere a todas aquellas disposiciones legales promulgadas por las diferentes Administraciones competentes a nivel comunitario, estatal, autonómico o local que tendrían que definir y regular, en base a una adecuada política de lucha contra el ruido, los niveles de calidad del entorno acústico exigibles y cuándo, cómo y quién debe responsabilizarse de su cumplimiento.

En el siguiente grupo, se consideran incluidos documentos tales como los reglamentos e instrucciones técnicas y normas básicas que, publicados por los organismos competentes, deben tenerse presentes para la definición y redacción de proyectos.

Finalmente, en el tercer bloque, se agrupa toda la normativa publicada por los diferentes organismos internacionales como la ISO y el CEN, o por los correspondientes organismos de normalización a nivel nacional (AENOR, BST, AFNOR, ÖNORM, DIN, etc.), cuyo objetivo final es el aseguramiento de la calidad de los sistemas y materiales empleados en los diferentes niveles de la implantación de las medidas correctoras para la reducción del ruido de tráfico.

##### **7.4.1. Normativa legal y ordenanzas**

Es evidente que el conocimiento de la normativa legal y reglamentos de aplicación en cada lugar, que establezcan los objetivos de calidad del ambiente acústico a conseguir es esencial para definir la eficacia que deberá aportar una determinada medida correctora de impacto acústico.

Asimismo, para establecer unos criterios que nos permitan evaluar el impacto acústico debido al tráfico que circulará por una determinada infraestructura, será preciso establecer cual es el parámetro más adecuado como indicador de impacto al caso que nos ocupa, así como establecer los criterios de evaluación y objetivos de calidad exigibles.

En otros capítulos de este libro se profundiza más en este bloque de normativa entre la que se considera:

A nivel comunitario, la Directiva 2002/49/CE

A nivel estatal, en España, la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, que traspone a nuestra legislación la Directiva Comunitaria 2002/49/EC y su desarrollo mediante el Real Decreto 1513/2005 de 16 de diciembre y el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre.

A nivel autonómico, muchas comunidades autónomas disponen de normativa más detallada, así por ejemplo y sin ánimo de exhaustividad:

- En la Comunidad Autónoma de Madrid, el Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid (B.O.C.M. nº 134, de 8 de junio de 1999).
- En Cataluña, la Ley 16/2002 de 28 de junio, de la Generalitat de Cataluña, de Protección contra la Contaminación Acústica.
- En la Comunidad Valenciana, la Ley 7/2002 de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica.
- En el País Vasco, la Ley 3/1998 de 27 de febrero, general de protección del medio ambiente.
- En Navarra, el Decreto Foral 135/1989, de 8 de junio, por el que se establecen las condiciones técnicas que deberán cumplir las actividades emisoras de ruidos o vibraciones.
- En Galicia, es la Ley 7/1997 de 11 de agosto, de protección contra la contaminación acústica de la Xunta de Galicia.

Actualmente muchas de estas normas están en revisión para adaptarse a la nueva legislación nacional e igualmente ocurre en la mayoría de las restantes comunidades autónomas.

A nivel municipal, asimismo, los principales municipios, Madrid, Barcelona, etc. disponen de Ordenanzas Municipales en las que ya se regulan estos aspectos, con diferente grado de concreción respecto al ruido de tráfico.

Conviene contemplar también, en este apartado las correspondientes Declaraciones de Impacto Ambiental relativas a los diferentes proyectos de infraestructuras, en las que se suelen establecer exigencias relativas al impacto por ruidos.



### 7.4.2. Normativa técnica de definición y cálculo

En este apartado, consideramos los reglamentos e instrucciones técnicas y normas básicas, que publicados por los organismos competentes, deben tenerse presente para la definición y redacción de proyectos. Los más interesantes son aquellos que definen los métodos de previsión y cálculo de niveles de ruido de tráfico, así como la eficacia prevista de las diferentes medidas correctoras.

Actualmente, los diferentes países más avanzados, han desarrollado sus propios métodos de cálculo y previsión del ruido de tráfico. La potencia acústica emitida por los vehículos se ha determinado a base de numerosas campañas de medidas realizadas a lo largo de varios años y en las que el análisis de resultados ha permitido la definición de la misma, en función de los parámetros que intervienen y que caracterizan el tráfico, tales como la intensidad y el tipo de vehículos, su velocidad, las características de la carretera (pendiente, tipo de pavimento, ...), etc.

Las diferencias entre las normas y reglamentos de los diferentes países residen generalmente, en el tipo de emisión considerado y en las formulaciones más o menos simplificadas de los principales efectos que intervienen en la atenuación de la propagación sonora. En algunos países se propone incluso dos niveles de precisión (método *simplificado* y método *detallado*).

Sin ánimo de exahustividad, mencionaremos algunas de estas normas cuyo conocimiento puede resultar particularmente interesante:

- En Francia, la *GUIDE DU BRUIT DES TRANSPORTS TERRESTRES* del C.E.T.U.R., *Centre d'Etudes des Transports Urbains*, presenta un método simplificado y un método más detallado de modelización y cálculo provisional de niveles sonoros, que fueron informatizados sirviendo de base a los conocidos programas  $\mu$ -Bruit, MITHRA y CADNA. Actualmente este método se recoge como NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), en la "Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6" y en la norma francesa 'XPS 31-133' y describe un procedimiento detallado para calcular niveles sonoros originados por el tráfico en las proximidades de una carretera, teniendo en cuenta los efectos meteorológicos que afectan a la propagación del sonido.
- En Alemania, se han publicado diversos documentos al respecto tales como los VDI 2720 y 2714, y la norma DIN 18005. El documento más recientemente editado por el Ministerio de Transporte alemán, bajo la referencia *RSL-90*, es actualmente el más utilizado y, al igual que en el caso de la *Guide du Bruit*, precisa en fórmulas y ábacos los casos más representativos que pueden presentarse en las carreteras.
- En Holanda, la *Standaard Rekenmethode I* recoge un método simplificado para el estudio rápido de los emplazamientos más sencillos, mientras que la *Standaard Rekenmethode II* propone un método más detallado (en 3 dimensiones) utilizando segmentos de fuentes más finos y la discriminación de cálculos por banda de octava. Sus versiones informáticas se recogen en los correspondientes programas software, denominados *DGMR*.
- En el Reino Unido, el método descrito en el *Calculation of Road Traffic Noise (CRTN)* precisa, sobre bases similares a las de los otros países, los métodos de cálculo standard a aplicar. No obstante

hay que advertir que en este método, se emplea como indicador el parámetro  $L_{10}$  y no el  $L_{eq}$  o nivel continuo equivalente, utilizado en el resto de los países mencionados. El software denominado *RO-PLAN* es la versión informatizada de este método. Este método se emplea también en Irlanda, y actualmente se han definido unas fórmulas de conversión de los resultados para el parámetro  $L_{10}$  en niveles  $L_{eq}$  o  $L_{den}$ .

- Finalmente, en España y a título puramente anecdótico, mencionaremos que el *CEOTMA* publicó un método simplificado de cálculo previsional, cuyo autor fue García Sanhermés, y que se ha utilizado en nuestro país en alguno de los primeros estudios de evaluación de impacto acústico redactados allá por los años 80. No obstante, este método está en desuso y se ha impuesto, entre otros, la utilización de los modelos preconizados en la *Guide du Bruit*, *NMPB-Routes 96*, *Standaard Rekenmethode* y el *INM* para carreteras, ferrocarriles y aeropuertos respectivamente, desde la reciente publicación de la Ley del Ruido y ante la ausencia de una normativa metodológica de aplicación editada por organismos competentes españoles.

Actualmente estos modelos se encuentran disponibles en el mercado como programas informáticos de cálculo (*Cadna*, *IMMI*, *Sound Plan*, *Predictor*, etc.). Si bien se trata de unas herramientas muy útiles para la definición y el cálculo de la eficacia esperada para una determinada pantalla acústica, es preciso insistir en que su manejo, aunque pueda parecer sencillo en primera apreciación, resulta bastante complejo y precisa de una dilatada experiencia en este campo, pues de lo contrario, los resultados obtenidos muy frecuentemente resultan inadecuados cuando no erróneos.

### 7.4.3. Normativa de control y aseguramiento de la calidad

Si bien la preocupación por los efectos contaminantes del ruido de tráfico ha surgido en época relativamente reciente, el estado del arte y la tecnología disponible han permitido desarrollar diferentes tipos de materiales y productos destinados a la construcción de pantallas y dispositivos reductores de ruido. Asimismo, también han permitido disponer de los instrumentos de laboratorio, control y medición adecuados para alcanzar resultados con una precisión satisfactoria.

Como es lógico, al mismo tiempo se ha desarrollado o se encuentra en vías de desarrollo la correspondiente normativa de aplicación en esta materia, cuyo objetivo final es el aseguramiento de la calidad de los sistemas y materiales empleados para la reducción del ruido de tráfico.

Los organismos internacionales como la ISO y el CEN han publicado una serie de normas relativas a los diferentes aspectos de la acústica aplicada que sirven de base para el desarrollo de una normativa más detallada o que, ellas mismas, se refieren ya a aspectos más de detalle, relativos a los dispositivos reductores de ruido, primeramente para carreteras y actualmente en fase de desarrollo para ferrocarriles. Generalmente, los correspondientes organismos de normalización a nivel nacional (*AENOR*, *BST*, *AFNOR*, *ÖNORM*, etc. la *DIN*, habría que considerarla como un caso particular) las han transcrito e incluido en su propia normativa.

En los países más avanzados, en los que la inquietud por mitigar los efectos contaminantes del ruido se ha producido antes que aquí, evidentemente por las diferentes razones socio-económicas de todos conocidas, los correspondientes organismos de normalización desarrollaron una normativa específica



y de aplicación a nivel estatal, en aquellos aspectos en que los organismos internacionales no habían profundizado suficientemente, como por ejemplo, en su día la norma alemana *ZTV Lsw 88* relativa a pantallas anti-ruido, que actualmente ha sido sustituida por la *ZTV Lsw 06*, que ya incorpora los criterios de la normativa del CEN que indicaremos a continuación.

La entrada en vigor del mercado único europeo conlleva la necesidad de disponer de una normativa a nivel supranacional que permita analizar y comparar las prestaciones de los diferentes productos y materiales, independientemente de su país de origen, mediante la aplicación de unos métodos iguales en todos los países europeos, con lo que se pretende que las certificaciones que se expidan por laboratorios homologados de cualquiera de los países que se encuentren en el ámbito de la norma sean comparables y válidas en cualquiera de ellos, facilitando a los técnicos responsables una guía para seleccionar los materiales y redactar los pliegos de condiciones técnicas adecuados, exigibles en cada tipo de obra.

En este sentido, el Comité Europeo de Normalización, CEN, al amparo del mandato M 111 de la Directiva Comunitaria de Productos de Construcción y en particular el Grupo de Trabajo WG.6, del Comité Técnico TC.226, está elaborando, basándose siempre que ello es posible en las normas ISO y en sus transcripciones como normas europeas EN, la normativa europea relativa a los dispositivos reductores de ruido para carreteras.

El Grupo de Trabajo WG.6 se constituyó en septiembre de 1990, desde esta fecha, los trabajos han avanzado a un ritmo más rápido de lo previsible, si se considera la enorme dificultad que *a priori* suponía el lograr consensuar las diferentes experiencias normativas que se habían desarrollado a nivel nacional, en los países europeos más avanzados en este campo.

El Grupo de Trabajo WG6 se dividió desde su constitución en dos subgrupos: el TG.1 que se ocupa de las materias y aspectos relativos a las características “acústicas” de los diferentes elementos y tipos de dispositivos reductores de ruido, y el TG.2 que se ocupa de las exigencias relativas a las características “no acústicas” de los mismos. Por consiguiente, la nueva normativa europea quedó estructurada primeramente, en dos grandes bloques, según se refiriera a las características acústicas o a las no acústicas (mecánicas, químicas, etc.), a considerar para la redacción de los proyectos de este tipo de construcciones.

En posteriores reuniones de trabajo del WG6, se ha abordado el tema de la durabilidad y mantenimiento a largo plazo de las características de los dispositivos reductores de ruido, tanto acústicas como no acústicas, que está siendo tratado por ambos subgrupos TG1 y TG2 en sesiones de trabajo conjuntas, por lo que se ha decidido modificar la estructura inicialmente prevista, añadiendo un tercer bloque relativo a este tema. Así pues, la nueva normativa europea para dispositivos reductores de ruido en carreteras, queda estructurada según:

#### **7.4.3.1 Características acústicas**

En el primer bloque, relativo a las denominadas características acústicas, el título de la Norma es “Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras - método de ensayo para determinar el comportamiento acústico”, y consta a su vez de las partes siguientes:



- Parte 1 (EN 1793-1) :** Características intrínsecas relativas a la absorción sonora.
- Parte 2 (EN 1793-2) :** Características intrínsecas relativas al aislamiento acústico a ruido aéreo.
- Parte 3 (EN 1793-3) :** Espectro normalizado de ruido de tráfico.
- Parte 4 (CEN.TS 1793-4):** Características intrínsecas - medida "in situ" de la difracción sonora.
- Parte 5 (CEN.TS 1793-5):** Características intrínsecas - medida "in situ" de absorción sonora.
- Parte 6 (CEN.TS 1793-6):** Características intrínsecas - medida "in situ" de aislamiento acústico a ruido aéreo.

Los proyectos de norma correspondientes a las 3 primeras partes mencionadas, han sido ya publicados oficialmente como norma europea EN, y han entrado en vigor a partir de marzo 98. Describiremos a continuación el contenido de estas normas.

El objeto de la EN 1793-1 es la determinación de un método de ensayo, para la evaluación del comportamiento como absorbente acústico de los dispositivos para reducción de ruido en carreteras.

No es objeto de esta parte de la norma el determinar el comportamiento "in situ", es decir una vez instalado el dispositivo reductor de ruido, que depende adicionalmente de factores no relacionados con el propio material del dispositivo, por ejemplo: dimensiones de la barrera y factores de emplazamiento, tales como la impedancia del terreno, geometría de la zona, etc.

Los resultados de la aplicación del método servirán de ayuda para la selección comparativa de los dispositivos adecuados para una particular aplicación a un proyecto determinado de una carretera.

Esta parte de la norma especifica el método para la medida de la absorción sonora intrínseca de pantallas acústicas o revestimientos para muros de contención y túneles, que puedan razonablemente ser colocados dentro de las instalaciones de ensayo descritas en la Norma EN 20354 de 1993, análoga a la ISO 354 de 1985 y adoptada como la UNE-EN ISO 354.

El método descrito es solo estrictamente válido para dispositivos absorbentes planos y, en particular, excluye los dispositivos que puedan actuar como resonadores poco amortiguados. Muchos dispositivos no cumplen con estos requisitos, por lo que es necesario tener mucho cuidado al interpretar los resultados en aquellos casos en que la desviación es significativa.

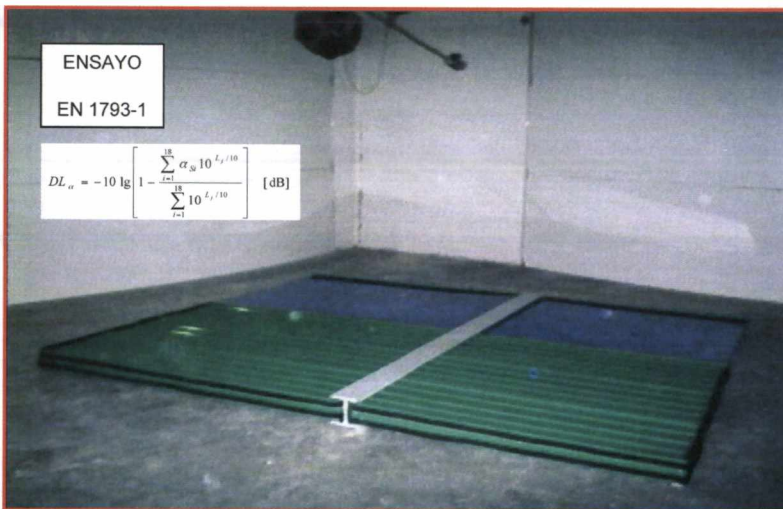
La disposición del ensayo es la descrita en la norma UNE-EN ISO 354, con las siguientes adiciones:

La muestra a ensayar deberá montarse en la cámara de ensayo de la misma manera que el dispositivo propuesto, con los mismos ensamblajes y sellado entre las partes componentes. Todas las partes reflectantes del material expuestas por el lado del tráfico (postes, abrazaderas y otras partes) deberán estar presentes en la muestra.

Cuando se empleen postes en la construcción del dispositivo, al menos un poste deberá ser incluido en la muestra a ensayar y con paneles situados a ambos lados. La longitud de los paneles a uno de los lados del poste, deberá de ser mayor o igual a 2 m. La superficie del dispositivo enfrentada al tráfico, deberá colocarse en la parte interior de la cámara.

Para los ensayos de pantallas, la muestra deberá colocarse directamente contra una de las superficies (paredes, techo o suelo) de la cámara, sin dejar ningún espacio de aire intermedio.

Para los ensayos de revestimientos absorbentes, la muestra deberá de montarse contra una de las superficies de la cámara dejando el espacio de aire propuesto en la construcción real. En estas condiciones, la distancia entre la parte posterior de la muestra y la superficie de la cámara deberá de mencionarse claramente en el informe.



*Figura 7.16. Ensayo del comportamiento absorbente de un dispositivo reductor de ruido según EN 1793-*

El método de ensayo especificado, permite determinar el coeficiente de absorción sonora  $\alpha_{Si}$  en cada una de las bandas de tercio de octava en el margen de 100 Hz a 5 KHz, utilizando el método descrito en la norma UNE-EN ISO 354.

En esta norma se aplican las definiciones siguientes:

$\alpha_{Si}$  es el coeficiente de absorción sonora en la banda de tercio de octava  $i$ ésima.

$L_i$  es el nivel de presión sonora en dB, compensado según la curva A, de ruido de tráfico normalizado en la banda de tercio de octava iésima.

$DL_\alpha$  es un número único de evaluación de la absorción acústica, cuya definición es la aportación principal de esta parte de la norma.

Se trata, pues, de calcular un único número de evaluación para indicar el comportamiento como absorbente acústico del producto, para lo que el índice de absorción sonora individual deberá compensarse de acuerdo con el espectro de ruido de tráfico normalizado definido en la Parte 3 de la norma. Este único número de evaluación de la absorción sonora  $DL_\alpha$  está dado por:

$$DL_\alpha = -10 \lg \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{Si} 10^{L_i/10}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{L_i/10}} \right] \quad [\text{dB}]$$

Este valor se considera que es el más apropiado para permitir la evaluación comparativa de las características como absorbente acústico que presentan los diferentes tipos de dispositivos reductores de ruido.

El requisito esencial de la norma es especificar el valor  $DL_\alpha$ . No obstante, si por razones de exigencias particulares en algunos países, fuera preciso definir categorías que agrupen los diferentes productos por su comportamiento como absorbentes de ruido, la norma define que deberán emplearse las categorías siguientes:

CATEGORY	$DL_\alpha$
A0	NO TESTED
A1	< 4
A2	4 - 7
A3	8 - 11
A4	> 11

Si bien un amplio sector de productos, que actualmente ofrece el mercado, son susceptibles de ensayo en condiciones adecuadas, existen otros tipos de productos para los que, por diferentes razones, no es posible la realización práctica del ensayo, o los valores obtenidos no serían representativos de lo expuesto anteriormente. Hasta hace poco, el estado de la tecnología no permitía disponer de otro procedimiento de ensayo que pudiera aplicarse a estos otros dispositivos o a la totalidad de ellos, con la fiabilidad requerida para el contexto de una norma. No obstante la nueva Parte 5 de esta norma ya resuelve en parte este problema.

En la EN 1793-2, análogamente, se especifica un método de ensayo para la evaluación del comportamiento de aislamiento acústico frente al ruido propagado a través del aire.



En efecto, los dispositivos reductores de ruido deben aportar un adecuado aislamiento frente al sonido que se propague a través de ellos, de forma que la energía acústica transmitida a través del dispositivo o pantalla acústica sea insignificante frente al sonido difractado en los límites de la pantalla.

El método de ensayo especificado en esta parte de la norma, es el descrito en la última revisión de la norma ISO 140 parte 3, que tiene su correspondencia en la Norma Europea EN 20140/3 del 92, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3 Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción.

Este método está indicado para proporcionar una medida del aislamiento acústico del dispositivo, ensayado en condiciones standard, de forma que pueda servir como ayuda en la selección de los dispositivos adecuados para las diferentes aplicaciones de protección frente al ruido, en las carreteras.

Análogamente a lo que ocurre en la Parte 1, hay que resaltar que el resultado de este ensayo no es adecuado para definir el aislamiento acústico aportado por una determinada barrera o dispositivo reductor de ruido una vez construido (rendimiento extrínseco o in situ), a causa de la influencia de los factores adicionales ya mencionados.

Para la realización del ensayo, la muestra deberá instalarse entre las cámaras de emisión y recepción del sonido, reflejando fielmente el procedimiento de instalación de la pantalla o dispositivo reductor de ruido, incluyendo, si es el caso, al menos un poste, juntas, etc. y situando la superficie que quedará al lado del tráfico, mirando a la cámara de emisión.

En la práctica, desafortunadamente, no todos los tipos de pantallas o reductores de ruido pueden ser sometidos a este ensayo, por conflicto entre las dimensiones de las muestras que habría que ensayar y la capacidad real de las cámaras de ensayo normalizadas. No obstante la nueva Parte 6 de esta norma ya resuelve en parte, este problema.

La aplicación del método de ensayo permite determinar para cada tercio de octava de banda entre 100 Hz y 5 kHz, el índice de reducción sonora  $R_i$ .

A partir de estos valores, se calculará un número único para determinar el aislamiento a ruido aéreo,  $DL_R$ , aplicando la fórmula siguiente:

$$DL_R = -10 \lg \left[ \frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i} 10^{-0,1 R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}} \right] \text{ dB}$$

En ella, se utilizan los índices individuales de reducción sonora compensados conforme al espectro normalizado de ruido de tráfico definido en la Parte 3 de la norma



Figura 7.17. Ensayo del comportamiento aislante de un dispositivo reductor de ruido según EN 1793-2

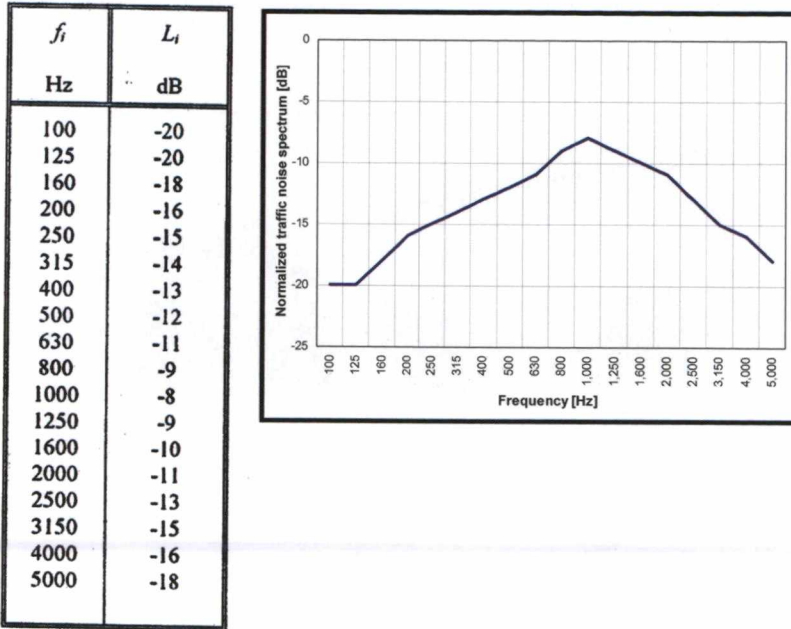
El requisito esencial de la norma es especificar el valor  $DL_R$ . No obstante, si por razones de exigencias particulares en algunos países, fuera preciso definir categorías que agrupen los diferentes productos por su capacidad de aislamiento a ruido aéreo, deberán emplearse las categorías siguientes:

CATEGORY	$DL_R$
B0	NO TESTED
B1	< 15
B2	15 - 24
B3	> 24

El objeto de la EN 1793-3, es la definición de un *espectro normalizado para el ruido de tráfico en carreteras*, dado que las principales características acústicas de estos dispositivos, absorción y aislamiento a ruido aéreo, dependen de la frecuencia del sonido.

Este espectro sirve como referencia para la definición de los índices únicos  $DL_\alpha$  y  $DL_R$  y da los valores de los niveles de presión sonora  $L_i$  en dB, ponderados según la escala A, y referidos a un nivel mayor que 0 dB, para cada tercio de octava de banda. El espectro normalizado de ruido de tráfico es el detallado, para las frecuencias centrales  $f_i$  en Hz, en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Espectro de referencia normalizado de ruido de tráfico



Este espectro, corresponde a un espectro típico de ruido debido al tráfico en zonas y vías urbanas, caracterizado por velocidades relativamente bajas y una fluidez a menudo intermitente, para el que los ruidos debidos a los motores y tubos de escape adquieren una significativa importancia, a diferencia del ruido típico del tráfico en carreteras interurbanas y variantes de ciudades, que son las zonas en que usualmente se emplean los dispositivos reductores de ruido, y que se caracteriza por sus velocidades elevadas y la fluidez continua del tráfico y para el que la principal fuente de ruidos es la rodadura de los neumáticos.

No obstante, está demostrado que las diferencias entre el espectro típico correspondiente al tráfico interurbano y el correspondiente al tráfico urbano son relativamente pequeñas en las frecuencias dominantes, lo que implica que las diferencias en los valores de los índices globales definidos para la absorción y el aislamiento acústicos, sean muy pequeñas cuando se emplea este espectro para propósitos de cálculo. Por tanto, no hay fundamento suficiente para emplear un espectro de referencia diferente a este, que ya ha sido aprobado en las normas que se refieren a los materiales para edificación.

Estas tres partes de la Norma (EN 1793-1, EN 1793-2 y EN 1793-3), han sido ya publicadas por los organismos de normalización de cada uno de los países implicados. En España se han adoptado como normas UNE y corresponden a UNE-EN 1793-1, UNE-EN 1793-2 y UNE-EN 1793-3.

La redacción de la Parte 4 - Características intrínsecas - medida "in situ" de la difracción sonora, se encuentra actualmente en la fase final de su desarrollo como soporte técnico TS 1793-4, en base a la metodología resultante del programa ADRIENNE desarrollada para la Parte 5 como se detalla más adelante.



Esta parte de la norma pretende caracterizar el comportamiento de los dispositivos reductores de ruido en relación con la difracción sonora que aportan, especialmente para el caso de las cumbreras o dispositivos adicionales que se instalan en lo alto de las pantallas acústicas con el fin de incrementar su eficacia al mejorar las condiciones de difracción del sonido.



*Figura 7.18. Ejemplo de dispositivos reductores de ruido objeto de TS 1793-4*

Para la redacción de las Partes 5 y 6 - Características intrínsecas - medida “in situ” de la absorción sonora y el aislamiento a ruido aéreo respectivamente, el WG6 comprobó que no resultaba posible abordarlas con la experiencia existente, ya que el estado de la tecnología de ensayos acústicos no había puesto a punto ningún método de medición “in situ” que pudiera resultar adecuado a los propósitos de la norma, y que aquellas propuestas normativas que a nivel estatal había desarrollado algún país como Francia (norma NFS 31089), se habían revelado como inadecuadas.

Ante este problema el CEN/TC226/WG6, realizó una propuesta de programa de investigación a nivel europeo, que se concretó en el programa ADRIENNE, en el que han participado diversos centros de investigación, laboratorios y universidades de diferentes países, entre ellos el Instituto de Acústica del C.S.I.C. de Madrid.

Tras las primeras fases de selección y definición del método de ensayo, basado en el uso de señales MLS, los resultados obtenidos han permitido presentar ya un proyecto de norma europea, que se ha publicado como CEN. TS, es decir como soporte técnico (de adopción voluntaria o experimental).

El objeto de estas Partes 5 y 6 de la norma será pues, permitir la medición de las características intrínsecas, absorción y aislamiento a ruido aéreo, de los dispositivos reductores de ruido, en cualquier emplazamiento y no sólo en unas determinadas instalaciones de laboratorio.

La importancia del desarrollo de esta metodología de ensayo se pone de manifiesto por la posibilidad de su aplicación a una más amplia gama de dispositivos reductores de ruido (pantallas de tipo no plano y volumétrico) y por un considerable abaratamiento de los costes de ensayo respecto a los métodos descritos en las Partes 1 y 2.



Figura 7.19. Ensayo ADRIENNE. TS 1793-5 Absorción sonora: Índice de reflexión  $DL_{RI}$



Figura 7.20. Ensayo ADRIENNE. TS 1793-6 Aislamiento acústico

En general, la publicación de esta nueva normativa europea supone un importante avance y una considerable ayuda para los responsables de los proyectos y obras de protección acústica, al definir un marco de comparación adecuado entre gran parte de los tipos y productos que se ofrecen en el mercado europeo, a pesar de que, por el momento, no se cubran todos los tipos de productos existentes.

### 7.4.3.2 Características no acústicas

El segundo gran bloque de la norma, es el relativo a las denominadas características no acústicas, y su título es “Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras - comportamiento no acústico“, quedando, a su vez, dividida inicialmente en dos partes, a las que se ha añadido una tercera que está en fase de proyecto:

**Parte 1 (EN 1794-1) :** Comportamiento mecánico y requisitos de estabilidad.

**Parte 2 (EN 1794-2) :** Requisitos en relación con la seguridad general y el medioambiente.

**Parte 3 (PrEN 1794-3) :** Reacción al fuego. Riesgo de incendio de los dispositivos reductores de ruido.

En lo relativo al comportamiento mecánico y a la estabilidad de los dispositivos reductores de ruido para carreteras, Parte 1, es evidente que éstos deberán ser capaces de soportar, en primer lugar, los esfuerzos debidos a:

- la acción del viento
- la presión dinámica del aire causada por el paso de los vehículos
- el propio peso de los elementos que los constituyen

Asimismo, estos dispositivos, pueden tener que presentar determinadas características de resistencia mecánica frente a:

- los posibles choques de los vehículos en caso de accidente
- los impactos causados por piedras y otros materiales despedido contra la barrera
- y, en determinados países, la carga dinámica debida al empuje de la nieve desplazada por las máquinas quitanieves contra los elementos reductores de ruido

En esta parte de la norma se definen los criterios para calificar los diferentes tipos de dispositivos reductores de ruido de acuerdo con sus prestaciones mecánicas básicas y los procedimientos de ensayo en caso de que sea exigible un determinado comportamiento mecánico a los dispositivos a proyectar, contemplando, en primer lugar, los requisitos exigibles a los elementos, fijaciones o anclajes y estructuras soporte, de los diferentes dispositivos (excluidas las cimentaciones), frente a las cargas aerodinámicas, basándose en los correspondientes EUROCÓDIGOS y estableciendo las deformaciones máximas admisibles para diferentes casos y los coeficientes de seguridad a utilizar.

Asimismo, hace referencia al modo de determinar el peso propio de los elementos acústicos, en seco y mojados, y define los coeficientes de seguridad a emplear en el tratamiento de este parámetro.



Para determinar la resistencia de los diferentes dispositivos frente a los impactos causados por proyección de piedras o cualquier otro objeto, se describe un método y las condiciones de ensayo adecuadas, basándose en la aplicación de un martillo mecánico a las muestras del producto a ensayar. Este martillo percutor es del tipo *Schmidt Hammer* o similar.

En lo referente al comportamiento de los dispositivos reductores de ruido en caso de colisión de vehículos contra ellos, se contemplan diferentes casos y se definen los requisitos, según sean considerados:

- Como “*seguros para los ocupantes de los vehículos*”, si frente al impacto de los vehículos no son causa de mayor peligro para los ocupantes, que el previsto para las barreras de seguridad para el tráfico, en cuyo caso deberán satisfacer los requisitos de la norma europea EN 1317-2, sobre el particular. En este caso, sin embargo, el dispositivo reductor de ruido no precisa impedir que el vehículo pase a través de él, ni tampoco se presume que se evite que puedan saltar trozos desprendidos del propio dispositivo.
- Como “*barrera combinada anti-ruido y de seguridad*”, si cumple todos los requisitos exigibles para las barreras de seguridad de una categoría dada, según se define en EN 1317-2.

Asimismo, para aquellas zonas en que sean habituales las operaciones de mantenimiento con máquinas quitanieves, los dispositivos reductores de ruido deberán ser, en determinados casos, capaces de soportar las cargas debidas al choque de la nieve y el hielo lanzado por las quitanieves.

La propuesta elaborada, basándose en la norma finlandesa al respecto, describe el procedimiento de cálculo y ensayo adecuado para evaluar el comportamiento de los dispositivos reductores de ruido bajo estas condiciones de carga.

En la Parte 2 de esta norma, relativa a la seguridad general y consideraciones ambientales, se consideran todas aquellas condiciones que puedan influir en la relación del dispositivo reductor de ruido con el entorno en que se haya previsto su implantación, desde el punto de vista de la seguridad general de los usuarios de la carretera, vecinos del lugar y medio ambiente de la zona.

Para ello, se definen los requisitos mínimos y demás criterios, para la valoración de las características de seguridad general y medioambiental de los diferentes dispositivos reductores de ruido, bajo condiciones de explotación viaria típicas. En particular se contemplan las características siguientes:

- *Resistencia frente al fuego causado por incendio de la maleza*: Un dispositivo reductor de ruido puede estar expuesto a un incendio provocado en la maleza seca o cualquier otro material que se encuentre en las inmediaciones de un fuego. A este respecto, se define una metodología de ensayo de los paneles para pantallas acústicas en condiciones normales de exposición a los incendios de la maleza existente junto a las carreteras. No se pretende, sin embargo, proporcionar información sobre los resultados de una exposición a condiciones más severas, como por ejemplo los incendios por combustión de gasolina derramada.
- El aspecto de la *seguridad secundaria y riesgo de caída de trozos desprendidos*, es igualmente objeto de atención de esta parte de la norma. Se mencionan los diferentes aspectos a considerar y se ha incorporado, en la última revisión de la norma, un método de ensayo adecuado.

- En lo referente a la *protección del medio ambiente*, se solicita la declaración de los constituyentes de los elementos del dispositivo reductor de ruido y los posibles productos que pudieran aparecer por degradación de los mismos en condiciones de intemperie, fuego, etc. así como información sobre si se trata de elementos reciclados o reciclables y en qué porcentaje intervienen en el conjunto.
- Los *accesos o salidas de escape* en caso de emergencia, son considerados como opcionales, pero en caso de requerirse su instalación, deberán cubrir unos requisitos mínimos funcionales y dimensionales, definidos desde el punto de vista de la seguridad y de sus prestaciones, tanto mecánicas como acústicas.
- *Reflexión de la luz*: para evaluar la posibilidad de que puedan producirse reflexiones de la luz en los dispositivos reductores de ruido, con el consiguiente riesgo de deslumbramiento o despiste para los usuarios de la carretera, se definen las condiciones de aplicación a nuestro caso, del método de medida especificado en la Norma ISO 2813.
- *Transparencia*: la norma describe, a título informativo, un procedimiento de cálculo de la transparencia efectiva aportada por la combinación de elementos transparentes y opacos en los dispositivos reductores de ruido.

La transparencia se define tanto desde el punto de vista de los vecinos del lugar (transparencia estática), como desde el de los usuarios de la carretera (transparencia dinámica, es decir cuando el observador se desplaza a una determinada velocidad).

Ambas partes de esta norma han sido ya igualmente, publicadas por los organismos de normalización de los diferentes países miembros del CEN-CENELEC, como normas EN.

La futura Parte 3 se referirá a la reacción al fuego y al riesgo de incendio de los dispositivos reductores de ruido siempre en relación con la posible afección a los vecinos o transeúntes de la zona en que se ubica el DRR.

### **7.4.3.3 Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas**

El tercer gran bloque de la propuesta de norma titulado “Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras - métodos de evaluación del comportamiento a largo plazo“, es el relativo al comportamiento exigible a los dispositivos reductores de ruido durante su vida en servicio prevista, quedando, a su vez, dividida en dos partes:

**Parte 1 (EN 14389-1): Características acústicas.**

**Parte 2 (EN 14389-2): Características no acústicas.**

En efecto, los dispositivos reductores de ruido para las carreteras no solo deberán satisfacer los requisitos para su comportamiento, tanto acústico como no acústico, definidos anteriormente, sino

que, además, deberán ser capaces de mantenerlos durante la vida de servicio requerida para cada caso.

La Parte 1 de esta norma, que ya ha sido publicada como norma europea, aborda la definición de las condiciones exigibles en lo relativo al comportamiento de las características acústicas, absorción y aislamiento a ruido aéreo, de los productos y materiales a lo largo del tiempo y en particular, de la vida en servicio requerida.

En la Parte 2 de la norma, que ya ha sido publicada como norma europea, se definen los métodos de evaluación, ensayo y las condiciones de envejecimiento acelerado adecuadas para evaluar los efectos sobre los dispositivos reductores de ruido y la capacidad de mantenimiento de sus características, frente a la acción de diferentes agentes, tales como: los agentes químicos, las sales anti-congelantes, el agua sucia, el rocío, las heladas y deshielos, el calor, los rayos UV, etc.

Dada la diversidad de los problemas de contaminación acústica que pueden presentarse y que generalmente requieren condiciones técnicas diferentes para solucionarlos, en todas las partes de estas normas se permite a las autoridades competentes indicar cuando se exime del cumplimiento de alguno de los requisitos detallados en ellas, en caso de que una determinada característica carezca de interés para la solución o dispositivo reductor del ruido proyectado.

#### **7.4.3.4 Verificación y homologación de productos. Marca CE**

La norma EN 14388 titulada “Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras - especificaciones“. Producto estándar y anexo Z. se refiere a los procedimientos y condiciones para que los diferentes productos obtengan la marca CE de homologación para su libre circulación en el mercado europeo. Esta norma ya está publicada y desde enero de 2009, ha entrado en vigor el marcado CE para los dispositivos reductores de ruido en carreteras.

Resulta preciso indicar que esta normativa es de aplicación y obligado cumplimiento para los dispositivos que se usen en carreteras, pero no para el caso de los ferrocarriles, para los que acaba de iniciarse el proceso normalizador al respecto. Actualmente, tras diversos contactos en este sentido, entre el WG6 del CEN TC 226 que ha desarrollado la normativa indicada para carreteras y el SC1 del CEN TC 256 que se ocupa de la interoperatividad de las líneas de ferrocarril, para crear un nuevo grupo de trabajo para desarrollar una normativa de aplicación específica a los ferrocarriles, especialmente para la alta velocidad, el pasado 19 de mayo de 2008, quedó constituido el WG40, grupo de trabajo sobre barreras acústicas del CEN/TC256/SC1.

#### **7.4.3.5 Eficacia “in situ” de los dispositivos reductores de ruido**

Este proyecto se recogió inicialmente como parte de la norma de características acústicas, titulado “Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras - método de ensayo para determinar la pérdida por inserción“. Características extrínsecas - rendimiento “in situ”.

Ante las dificultades técnicas para poder abordar su proceso de desarrollo, ya que el documento ISO/DIS 10847, que inicialmente se estudió como punto de partida para la redacción de las



propuestas, se ha comprobado que aún resulta impreciso y no adecuado a los propósitos de una norma para cubrir la diversidad de dispositivos reductores ruido para carreteras, esta norma ha quedado desplazada del programa de trabajo del WG6, en primer lugar, por considerarse que este rendimiento in situ queda fuera del Mandato M111 y por tanto del cometido del WG6, ya que no se refiere sólo a los materiales empleados y su correcta puesta en obra, sino además a otros factores de diseño y condiciones topográficas del entorno, independientes de la calidad del producto.

A pesar de que esta sería quizás la norma más interesante desde el punto de vista del control de calidad y recepción de las obras, ya que su objetivo sería proponer un método para determinar la eficacia de los dispositivos reductores de ruido una vez finalizado su proyecto e instalación, su posible aparición, caso de llegar a producirse, queda condicionada a la espera de los posibles avances tecnológicos precisos para su redacción y a la decisión de incluir el tema en la nueva agenda de trabajo del CEN/TC256/SC1/WG40, lo que ya ha sido aceptado en la primera reunión constituyente de este grupo de trabajo.

#### **7.4.3.6. Desarrollo de nueva normativa europea de aplicación en las infraestructuras ferroviarias**

Como consecuencia de la aplicación de la Directiva Europea de Interoperabilidad de los Ferrocarriles, en mayo de 2008 se constituyó el CEN TC256 SC1 WG40, para redactar la normativa europea relativa a los DRR en su aplicación a las infraestructuras ferroviarias.

En este nuevo comité de normalización intervienen una considerable cantidad de expertos que también forman parte del comité de carreteras varios expertos relacionados específicamente con los ferrocarriles. Por esta razón se ha decidido trabajar en la línea de lo ya establecido para carreteras y el listado de las normas a desarrollar, siguiendo análogo criterio, será:

##### **Normas sobre características acústicas:**

- Parte 1: Absorción sonora en laboratorio.
- Parte 2: Aislamiento a ruido aéreo en laboratorio.
- Parte 3: Espectro/s normalizado/s para ferrocarriles. Método de evaluación mediante un único número indicador.
- Parte 4: Mejora de la atenuación por difracción.
- Parte 5: Absorción sonora in situ.
- Parte 6: Aislamiento a ruido aéreo in situ.
- Parte 7: Eficacia acústica en los receptores (Pérdida por inserción).

Esta última parte 7 resulta novedosa respecto a la normativa desarrollada para carreteras.

##### **Normas sobre características estructurales:**

- Parte 1: Cargas estáticas (viento, peso propio, etc.)
- Parte 2: Cargas dinámicas generadas por el paso de los trenes y sus efectos.

**Normas sobre características de seguridad y medioambientales:**

Resistencia al fuego de los dispositivos y reacción al fuego de sus componentes, aspectos medioambientales, puertas de escape en caso de emergencia, reflexión de la luz (riesgo de afección a la visibilidad de la señalización), transparencia, compatibilidad electromagnética y puesta a tierra de los componentes por razones de seguridad. Estos dos últimos aspectos no están considerados en la normativa de carreteras.

**Normas sobre comportamiento a largo plazo:**

Parte 1: Características acústicas

Parte 2: Características no acústicas. Especial atención a los aspectos relativos al aislamiento eléctrico frente a las corrientes inducidas en el terreno por la energía de tracción, corrosión eléctrica y química y a los sistemas de limpieza de graffitis.

Dado que esta nueva normativa se desarrollará al amparo de una Directiva Europea diferente de la de productos de construcción, bajo la que se ha desarrollado la de carreteras, no está prevista la redacción de una norma relativa al proceso y requisitos del mercado CE para esta aplicación.

**7.5. Mercado CE de dispositivos reductores de ruido para carreteras. Evaluación de conformidad**

La evaluación de conformidad de los dispositivos reductores de ruido para carreteras, se realiza con respecto a la Norma Europea UNE-EN 14388:2006, que incluye el procedimiento de evaluación de conformidad y el Anexo ZA. Debe proporcionarse la documentación siguiente:

- a) las instrucciones de instalación que deben describir el modo en que el producto (elemento acústico, barrera anti-ruido completa, etc.) debe instalarse para poder obtener el comportamiento medido en el ensayo de tipo inicial;
- b) un manual de mantenimiento que debe especificar las medidas que son necesarias, o que deben evitarse, para mantener la durabilidad del comportamiento acústico, la transparencia, la resistencia estructural, etc.

El cumplimiento por el dispositivo reductor de ruido de los requisitos de esta norma y de los valores indicados, debe demostrarse por medio de:

- el ensayo de tipo inicial;
- el control de la producción en fábrica.

Esta evaluación de conformidad hace referencia a la parte armonizada de la norma UNE-EN 14388:2006, o sea, a la parte que aborda los requisitos o características esenciales según las disposiciones de la Directiva 89/106/CEE de Productos de Construcción. Las características esenciales y sus requisitos, se especifican en la Tabla ZA.1 Métodos de ensayo, del Anexo ZA de esta norma:

1 Absorción sonora  $DL\alpha$ : ensayo según EN 1793-1. Sólo para dispositivos absorbentes. No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.

2 Aislamiento a ruido aéreo  $DL_R$ : ensayo según EN 1793-2. No se aplica a revestimientos. No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.

3 Resistencia a cargas:

- Peso propio de un elemento acústico: mojado, mojado reducido o seco, según se define en B.2 de EN 1794-1:2003 y Anexo B (calculado o ensayado). No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.

- Carga vertical máxima que un elemento puede soportar con el fin de cumplir B.3.2 de EN 1794-1:2003 (carga transmitida por los elementos superiores) y Anexo B (calculado o ensayado). Para las barreras no verticales debe especificarse la inclinación, por ejemplo: vertical + 15°.

- Carga normal (90°) máxima que un elemento acústico puede soportar con el fin de cumplir A.3.3 de EN 1794-1:2003 (carga eólica y estática) y Anexo A (calculado o ensayado). No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.

- Carga normal (90°) máxima que un elemento estructural puede soportar con el fin de cumplir A.3.2 y B.3.3 de EN 1794-1:2003 (carga eólica, carga estática y peso propio) y Anexos A y B (calculado o ensayado). No se aplica cuando el producto no incluye elementos estructurales.

- Momento flector máximo que un elemento estructural puede soportar con el fin de cumplir E.2 de EN 1794-1:2003 (carga dinámica por retirada de la nieve) y Anexo E (calculado o ensayado). No se aplica cuando el producto no incluye elementos estructurales.

- Carga normal (90°) máxima que un elemento acústico puede soportar con el fin de cumplir E.2 de EN 1794-1:2003 (carga dinámica por retirada de la nieve) y Anexo E (calculado o ensayado). No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.

4 Durabilidad:

- Características acústicas, según EN 14389-1:2008

- Características no acústicas, según EN 14389-2:2004

5 Otras características:

- Riesgo de caída de trozos desprendidos: ensayo según EN 1794-2:2003, Anexo B. No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.

- Reflexión de la luz: valor de la reflexión medido de acuerdo con E.3 de EN 1794-2:2003 y Anexo E. No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.



- Liberación de sustancias peligrosas: según EN 1794-2:2003, Anexo C.

### **7.5.1. Ensayo de tipo inicial**

El ensayo de tipo inicial debe realizarse en la primera aplicación de esta norma UNE EN 14388:2006. Los ensayos realizados anteriormente de acuerdo con disposiciones de este documento (mismo producto, misma(s) característica(s), método de ensayo, procedimiento de muestreo, sistema de acreditación de la conformidad, etc.) pueden ser tenidos en cuenta. Además, el ensayo de tipo inicial debe realizarse al comenzar la producción de un nuevo tipo de dispositivo reductor de ruido o al comenzar un nuevo método de producción, cuando éste pueda afectar a las propiedades indicadas.

Debe ensayarse una muestra que debe ser representativa en todos los aspectos de la producción normal del producto.

### **7.5.2. Control de producción en fábrica**

El propósito de este control es garantizar que la producción es conforme con las características del prototipo que ha sido sometido al ensayo de tipo inicial, es decir dar confianza a la conformidad del producto.

El fabricante debe establecer, documentar y mantener un sistema de CPF, ajustado a los requisitos de la parte o partes pertinentes de EN ISO 9001:2000, para asegurar que los productos comercializados sean conforme a las características de comportamiento indicadas. El sistema de CPF debe constar de procedimientos, inspecciones periódicas y ensayos y/o evaluaciones, y del uso de resultados para controlar las materias primas y otros materiales o componentes integrantes, los equipos, los procesos de producción y el producto.

Procedimiento para la certificación de conformidad de los dispositivos reductores de ruido para carreteras. Declaración CE de conformidad.

De acuerdo con la decisión de la Comisión (96/579/CE) de 1 de julio de 1996, que figura en el Anexo III del Mandato M/111 sobre “Equipamientos para vías de circulación”, el sistema de verificación de la conformidad de los DRR elegido ha sido el sistema 3 (sistema ii, segunda posibilidad) de los indicados en el Anexo III (“Certificación de conformidad con las especificaciones técnicas”) de la Directiva 89/106/CE de “Productos de Construcción”, que consiste en la declaración de conformidad del producto por el fabricante sobre la base de:

- Ensayo inicial de tipo del producto por un laboratorio autorizado.
- Control de producción en fábrica.

La asignación de las tareas y responsabilidades para la evaluación de conformidad para los DRR es como sigue:

- El Ensayo de Tipo Inicial es responsabilidad del organismo notificado,
- El control de producción en fábrica es tarea y responsabilidad del fabricante.

Una vez que se haya logrado la conformidad con los requisitos establecidos en el Anexo ZA de la norma EN 14388:2006, el fabricante o su agente establecido en la zona económica europea (EEA) deberá preparar y conservar una declaración de conformidad (Declaración CE de conformidad) que autoriza al fabricante a estampar el marcado CE.

### **7.6. Recomendaciones para la definición y proyecto de las dotaciones anti-ruido en infraestructuras**

La definición y proyecto de las dotaciones o equipamiento anti-ruido de una infraestructura, como se ha visto, es una tarea extremadamente compleja en razón a los factores que intervienen y que, por tanto, requiere de personal técnico con gran experiencia y altamente especializado en la materia.

La experiencia muestra como la excesiva simplificación a la hora de abordar los problemas de impacto por ruido de infraestructuras de transporte, lleva a resultados poco satisfactorios.

Una vez definidas de forma precisa y optimizada las dimensiones, lugar de implantación y tipo de la pantalla acústica, revestimiento absorbente o cualquier otro dispositivo reductor de ruido, a instalar en una infraestructura, deberá redactarse un pliego de condiciones que defina clara y adecuadamente, además de las características mecánicas y de durabilidad, la capacidad de aislamiento a ruido aéreo y/o de absorción acústica, según sea el caso, exigible a los materiales a emplear, mediante los índices  $DL_R$  y  $DL_a$  respectivamente, en el caso de carreteras y mediante los índices que se consideren apropiados en el caso de otros tipos de transporte.

Las dotaciones y dispositivos reductores de ruido para infraestructuras de transporte suponen una costosa inversión y conviene no olvidar que su única misión es la adecuada mejora de las condiciones acústicas en el entorno de las infraestructuras, ya que rara vez aporta otra funcionalidad diferente. Esto que parece obvio, se descuida en la práctica más frecuentemente de lo que podría suponerse, al tomarse decisiones parciales que afectan o modifican lo inicialmente previsto en los estudios de evaluación de impacto acústico y proyectos de medidas correctoras y que afectan seriamente a la eficacia acústica y por tanto a la justificación económica de la inversión.

## Capítulo 8

### Aplicaciones acústicas de pavimentos

*Fundación Cidaut: Beatriz Bragado Pérez; Roberto Cordero Izquierdo; Jose Andrés González Ganso; María José Hernández Echegaray; Antonio Hidalgo Otamendi; Miguel Ángel Morcillo López*

#### 8.1. Introducción al ruido neumático/pavimento

##### 8.1.1. Antecedentes

Es obvio que los medios de transporte constituyen una de las principales fuentes de ruido ambiental y es indudable que son los que mayor incidencia producen si tenemos en cuenta el número de personas que resultan afectadas o la extensión territorial influenciada acústicamente.

La necesidad de trasladar personas y materiales se ha multiplicado de forma exponencial en los últimos años lo que ha motivado que el problema de emisión acústica asociado se haya extendido y generalizado especialmente en los espacios habitados.

Si analizamos la problemática del ruido en los medios de transporte más habituales observamos que existen diferencias. El transporte marítimo no presenta mayores inconvenientes salvo en los entornos portuarios. El transporte aéreo presenta una dificultad técnica asociada ya que se hace mucho más complejo mitigar el ruido generado en el despegue y aterrizaje de los aviones; esta afección aún siendo acotada al entorno de los aeropuertos es indudable que origina serios inconvenientes en las poblaciones cercanas. El transporte por ferrocarril, si bien está ampliamente extendido en superficie, su influencia es menor teniendo en cuenta los niveles acústicos que alcanza. También se ha comprobado estadísticamente que el ruido de ferrocarril es el mejor soportado por la población. Muy diferente es la incidencia asociada al ruido provocado por el tráfico rodado, fenómeno que afecta, prácticamente, a toda la población ya que la red viaria terrestre llega hasta la mayoría de las viviendas de cualquier tipo de urbe o medio rural. Añadido a la gran extensión de territorio que resulta afectado por el ruido de tráfico rodado hay que tener en cuenta el gran aumento que ha experimentado y sigue experimentando este medio de transporte. Ya en el año 1996, la Comisión Europea destacó en la publicación "The Green Paper on Future Noise Policy" [31], que el ruido derivado del tráfico representaba el 90 % de las afecciones registradas en toda la Unión Europea.

Sin restar importancia a otras formas de generación de ruido (como el ruido industrial o de otro tipo de actividades), o a los otros medios de transporte (marítimo, aéreo y ferrocarril), es indudable que el ruido originado por el tráfico rodado se puede considerar como el agente generador de ruido ambiental que afecta a mayor número de personas en la actualidad.

Hay quien, de manera errónea, asocia el ruido producido por el tráfico rodado al motor y al sistema de escape, cuando en realidad y gracias a los desarrollos tecnológicos esta influencia se ha minimizado



considerablemente tanto en automóviles como en vehículos de tráfico pesado. El principal causante es el contacto rueda-carretera siendo este uno de los principales problemas de generación de ruido ambiental en el Siglo XXI.

Explicar y ahondar en el conocimiento que existe en torno al ruido producido durante la rodadura es el objetivo de este capítulo. No se pretende hacer un exhaustivo tratado sobre el tema, simplemente abordar el fenómeno bajo diversos aspectos como pueden ser: el proceso de generación del ruido, medidas experimentales, simulación y nuevas tecnologías aplicables al ruido de rodadura.

Este capítulo puede servir como manual de referencia para acceder a otras publicaciones y monografías especializadas que tratan con mayor profundidad cada uno de los apartados que aquí se contemplan.

Hay que destacar que actualmente existen numerosos grupos de investigación trabajando en la mejora del conocimiento del ruido de rodadura, de los métodos de medida, en el diseño de superficies de rodadura y de neumáticos más silenciosos, por lo que no se trata de un área de conocimiento cerrada, sino que, afortunadamente, se va completando y perfeccionando año tras año.

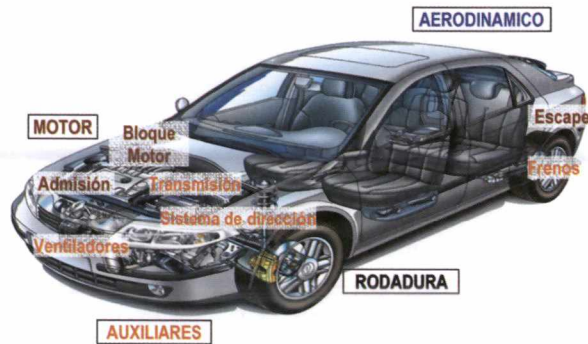
El ruido de rodadura es también un problema que se presenta en el ferrocarril como una de las principales fuentes en este medio de transporte. Sin embargo, en este capítulo tan solo se ha abordado el ruido de rodadura en el tráfico rodado por carretera que tiene una problemática particular y que, como anteriormente se ha mencionado, se ha convertido en uno de los grandes problemas acústicos en la actualidad.

### 8.1.2. Ruido de tráfico: fuentes en el ruido de tráfico

El ruido generado por los vehículos actuales -mayoritariamente accionados por motores alternativos de explosión interna- tiene variados orígenes que se pueden agrupar en cuatro categorías según su fuente: (esta clasificación puede variar en función de diversos autores)

- **Ruido Motor:** generado por el conjunto de la admisión, el bloque motor y el escape del automóvil. Se trata de la fuente acústica más obvia y tradicionalmente asociada a los vehículos dotados de motor de explosión interna. Este ruido es predominante a bajas velocidades y depende de la carga del motor y su velocidad de giro. En los últimos años el ruido motor ha experimentado una drástica reducción, principalmente en los vehículos ligeros, llegando a resultar inapreciable sin carga y en regímenes bajos de motor (ralentí). Este tipo de ruido sigue teniendo alta relevancia en vehículos pesados y en motocicletas y se agrava con los años de uso del vehículo.
- **Ruido de Rodadura:** producido por el contacto rueda/asfalto, se manifiesta y cobra importancia desde velocidades medias (40-60 km/h); aunque su intensidad depende principalmente de la velocidad del vehículo, también se ve influido por la aparición de fuerzas longitudinales en el frenado y la aceleración o fuerzas tangenciales en curva. Al margen de la velocidad lo que principalmente condiciona la generación del ruido de rodadura es el contacto neumático/pavimento, como se demuestra más adelante.

- **Ruido Aerodinámico:** motivado por las turbulencias que se originan al paso del vehículo. Este ruido cobra importancia para altas velocidades (120 km/h), y se manifiesta fundamentalmente en el interior del vehículo. Los esfuerzos de la industria por minimizar el ruido interior y reducir el consumo debido a la resistencia aerodinámica de los vehículos están aportando óptimos resultados.
- **Ruido de auxiliares:** en esta categoría se incluyen fuentes como la ventilación de refrigeración del motor o del habitáculo, la transmisión, los frenos o los accionamientos auxiliares como elevallunas, cierres de puertas en transporte colectivo, etc. Estas fuentes no tienen un espectro ni una velocidad predominante, siendo cada uno de ellos el origen de amplios estudios específicos. Se podrían considerar dentro de los ruidos auxiliares las bocinas, las sirenas e incluso los equipos interiores de música. Estos sistemas no suelen ser tenidos en cuenta en el cálculo de la emisión global de los vehículos, pero es obvio que son causantes de las molestias que manifiestan muchos ciudadanos.



*Figura 8.1. Fuentes de ruido en el automóvil*

Ya se ha expuesto que el ruido del motor es predominante a bajas velocidades, pero a medida que ésta aumenta, el ruido de rodadura comienza a ser el principal protagonista. Esta velocidad depende de los vehículos, año de fabricación o configuración (ligeros/pesados) y de las características de la marcha -velocidad constante, aceleración, frenado- y se podría situar desde los 25 km/h para vehículos modernos en velocidad constante, hasta los 50 km/h para vehículos pesados antiguos con variaciones de velocidad.

En los últimos treinta años la mayoría de las fuentes acústicas en los vehículos han reducido drásticamente su nivel de emisión, a excepción del ruido de rodadura que apenas ha variado. Por lo tanto, esta fuente se ha acreditado como la de mayor emisión acústica del tráfico rodado, especialmente en vías con velocidades de circulación medias (40-100 km/h), que son las más frecuentes en las proximidades de las viviendas.

La frecuencia y el nivel de las fuentes acústicas varían sustancialmente en función de la velocidad, pero también dependen del tipo de vehículo ya que el ruido motor y de escape es mayor cuando se trata de vehículos pesados y motocicletas. Estos vehículos pueden ser minoritarios en nuestras vías en cuanto a número, pero representan una importante carga acústica en el entorno.

### 8.1.3. Generación y propagación del ruido neumático/pavimento

La particularidad del ruido de rodadura es que se debe a la interacción de dos elementos de distinto origen: la rueda y el pavimento. Ambos presentan claras diferencias si tenemos en cuenta el material, el diseño, la tecnología de fabricación, así como la normativa que les afecta.

El mercado de los neumáticos es multinacional y el panorama de diseñadores y fabricantes está muy concentrado en unas pocas marcas comerciales. Por contra el mercado de los pavimentos es local y está muy atomizado, en todo el Mercado de la Unión Europea, se cuentan por cientos las empresas dedicadas a la construcción de carreteras.

En la actualidad se cuenta con una normativa específica sobre la emisión máxima de los neumáticos, si bien, en el futuro, se espera que ésta se haga más restrictiva. En lo referente a la emisión de pavimentos no existen normas que regulen su emisión, aunque hay iniciativas para desarrollar normas de medición y clasificación de pavimentos desde el punto de vista de su emisión acústica.

Otra interesante particularidad es que el fenómeno ruido que se produce en el contacto neumático/pavimento, ha sido obviado durante años. Lo que, hasta hace poco tiempo, se consideraba importante es que el contacto proporcionara la adherencia oportuna para facilitar la mayor seguridad en cualquier situación meteorológica (hielo, humedad, etc...) y que ambos elementos presentaran una amplia durabilidad, estando estos dos criterios muy lejos del concepto "unión silenciosa". La tecnología asociada al diseño y fabricación de neumáticos es muy compleja y no está clara la correlación entre la seguridad y las características acústicas de los mismos y es lógico que la mejora acústica de los neumáticos no deba hacerse a costa de sacrificar la seguridad y durabilidad de los mismos. Igualmente ocurre con los pavimentos, existen diversas tecnologías que mejoran la emisión acústica en el contacto rueda/pavimento, sin embargo no todos los tipos de sistemas y mezclas son válidos en determinadas situaciones especiales.

A lo largo del capítulo se presentará de forma detallada el proceso de generación y propagación del ruido en el contacto neumático/pavimento, pero cabe destacar a modo de introducción que es un fenómeno multivariable, que depende de diversos factores asociados tanto al neumático, como al pavimento, así como a las características ambientales en las que se produce la interacción entre ambos.

Finalmente es importante hacer referencia al mantenimiento de las superficies especiales para la reducción acústica de asfaltos. Determinadas tecnologías aportan una gran mejora en los primeros momentos, sin embargo, cuando se produce el deterioro se hace difícil y costoso el mantenimiento de los asfaltos con el fin de que perduren las propiedades iniciales.

## 8.2 El ruido de rodadura

### 8.2.1. Descripción del ruido de rodadura

Se describe el ruido de rodadura como el generado durante la interacción del neumático y el pavimento en el desplazamiento relativo entre ambos. El movimiento del neumático respecto del pavimento se descompone en un giro respecto del punto de contacto (rodadura) y una traslación

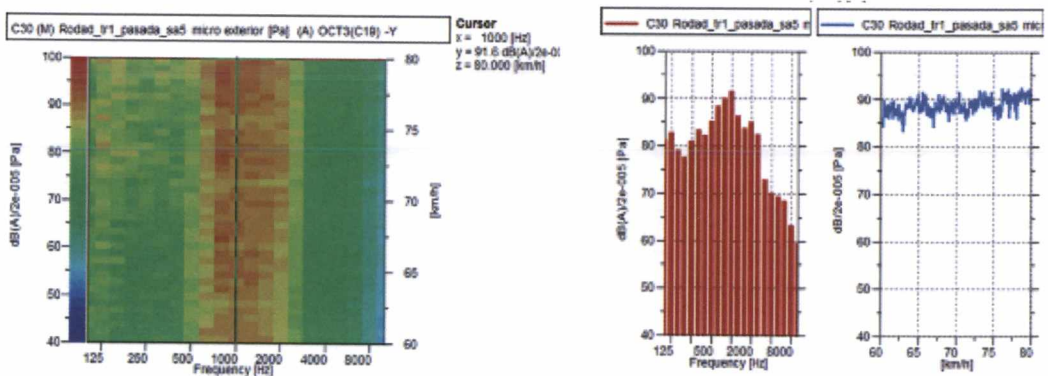


(deslizamiento). Esta composición de movimientos tiene como resultado la aparición de diferentes fenómenos físicos que contribuyen de manera diferente al nivel de ruido.

La anterior descripción se completa con una consideración acústica que permite definir el ruido de rodadura como un ruido de banda ancha que presenta su máxima contribución en torno al tercio de octava centrado en 1000 Hz. A pesar de tener la contribución principal a esta frecuencia, el ruido de rodadura se caracteriza por presentar más contribuciones a otras frecuencias, cada una de las cuales se relaciona con cada uno de los mecanismos de generación.

Para demostrar estas consideraciones, se presenta el análisis de un sonido registrado durante un ensayo tipo denominado CPX (Close Proximity Method). El ensayo fue llevado a cabo de acuerdo a un procedimiento desarrollado en la Fundación CIDAUT que toma como referencia la norma ISO CD 11819-2 [39]. Dicho ensayo es una adaptación del método descrito en la norma porque lo que pretende es evaluar el sonido variando la velocidad del vehículo desde 110 km/h hasta 40 km/h.

La Figura 8.2 muestra un gráfico 3D (diagrama de Campbell) con los diferentes espectros del nivel sonoro (dBA) en 1/3 de octava para un ensayo llevado a cabo en una superficie recién asfaltada con un pavimento estándar de tipo S-12 con betún 60/70.



**Figura 8.2.** En la grafica (izda.) se muestra un análisis frecuencial 3D representado en un diagrama de Campbell (Nivel/Frecuencia/Velocidad del Vehículo). La gráfica central corresponde a un espectro en tercios de octavas correspondiente al corte relativo a 80 km/h. En la grafica (dcha.) se presenta el nivel sonoro correspondiente al tercio de octava de 1000 Hz, registrado durante el ensayo.

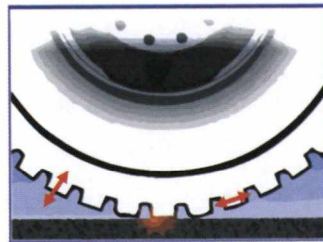
En primer lugar, se comprueba que el ruido de rodadura presenta una contribución importante entre las bandas de 630 y 2000 Hz. Como se puede observar en el corte inferior realizado a la velocidad de 80 km/h el nivel sonoro presenta el máximo a la frecuencia de 1000 Hz. En la gráfica contigua de la misma figura se aprecia como varía el nivel de presión sonora a 1000 Hz durante velocidades entre 60 y 80 km/h.

## 8.2.2. Mecanismos de generación y amplificación del ruido de rodadura

El ruido de rodadura se caracteriza por presentar diferentes contribuciones en su generación y también porque en su proceso de propagación pueden ocurrir fenómenos de amplificación o reducción del sonido ya generado. A continuación se presenta una explicación de los fenómenos más significativos que dan lugar a la aparición del ruido de rodadura.

### 8.2.2.1. Fenómenos de naturaleza mecánica

Una de las principales causas de generación del sonido es la radiación acústica de superficies sólidas, producida por las vibraciones originadas por excitaciones mecánicas. La generación mecánica del ruido de rodadura se manifiesta por tanto en forma de vibraciones radiales y tangenciales que están fundamentalmente originadas por los impactos y choques resultantes del contacto entre el perfil de la rueda y el pavimento.



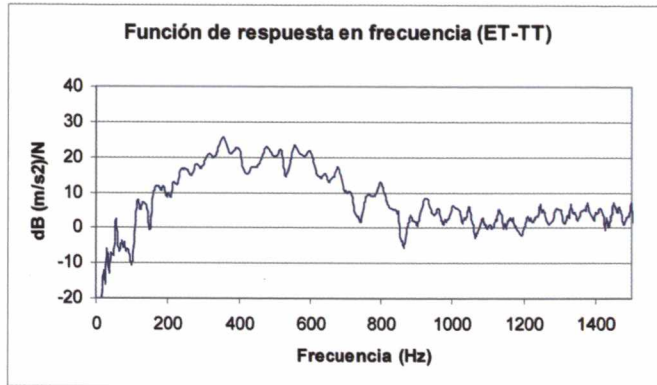
*Figura 8.3. Generación del ruido de rodadura debida a la excitación mecánica del neumático producida por el contacto del neumático con el pavimento*

Un aspecto importante a tener en cuenta y que explica el contenido frecuencial de las fuerzas de excitación generadas y por tanto de este tipo de ruido, es la dureza de ambas superficies, neumático y pavimento. Este parámetro condiciona el tiempo de contacto del choque y por tanto la distribución frecuencial de las fuerzas responsables de la vibración del neumático. Cuanto más duras sean las superficies el tiempo de contacto será menor y por tanto mayor será el rango de frecuencias de las fuerzas de excitación y dará lugar a ruidos con un contenido de frecuencia más ancho.

Otro aspecto importante es el amortiguamiento de los materiales que conforman el neumático, ya que a mayor amortiguamiento menor movimiento tendrán las superficies vibrantes y menor será la capacidad de producir ruido.

Normalmente, el neumático en condiciones de montaje (presión de inflado 2.1 bar) presenta una densidad modal en la cual los modos situados en el rango de frecuencias entre 200 y 700 Hz posee una mayor contribución energética. Esto hace que la generación mecánica de ruido no contribuya de manera eficiente a frecuencias mayores que 1000 Hz.

En la Figura 8.4 se muestra una función de respuesta en frecuencia medida en un neumático sobre vehículo, donde se corrobora la información anterior [27].



*Figura 8.4. Función de Respuesta en Frecuencia de un neumático para una excitación impulsiva*

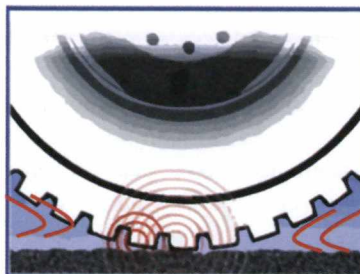
Este dato se contrasta muy bien con la literatura especializada consultada [17] y [27], donde se describen estos fenómenos en el rango de frecuencias por debajo de 1 kHz.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en los parámetros asociados al pavimento es la presencia de textura. Siempre la presencia de textura positiva es más perjudicial desde el punto de vista de generación de ruido, pues permite la posibilidad de excitaciones más puntuales y con un contenido de frecuencias mayor que la textura negativa.

En relación a la textura y según estudios realizados por Sandberg y Descornet (1980) [2], se afirma que la relación del ruido con la textura depende del rango de frecuencia, existiendo una relación directamente proporcional entre textura y nivel de ruido emitido para el caso de bajas frecuencias y texturas comprendidas entre 10 y 500 mm (megatextura). Por el contrario, cuando se habla de texturas comprendidas entre 0.5 y 10 mm (macrotextura) la relación entre el nivel de ruido a altas frecuencias y la textura también es proporcional pero contraria de signo, es decir, a más textura menos ruido.

### 8.2.2.2. Fenómenos de naturaleza aerodinámica

En segundo lugar, se plantea la contribución de tipo aerodinámico que tiene en cuenta los flujos de aire impulsados durante el movimiento de la rueda y su interacción con las diferentes cavidades (cavidad interior del neumático, surcos de los neumáticos...).



*Figura 8.5. Generación del ruido de rodadura de naturaleza aerodinámica*



Como describen Kuijpers y Sandberg en [20] y [25] respectivamente, uno de los mecanismos más importantes en la generación del ruido es la compresión del aire impulsado por el movimiento de la rueda y dirigido hacia el suelo. Este fenómeno es conocido como “*air pumping*” y está fuertemente condicionado por la resistencia que opone el pavimento al paso del aire a través de él. El neumático en su movimiento de avance se comporta como una bomba que comprime el aire contra la superficie plana que forma el pavimento. Cuando el pavimento es muy tupido (reflectante), las presiones que se alcanzan en estos puntos aumentan y por tanto el nivel de ruido generado es mayor que si ese pavimento posee una menor resistencia al paso del aire hacia su interior. En este caso el nivel de ruido generado disminuye como ocurre con los asfaltos porosos. La literatura recopilada [2] y [20] indica que estos ruidos se ubican en el rango de frecuencias entre 1 kHz y 3 kHz.

Otro aspecto a tener en cuenta dentro de los fenómenos de naturaleza aerodinámica es la generación de turbulencias debidas al movimiento de la rueda en el medio fluido (aire). Aunque este mecanismo no constituye una fuente dominante, es preciso remarcar que el nivel de ruido generado es proporcional a la potencia sexta de la velocidad de la rueda, y por tanto su nivel de importancia crece con la velocidad del vehículo.

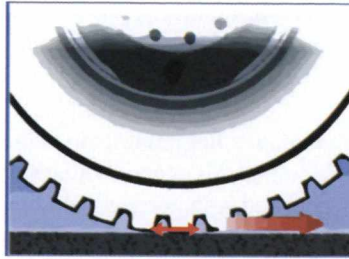
La resonancia del aire dentro del neumático o resonancia de Helmholtz es otro de los mecanismos de naturaleza aerodinámica que contribuye al aumento del ruido. El volumen de aire que existe en el interior del neumático actúa como un muelle comprimiendo la masa de aire que existe entre la cavidad interior y el aire exterior. El primer modo circunferencial de esta cavidad de aire se produce a una frecuencia de 200-300 Hz; esta frecuencia depende del tamaño del neumático y de las dimensiones de la rueda. A altas frecuencias, alrededor de 1100-1200 Hz, también se presenta un modo lateral que contribuye en menor medida a este fenómeno.

Por último, se consideran las resonancias de los canales dispuestos en la huella del neumático con el propósito de evacuar el agua. Estos canales definen unos conductos como los de una flauta que producen ruidos característicos en función de su longitud. Estos fenómenos se ubican en frecuencias mayores que 1000 Hz. Normalmente distribuciones asimétricas de canales y tacos del neumático hacen que la energía no se concentre solamente en una frecuencia dispersando la energía en un rango más amplio de frecuencias.

### 8.2.2.3. Procesos de adherencia/fricción

Por último, se presentan los fenómenos relativos a la fricción-adhesión entre el pavimento y el neumático. Aunque se trata de un proceso de naturaleza mecánica, se ha presentado separado de los anteriores por las particularidades que presenta este proceso. Durante el contacto rueda-pavimento ocurren fenómenos de adhesión y fricción que causan micromovimientos entre los tacos del neumático y el pavimento que a su vez contribuyen a la aparición de ruidos característicos que incrementan el nivel global de ruido debido a la rodadura.

Son ruidos generados por fenómenos de *stick-slip* y *stick-snap*. Su rango de frecuencias se ubica por encima de 1 kHz.



**Figura 8.6.** Generación del ruido de rodadura producido por la fricción-adhesión entre el neumático y el pavimento

Normalmente los fenómenos asociados de *stick-slip* se asocian a mecanismos de fricción, por lo tanto las superficies con coeficientes de fricción mayores suelen tener incrementos de nivel de ruido debido a este fenómeno.

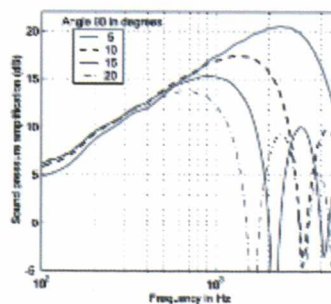
Por el contrario los efectos de *stick-snap* están asociados a mecanismos de adhesión, por lo que mayores rugosidades disminuyen la probabilidad de que ocurran estos fenómenos y por tanto el ruido generado puede ser menor.

### 8.2.3. Mecanismos de propagación del ruido de rodadura

#### 8.2.3.1. Efecto Horn

Dentro del proceso de propagación del sonido, se va a considerar la propagación del campo cercano como un factor más de generación. En este entorno cercano al contacto de la rueda con el pavimento es donde se va a centrar esta descripción.

Uno de los aspectos más significativos del proceso de transmisión del ruido generado se debe a la geometría del proceso. La interacción entre las formas del neumático (circular) y el pavimento (plano) dan lugar a la aparición de un fenómeno denominado “*Horn Effect*” que consiste en una amplificación del sonido radiado, por un efecto similar al que se puede lograr en la trompa de una bocina o un típico instrumento de viento. Esta geometría especial convierte al conjunto neumático-pavimento en un adaptador de impedancias que favorece la transmisión del sonido desde el foco de generación hasta el receptor.



**Figura 8.7.** Ganancia atribuida al Efecto Horn según Klein [19]

Algunos autores como Klein [19], cifran este aumento hasta en 20 dB dependiendo de la frecuencia, de la impedancia acústica del terreno (plano reflectante), y del ángulo de incidencia entre la fuente y el punto de observación.

Cualquier modificación en las propiedades del pavimento representa una variación en el ruido percibido. Se ha comprobado a partir de ensayos experimentales definidos en [21], que un adecuado diseño de la absorción acústica en las bandas importantes de frecuencia para un asfalto poroso es capaz de reducir el nivel de presión sonora según el método CPX en valores de casi de 2 dB.



*Figura 8.8. Ensayo realizado por la Fundación CIDAUT para evaluar el efecto de la impedancia acústica del terreno sobre el Horn effect*

### 8.2.3.2. Absorción acústica

El otro aspecto, también muy importante en el control de la propagación del ruido generado y que se ha apuntado anteriormente como factor influyente en el efecto Horn, es la **absorción acústica** del pavimento. El sonido en su proceso de propagación interacciona con el pavimento, reflejando una parte de la energía incidente y absorbiendo otra parte.

La absorción acústica de los materiales es una magnitud extrínseca o global. Es decir, es el resultado de una combinación de parámetros más básicos e intrínsecos al material. Uno de estos parámetros que permiten controlar la absorción es la porosidad, además de la resistencia al flujo del aire, la tortuosidad y las longitudes características térmica y viscosa.

Los asfaltos porosos bien sintonizados poseen unos valores importantes de absorción acústica en la zona donde es predominante el nivel de ruido de rodadura (800-1600 Hz).

Sandberg y Ejsmont [2] advierten de la necesidad de sintonizar el máximo de absorción acústica en función del tipo de vía. Recomiendan para vías de alta velocidad (100 km/h) que el máximo de absorción esté en torno a frecuencias próximas a 1000 Hz, mientras que para carreteras de menor velocidad el máximo de absorción debe situarse en frecuencias próximas a 600 Hz.

En puntos posteriores se detallará cómo se puede modificar la composición del pavimento con vistas a conseguir los máximos coeficientes de absorción en cada frecuencia.



### 8.2.3.3. Directividad

En la Figura 8.7, se ha podido comprobar la influencia que posee la directividad sobre el efecto Horn fundamentalmente.

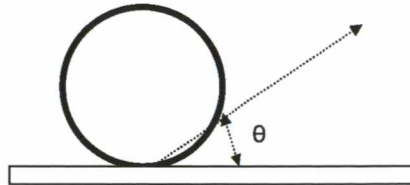


Figura 8.9. Ángulo de variación de la directividad para el caso de un problema 2D

En dicha gráfica, Klein, demuestra que a medida el ángulo  $\theta$  aumenta el efecto de amplificación disminuye de manera considerable, más de 5 dB en la máxima amplificación para una variación del ángulo de 20°.

### 8.2.4. Factores de influencia en el ruido de rodadura: asfaltos

Una vez explicados los mecanismos de generación y de propagación del ruido de rodadura se realiza una descripción de aquellos factores relativos al pavimento que permiten de manera más significativa el control del ruido de rodadura.

#### 8.2.4.1. Textura

El perfil de la superficie de una carretera se representa por la desviación de la superficie real respecto a un caso ideal, perfectamente llano, horizontal y rectilíneo, y puede representarse mediante el análisis espectral (longitud de onda) de las desviaciones del perfil del pavimento. La Figura 8.10 muestra la clasificación en función de las longitudes de onda de esa desviación, propuesta en el XVIII Congreso Mundial de Carreteras (Bruselas, 1987), el Comité Técnico de Características Superficiales de la Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR – PIARC).

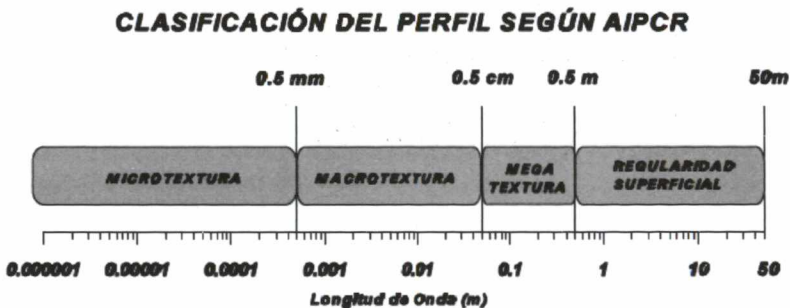



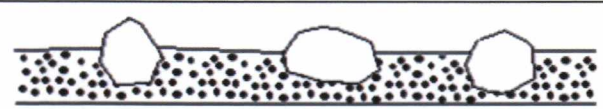
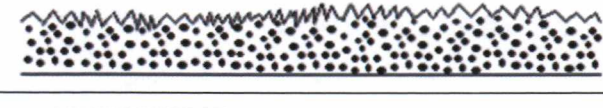
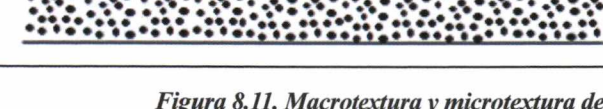
Figura 8.10. Clasificación del perfil de un pavimento según PIARC 1987

La textura se define como el parámetro que controla el estado superficial del pavimento en un entorno de variaciones de longitud de onda entre  $10\ \mu\text{m}$  y  $0.5\ \text{m}$ .

Sí la longitud de onda varía de  $5\ \text{mm}$  a  $500\ \text{mm}$ , la textura se conoce como “aspereza o megatextura”. La presencia de megatextura en un pavimento origina problemas de confort por la aparición de ruido y vibraciones tanto en el interior como en el exterior del vehículo. Algunas carreteras, como por ejemplo las adoquinadas, tienen un gran pico en el espectro a una longitud de onda correspondiente a la dimensión de los elementos constructivos, normalmente alrededor de los  $100\ \text{mm}$ . También la presencia de singularidades como elementos constructivos (tapas de alcantarillas, juntas elásticas de puentes...) o debidas a déficit de mantenimiento como pueden ser los baches, grietas... son también elementos que producen valores importantes de textura en este entorno. Por la experiencia acumulada en el análisis del ruido de rodadura, muchas veces la disminución de la megatextura en un pavimento lleva consigo reducciones de ruido muy significativas, del orden de  $5\text{-}8\ \text{dB}$ .

La siguiente división a tener en cuenta es la macrotextura, que se considera en valores de longitud de onda entre  $0.5\ \text{mm}$  y  $5\ \text{mm}$ . Como se apuntó en la descripción del mecanismo de generación por vibraciones, es importante que exista una macrotextura pero siempre en sentido negativo pues resulta mucho menos agresiva a la hora de producir excitaciones en el neumático, mientras que por otro lado favorece la no generación de ruido por el mecanismo de air-pumping.

En último lugar, se define la microtextura como responsable de los fenómenos de fricción entre el neumático y el pavimento. Su longitud de onda está por debajo de  $0.5\ \text{mm}$ .

	<b>Macrotextura</b>	<b>Microtextura</b>
	↑	↑
	↑	↓
	↓	↑
	↓	↓

*Figura 8.11. Macrotextura y microtextura del firme de la carretera*

La macrotextura se describe como rugosa o lisa, mientras que la microtextura como áspera o pulida. La macrotextura corresponde al tamaño de los áridos usados en la confección del pavimento. Mientras que la microtextura corresponde al acabado superficial de los elementos que componen los áridos.

Su influencia en las carreteras mojadas es algo similar a la influencia del diseño de la huella del neumático; una macrotextura rugosa ayuda al despeje del agua en la huella del neumático de igual forma que lo hacen los surcos del neumático. Mientras una microtextura rugosa produce altas presiones locales.

En pavimentos mojados, la porosidad de la capa superior es importante para proporcionar un drenaje adicional por debajo del neumático, mientras que en una superficie lisa e impermeable como el cemento, el despeje del agua se debe lograr solamente con el diseño de la huella. Se han realizado intentos por mejorar el drenaje del neumático en carreteras de hormigón mediante la introducción de surcos laterales en la superficie de la carretera, pero estos producen mucho ruido.

Hay, al menos, dos mecanismos de generación de ruido que son controlados por la textura, los cuales no están correlacionados entre sí. La Figura 8.12.a muestra la correlación positiva del ruido en el rango de bajas frecuencias (por debajo de 1000 Hz) con la textura de la carretera para grandes longitudes de onda; mientras que la Figura 8.12.b ilustra la misma relación, pero con pendiente negativa, entre el nivel de ruido en el rango de altas frecuencias (por encima de los 1000 Hz) y la textura de la carretera para longitudes de onda pequeñas.

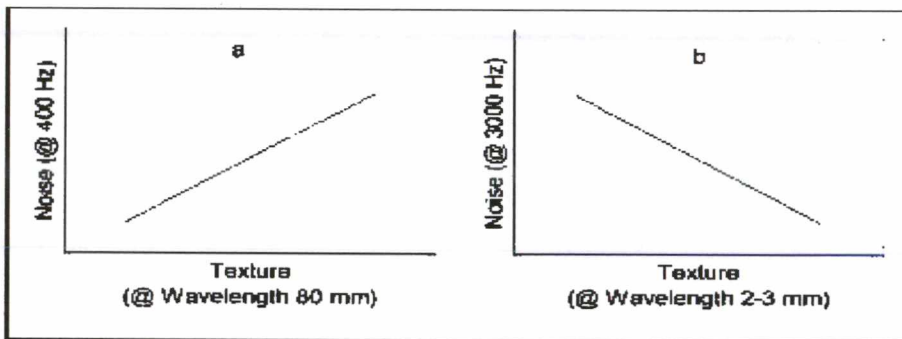


Figura 8.12. Relación entre el nivel de ruido y la textura de la carretera para dos casos extremos

#### 8.2.4.2. Porosidad

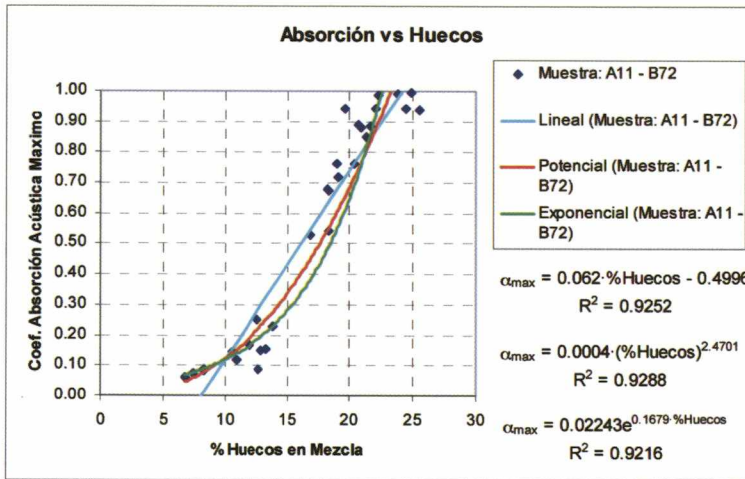
Las superficies porosas se comportan mejor acústicamente que las superficies impermeables. Particularmente, esta reducción del nivel sonoro se atribuye a la reducción del fenómeno de bombeo de aire (“*air pumping*”), ya que la compresión y expansión del volumen de aire son menores frente a una superficie porosa.

Además, las superficies porosas suelen presentar buenas características acústicas ya que se ha comprobado que una buena porosidad está ligada a altos valores de **absorción acústica**. Este fenómeno es importante sobre todo en aquellas frecuencias donde el *efecto Horn* es importante. Como se ha visto en el apartado 8.2.3.1 este efecto es dominante en frecuencias mayores que 1000 Hz por lo que la absorción debería maximizarse en esas frecuencias. Por ello es necesario disponer de modelos que permitan diseñar asfaltos con alta absorción en los rangos requeridos de frecuencias.



También la porosidad influye directamente en la absorción acústica del pavimento como elemento atenuador de ruidos generados y, por tanto, es susceptible de minimizar la contribución que puede llegar desde la fuente de ruido a un potencial observador.

Se presenta una figura donde se demuestra la alta relación entre porosidad y absorción acústica. Como se aprecia en la Figura 8.13 los valores de porosidad se ajustan perfectamente al modelo que explica la absorción acústica.



*Figura 8.13. Relación encontrada entre la máxima absorción acústica y el porcentaje de huecos en mezcla o porosidad del asfalto<sup>1</sup>*

### 8.2.4.3. Rigidez mecánica

La fuerza de impacto que se genera entre el pavimento y el neumático depende de la rigidez mecánica del pavimento y de la rigidez de la superficie del neumático.

Aunque no está totalmente demostrado, se piensa que la rigidez del pavimento puede tener un papel importante si es del mismo orden de magnitud o más pequeña que la rigidez del neumático [2]. Por ejemplo, para un nivel de textura similar, las superficies de hormigón son más ruidosas que las superficies de asfalto, porque las primeras son más rígidas que las últimas.

Además, el neumático sería excitado con una contribución mayor en el caso de un pavimento más rígido, tanto en contenido de frecuencias como en menor capacidad de amortiguamiento de las vibraciones generadas. Sobre este parámetro se sigue investigando para demostrar la posible relación que puede existir con el ruido.

<sup>1</sup> Fuente: Fundación CIDAUT

#### 8.2.4.4. Resistencia al deslizamiento

La resistencia al deslizamiento es la propiedad que presentan los pavimentos al avance del neumático cuando está bloqueado en su giro. Es una propiedad que está íntimamente unida a la seguridad de la circulación.

Normalmente esta propiedad se controla con el parámetro denominado *wet grip index*, o con el *skid resistance*. Suele evaluarse en mojado porque es la condición más desfavorable para poder contemplar la mayor probabilidad de ocurrencia de accidentes.

Actualmente la comunidad científica se encuentra en proceso de encontrar relaciones entre este parámetro y el nivel de ruido generado. Se están realizando continuas investigaciones encaminadas a profundizar en este parámetro y existen argumentaciones que llevan a pensar que las parejas formadas por pavimentos-neumáticos con un coeficiente alto de fricción producen mayores niveles de ruido. Sin embargo, estudios realizados por el FERHL [35] y M+P [16] demuestran que no existe una relación directa entre este parámetro y el ruido de rodadura.

#### 8.2.4.5. Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura es la propiedad que presenta el pavimento al desplazamiento del neumático sobre el mismo. Este parámetro tiene una influencia importante en el consumo de combustible y por tanto tiene unas notables implicaciones medioambientales.

Los mismos estudios anteriores [35] y [16], demuestran también la ausencia de correlación entre este parámetro y el ruido de rodadura, pero de igual manera estos estudios deben validarse en mayor número de casos.

#### 8.2.4.6. Durabilidad

Un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de seleccionar un tipo de pavimento es el correcto mantenimiento de sus propiedades a lo largo del tiempo.

Como se ha visto durante la explicación de la megatextura, la presencia de ésta por deterioro o fallos del pavimento (baches, grietas...) tiene unas consecuencias nefastas sobre los niveles de ruido generados. Por tanto, es conveniente seleccionar los pavimentos en primer lugar según las sollicitaciones mecánicas a las que va a estar sometido. Para ello se deben realizar los correspondientes ensayos de desgaste de los Ángeles, etc.

Una vez aseguradas las prestaciones mecánicas, se pasa a comprobar que las correctas propiedades seleccionadas desde un punto de vista acústico van a perdurar durante la vida útil del asfalto. Por ejemplo, uno de los puntos débiles de los asfaltos porosos es la colmatación de los poros durante la vida del pavimento, al llenarse éstos de suciedad.

Otro aspecto a tener en cuenta es la evolución temporal de la textura. Con el tiempo, a consecuencia del desgaste del pavimento por los vehículos, la textura va modificando su valor inicial de la forma siguiente:

- Transversalmente al sentido de avance, la textura en la zona de rodada y en el centro del carril se van diferenciando. Mientras en el centro del carril apenas se modifica el valor inicial, en la zona de rodada va disminuyendo. La diferencia entre estos valores (a veces muy significativa) es un índice de la edad del pavimento y/o de su comportamiento.
- Longitudinalmente la velocidad de evolución de la textura está en función del valor inicial (a valores iniciales pequeños disminuye más despacio que con valores iniciales más elevados). Con el paso del tiempo tanto las texturas bajas (0.3 - 0.7 mm) como las elevadas (0.7-2.0 mm) decrecen hasta un valor mínimo (que corresponde al momento de máximo desgaste sin pérdida de estructura, es decir, cuando comienza el desprendimiento de áridos). A partir de ese mínimo, la macrotextura comienza a crecer (sin que ese crecimiento tenga un significado positivo de recuperación) y tiende a hacerlo muy rápidamente hasta que se alcanza un máximo a partir del cual ya no tiene sentido hablar de macrotextura de la capa, pasando a formar parte de la megatextura, que presentará valores elevados por formación de baches.

## 8.2.5. Otros factores de influencia en el ruido de rodadura

### 8.2.5.1. Neumático

Aunque en este capítulo se da más importancia a describir aspectos relacionados con el pavimento, no por ello se puede menospreciar la importancia del otro actor en la generación del ruido. Si bien es importante reseñar que los avances en la tecnología de fabricación de los neumáticos han experimentado numerosos cambios que han contribuido de manera notable a la reducción del ruido.

Se puede describir la rueda de un vehículo como un elemento de estructura toroidal generalmente de caucho y lleno de aire en su interior.

En la rueda se diferencian tres partes:

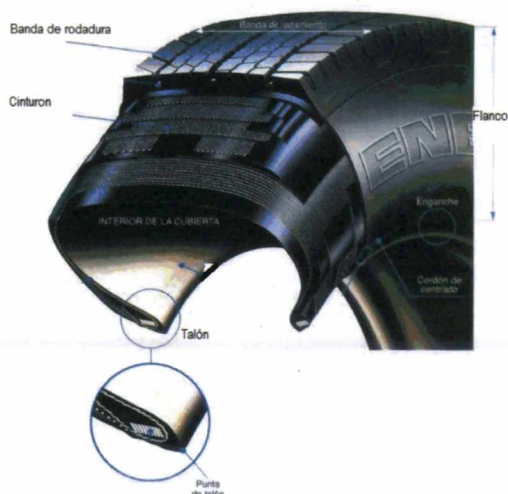
- **Cubierta o neumático:** es un elemento exterior, de caucho, que soporta los esfuerzos del contacto rueda - pavimento de forma directa.
- **Cámara:** Es un elemento de goma, estanco, para la contención del aire. Actualmente, se montan neumáticos sin cámara.
- **Llanta:** parte metálica que une la cubierta con el eje de giro proveniente de la transmisión del vehículo.

De los tres citados anteriormente, el elemento más característico y que más influye en la generación del ruido de rodadura es la cubierta o neumático. Las partes estructurales fundamentales de una cubierta se presentan a continuación y pueden ser observadas en la Figura 8.14.

- **Banda de rodadura:** superficie exterior del neumático que está en contacto con la calzada, responsable directa del ruido de rodadura. Sobre ella van los “dibujos” característicos de cada neumático.
- **Carcasa o armazón:** elemento interno que compone la estructura del neumático y es el encargado de soportar la mayor parte de los esfuerzos.



- **Cinturón:** capas de hilo de acero, situadas por debajo de la banda de rodadura.
- **Talones:** parte inferior del neumático encargado de la sujeción del mismo a la llanta. Se caracteriza porque en su interior lleva dos **aros metálicos** que aseguran que la cubierta se mantenga en posición respecto a la llanta y así evitar el posible desllante del neumático.
- **Flanco o pared lateral:** elemento situado entre el talón y la banda de rodadura, su rigidez condiciona que el neumático filtre mejor o peor las vibraciones de la carretera.
- **Hombro:** elemento situado entre el flanco y la banda de rodadura.



*Figura 8.14. Partes fundamentales de una cubierta.<sup>2</sup>*

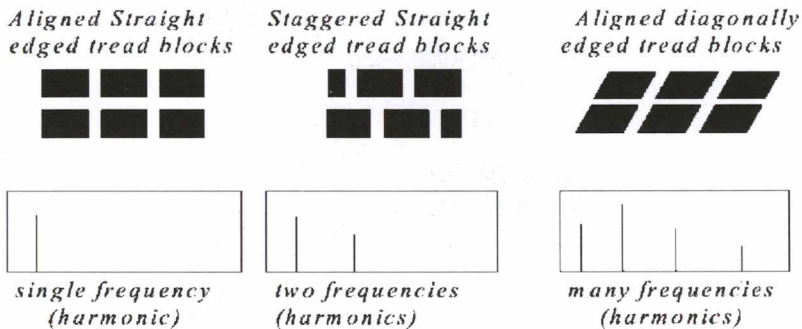
Las variables básicas del diseño del neumático que afectan al nivel total del ruido de rodadura son: el ancho del neumático, la relación de aspecto o perfil, la profundidad de la huella (concretamente, la profundidad del surco) y el espaciado del surco. El nivel de ruido aumenta con la reducción de la relación de aspecto, con el aumento de la profundidad de la huella, y con el aumento del ancho del neumático.

Existen factores relativos al neumático que influyen en el ruido de rodadura, como son: la presión del neumático y la carga por rueda. La influencia de la presión del neumático es pequeña siempre que el neumático no esté extremadamente inflado o desinflado, típicamente se produce un incremento de 0,5 dBA para un aumento desde 1 bar hasta 4 bares. La carga por rueda a una presión constante también afecta a la generación de ruido, generalmente un aumento de la carga se traduce en un incremento del nivel de ruido.

Otros factores de diseño influyentes son el modelo del neumático y de la huella, el material del neumático. De forma simplificada se pueden considerar tres diseños diferentes del modelo de la huella:

<sup>2</sup> Imagen tomada de la página web de la Escuela Tec. Sup de Ingenieros Industriales de la UVA ([http://www.eis.uva.es/%7EEmacromol/curso03-04/automovil/paginas/El\\_neumatico.htm](http://www.eis.uva.es/%7EEmacromol/curso03-04/automovil/paginas/El_neumatico.htm).)

- La configuración alineada, con los bloques de la huella rectos produce un ruido dominado por una sola frecuencia, es decir, un ruido tonal.
- La configuración con los bloques de la huella rectos, pero alternados provoca un ruido dominado por dos frecuencias distintas.
- La tercera configuración con los bloques de la huella inclinados provoca un ruido que excita un rango amplio de frecuencias.



**Figura 8.15. Distribuciones frecuenciales de ruido para diferentes tipos de huella**

Un neumático que tenga una distribución de bloques uniforme da lugar a un sonido monofrecuencial que al concentrar la energía en una sola frecuencia posee un nivel mayor. Este tipo de sonidos es percibido de manera desagradable por el oído humano. Para evitar la molestia de los tonos puros, se debe estudiar cuidadosamente el diseño del modelo de la huella, teniendo especial cuidado en la profundidad del surco, la anchura y el dibujo del mismo.

Por último, es necesario tener en cuenta como evolucionan las propiedades del neumático. Durante la vida útil del neumático, éste se somete a una degradación debido al desgaste y al envejecimiento que va a cambiar sus propiedades de emisión de ruido. Al final de su vida, un neumático puede presentar mayores diferencias de comportamiento con respecto a su homólogo “nuevo” que si le comparamos con otras marcas de neumáticos.

Básicamente, existen dos tipos de efectos a tener en cuenta que producen cambios en el neumático; el envejecimiento por procesos químicos y el envejecimiento mecánico por desgaste:

- Envejecimiento mecánico: ocurre un proceso de desgaste continuo con pérdida de material, (goma de la banda de rodadura) debido a la fricción entre el neumático y la superficie de la carretera cuando el neumático gira libre o está siendo impulsado o frenado.
- Procesos químicos de envejecimiento: durante la vida del neumático sus compuestos de caucho sufren cambios, por lo general acompañados por un aumento en la dureza, debido a la exposición a altas temperaturas, o por la presencia de determinadas sustancias y gases en el aire (por ejemplo, oxígeno y ozono).

### 8.2.5.2. Factores externos

#### Discontinuidades del pavimento

Aunque este parámetro es especialmente relevante para el confort acústico en el interior del vehículo, dependiendo del tipo y severidad de la discontinuidad, es posible que se pueda producir algún ruido parásito, que se traduzca en un incremento en el nivel sonoro. Dependiendo del tamaño de la discontinuidad, la generación del ruido puede ser más o menos importante. Hay discontinuidades que están directamente relacionadas con el envejecimiento de la propia vía (grietas por efecto temperatura, desprendimiento de la capa de rodadura, socavones, etc.) y que requieren las operaciones de mantenimiento oportunas para la solución del problema. Sin embargo, hay otras discontinuidades existentes en zonas urbanas, que se deben a las particularidades de la propia vía (adoquín, baches, alcantarillado, sistemas reductores de velocidad, bandas laterales en carreteras). Dependiendo de la severidad de las discontinuidades puede haber un mayor o menor impacto en el ruido ambiente.

Sin embargo, cuando un área relativamente grande está afectada por discontinuidades, el impacto sobre el nivel de ruido ambiente puede ser considerable.

Para caracterizar el nivel de severidad de la discontinuidad en el pavimento, ha de tenerse en cuenta el ancho y la profundidad de está. En algunos casos el nivel de ruido asociado a la presencia de la discontinuidad será elevado e incluso se llegarán a producir niveles de ruido inaceptables, mientras que en otros casos, la existencia de este tipo de discontinuidades no implica un aumento significativo del nivel sonoro. Es por esta razón que existe la necesidad de aplicar métodos para la caracterización del ruido asociado a las discontinuidades, que permitan estimar el impacto sonoro que pueden provocar, así como desarrollar nuevos métodos para obtener una técnica que pueda ser usada para la detección y el estudio de la evolución de estas discontinuidades.

Dependiendo de las características que se quieran evaluar, la técnica de medida será diferente. Para cuantificar el “impacto instantáneo” el método CPX parece ser el más apropiado, por el contrario para cuantificar el “impacto ambiental” el método de pass by (CPB o SPB) es el más indicado. En cualquier caso los resultados deben darse siempre respecto a una superficie de referencia (pavimento convencional de hormigón o mismo tipo de pavimento sin discontinuidades en una zona próxima).



*Figura 8.16. Diferentes tipo de discontinuidades: Izquierda desprendimiento de capa de rodadura-derecha resalto en vía urbana*



### **Temperatura del asfalto**

La influencia de la temperatura del asfalto en la generación del ruido de rodadura es reconocida por todos los expertos, sin embargo, debido a la existencia de multitud de factores que intervienen en el ruido de rodadura, actualmente no existe un método normalizado que permita establecer una relación entre la temperatura del pavimento con el ruido. Sí existen algunos métodos empleados para la corrección del nivel sonoro medido en función de la temperatura del asfalto. Estos métodos se usan específicamente para realizar las correcciones oportunas en el ensayo SPB, pero sin embargo al no existir un método estandarizado y ampliamente conocido, cada país utiliza sus propias correcciones.

### **Agua y presencia de polvo**

El agua y la suciedad son dos factores importantes a tener en cuenta y son especialmente críticos en las superficies porosas. Estos factores provocan la obstrucción de los poros de la superficie, lo que constituye uno de los mayores problemas a lo largo de la vida de las superficies absorbentes. Tan pronto como las partículas de polvo han penetrado y obstruido la capa absorbente, el coeficiente de absorción disminuye. Está comprobado que en los asfaltos de doble capa, donde el tamaño de los poros en la capa superior es más pequeño, se reduce considerablemente este efecto manteniendo a lo largo del tiempo mejores propiedades de absorción. Por esta razón es conveniente que cada cierto tiempo se hagan operaciones de mantenimiento para limpiar los poros. Un método eficaz y usado habitualmente es aplicar agua a presión sobre la superficie, que eliminará la suciedad y el polvo de los poros. Si este proceso se hace correctamente, se puede recuperar la absorción inicial.

Otro motivo de obstrucción de los poros puede ser debido a la retención de agua, por tanto es preciso tener en cuenta la permeabilidad asociada a cada tipo de asfalto, como factor influyente en el grado de obstrucción.

### **8.2.5.3. Factores que afectan al ruido de transmisión aérea**

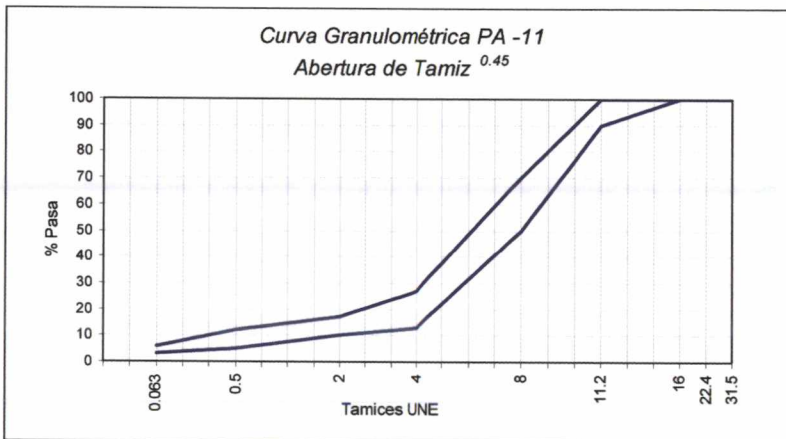
Unido a los ruidos generados entre asfalto y neumático descritos hasta ahora, existen un grupo de parámetros que influyen en la propagación del ruido de rodadura por el aire. Estos factores son la temperatura y humedad del aire, los gradientes de temperatura del aire y la velocidad del viento. Como ya se ha explicado en capítulos anteriores, estos factores se relacionan con fenómenos de absorción del aire y refracción (curvado de la propagación), y pueden hacer que en condiciones favorables de propagación un mismo ruido aumente su nivel en más de 6 dBA respecto a otras condiciones desfavorables de propagación, para un mismo nivel de emisión y en un mismo lugar de observación.

## **8.3. Revisión de los pavimentos sono-reductores existentes**

Se denominan pavimentos sono-reductores aquellos que son capaces de reducir el ruido de rodadura en al menos 3 dB con respecto a una mezcla bituminosa convencional, entendiéndose por mezcla convencional un asfalto denso (DAC) o un Stone Mastic Asphalt (SMA) con un tamaño máximo de árido entre 11-16 mm.

En la actualidad existen multitud de pavimentos que se utilizan en las capas de rodadura y que son capaces de reducir el ruido de rodadura debido principalmente a dos causas, por disminuir el ruido generado por la interacción neumático/pavimento y/o por tener una alta absorción acústica, garantizando la seguridad y el confort que se debe prestar a los usuarios de las vías.

Estos pavimentos, y en particular los asfaltos, se diferencian principalmente en su granulometría, es decir, porcentaje de árido de tipo agregado (tamaño mayor que 2 mm), arena (tamaño entre 0.63–2 mm) y filler (tamaño menor que 0.63mm), la distribución de los diferentes tamaños de áridos de un tipo de asfalto se representa en la llamada curva granulométrica (Figura 8.17), el tipo y porcentaje de material ligante (betún) y la inclusión o no de otro tipo de subproductos como neumáticos usados, plásticos, etc.



*Figura 8.17. Curva Granulométrica de asfaltos tipo PA-II*

A continuación se presentan los principales pavimentos sono-reductores que se utilizan en Europa, incluyendo breves detalles sobre las especificaciones de los materiales y datos típicos de rendimiento acústico [1] [29] [30] [33].

### 8.3.1. Asfaltos porosos

El asfalto poroso o drenante (Porous Asphalt, PA) fue desarrollado inicialmente para facilitar el drenaje de agua. Este asfalto está diseñado para tener un alto contenido de huecos, por lo general de 20-25%, muchos de los cuales interconectados, gracias al contenido muy elevado de áridos, con una clasificación típica de 0/11, 0/16 y 0/20. El espesor típico de un asfalto poroso está entre 40 y 60 mm.

Las especificaciones en composición de los asfaltos PA se describen en la norma UNE EN13108-7.[42]



*Figura 8.18. Imagen de un asfalto poroso*

### 8.3.1.1. Especificaciones del material

Una característica fundamental de un asfalto poroso es el alto porcentaje de huecos abiertos (hasta un 28%) y conectados entre sí que facilitan la evacuación de agua, la absorción acústica del ruido y la mejora de los mecanismos aerodinámicos. El alto porcentaje de los huecos se debe principalmente al alto contenido de agregados de un tamaño mayor que 2 mm (generalmente 81-87%) que impiden que los huecos estén ocupados por áridos más pequeños. Otro factor importante para que exista un alto porcentaje de huecos son los ángulos de las aristas de los aglomerados. Los volúmenes de mortero y mastico son muy pequeños, por lo que la cohesión se debe, casi exclusivamente, al aglutinante, donde la resistencia a la deformación permanente se debe a la fricción y al contacto entre los granos de arena y aglomerados.

El tamaño máximo normal de los áridos es 14 mm, pero también se pueden utilizar áridos de 4, 8, 10, 16 y 20 mm de tamaño. En el caso de grava natural triturada, la proporción de partes redondeadas y suaves debe ser muy pequeña. En general, se estableció que los áridos deben caracterizarse por un alto Polished Stone Value, PSV (valor de la medida de la resistencia al pulido de los áridos). En los países nórdicos, donde el uso de neumáticos de invierno puede causar más daño a la superficie, también hay requisitos en cuanto al valor máximo de abrasión para los áridos.

En cuanto a la arena, ésta debe ser obtenida por trituración de rocas duras. En algunos países, el relleno es la fracción de arena; pero en otros países es necesario agregar fabricados de llenado, especialmente, caliza e incluso cemento. En muchos países, también es necesario añadir agentes de adhesión a la mezcla como los derivados de cemento o un 1-2% de hidróxido de calcio para garantizar una buena adherencia en el asfalto poroso y mejorar la adhesión.

En las superficies porosas el aglutinante está más expuesto a la atmósfera que en las mezclas convencionales y provoca un rápido envejecimiento y el deterioro de la carretera bajo la acción del tráfico. Existen diversas maneras de minimizar el envejecimiento: aumentando el contenido de aglutinante, de modo que los áridos estén cubiertos con una gruesa capa, o utilizando un aglutinante formado de betún modificado con la adición de polímeros.

El aumento del contenido de aglutinante puede, sin embargo, causar problemas adicionales durante la construcción de la superficie. Si excede de cierto nivel, puede causar el drenaje y la



segregación del aglutinante durante los procesos de fabricación, transporte y extendido. Por otra parte, reduce la posibilidad de obtener un alto contenido de huecos. El método estándar para la prevención del drenaje de aglutinante es añadir diferentes tipos de fibras, minerales u orgánicas; el contenido de fibra suele estar entre 0.3-0.4% del peso total de áridos.

Los betunes modificados se clasifican en dos grupos: los que se han modificado con polímeros nuevos (SBS, EVA, EPDM, SB, SBR, APP, PE) y los que son modificados con polímeros reciclados. Los segundos son generalmente una mezcla de 78-80% de betún, un 3% de aceite aromático y 10-20% de polvo de caucho reciclado de neumáticos usados.

### 8.3.1.2. Ventajas y desventajas

En comparación con las mezclas convencionales, los asfaltos porosos ofrecen una importante reducción del ruido de rodadura cuando la superficie está en buenas condiciones, es decir, cuando su megatextura y macrotextura son de una dimensión lo más pequeña posible. Para poder conseguir este estado superficial, los áridos deben ser de un tamaño pequeño, además de no tener un canto agudo o afilado -lo cual se contradice con la necesidad de conseguir un porcentaje alto de huecos- por lo que hay que buscar una solución de compromiso o utilizar asfaltos porosos bicapa (apartado 8.3.2). Un factor muy importante a tener en cuenta es que nunca se debe usar árido blando con árido duro ya que el árido blando se desgastaría muy rápido dejando huecos que empeorarían la megatextura y la macrotextura.

El uso de asfaltos porosos provoca una reducción de los efectos de salpicadura, aspersión y aquaplaning, ya que el agua no se acumula en la superficie de la carretera. Esto se traduce en una mejora de la visibilidad y la resistencia al deslizamiento del vehículo en condiciones de humedad.

Una de las desventajas de este tipo de asfaltos es la baja durabilidad de las superficies porosas, debido a que se produce un envejecimiento más rápido del aglomerado. Además, la resistencia al deslizamiento en condiciones de frenado sobre asfalto poroso es baja, por ejemplo, se ha comprobado que en una fuerte frenada, las distancias de parada pueden ser 20-40% más largas (actualmente se están fabricando asfaltos porosos que tienen un mejor comportamiento). Este problema sólo existe en los primeros meses después de la apertura al tráfico de la carretera debido a que, durante este período de tiempo, hay una espesa capa bituminosa alrededor de los áridos en la superficie de la capa de asfalto, pero ésta desaparece después de unos pocos meses.

En un estudio realizado por Phillips y Abbott [23], se concluyó que los niveles de ruido con un asfalto poroso, a diferencia de con un asfalto convencional, en condiciones de humedad, aumenta aproximadamente 3.5 dBA con relación a condiciones secas. Se ha considerado que esto se debe al efecto combinado del llenado de agua de los poros en los asfaltos porosos y a la reducción de salpicadura y aquaplaning que se produce sobre superficies porosas, lo que conlleva a que los conductores reduzcan menos la velocidad que en el caso de mezclas convencionales. Otro efecto es que las superficies porosas, debido a los huecos, tardan más tiempo en volver a su estado normal una vez que ha cesado la lluvia, (aunque depende de las condiciones ambientales, la circulación de vehículos, etc.)

El mayor problema de este tipo de asfaltos es que con el tiempo pierden parte de sus buenas propiedades acústicas debido a que los huecos de la superficie tienden a obstruirse por el polvo y los desechos (los huecos se colmatan), esta tendencia provoca una disminución de las propiedades de drenaje y la porosidad. Aunque debido a que el paso de los neumáticos del vehículo produce una cierta limpieza en carreteras de alta velocidad, se recomienda el empleo de estos asfaltos para carreteras, autovías y vías peri-urbanas, estas superficies requieren una limpieza especial periódica para evitar la obturación de la superficie en su conjunto (es recomendable limpiar las superficies cada dos años).

Otro problema es el mantenimiento del asfalto en invierno, ya que la porosidad de la superficie significa que se requieren mayores cantidades de sal para fundir el hielo atrapado en los poros.

Por último, las reparaciones de mantenimiento de la superficie (por ejemplo, los parcheados) son también más difíciles de efectuar que en el caso de asfaltos de mezclas convencionales, ya que ese mantenimiento puede afectar al drenaje a través de la superficie, lo que conlleva una reducción del drenaje y del rendimiento acústico.

Por todas estas razones en muchos casos es aconsejable el empleo de asfaltos porosos de doble capa como se expone en el apartado 8.3.2.

### 8.3.1.3. Datos típicos de mejora acústica

Debido al gran tamaño de los huecos en la superficie de la capa de rodadura puede que se aumente el ruido generado por la interacción neumático/pavimento pero, en general, los asfaltos porosos mejoran el nivel de ruido en frecuencias próximas a los 1000 Hz debido principalmente a su alta absorción acústica para espesores entre 40 y 60 mm lo que permite reducir el ruido generado en la rodadura, el ruido motor y los mecanismos aerodinámicos, como el efecto bocina. En carreteras con velocidades de circulación altas, la mejora acústica que produce con este tipo de asfaltos es de unos 4 dBA, en cambio para bajas velocidades, la mejora es insignificante.

La Tabla 8.1 sintetiza los datos de rendimiento acústico de los asfaltos porosos, basados en mediciones SPB, recogidos en el proyecto europeo SILVIA [30]. Los datos presentados en la tabla se han obtenido mediante el promedio de los datos de todos los asfaltos porosos medidos, independiente del tamaño de árido.

*Tabla 8.1. Datos de rendimiento acústico para diferentes asfaltos porosos (PA)*

Tipo de vehículo	Velocidad (km/h)	Nº Zonas	Edad Pavimento (años)		Nivel SPB (dBA)			Tamaño de árido (mm)		
			Media	Rango	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo
Turismo	80	2	4.1	0.2 - 8.0	76.1	76.0	76.2	14.0	14.0	14.0
	110	4	3.2	0.1 - 6.4	79.1	76.9	82.0	10.0	8.0	16.0
Pesado doble eje	85	4	3.2	0.1 - 6.4	82.1	79.4	83.8	10.0	8.0	16.0
Pesado multi eje	85	4	3.2	0.1 - 6.4	85.2	84.5	86.3	10.0	8.0	16.0

### 8.3.2. Asfaltos porosos de doble capa

El asfalto poroso de doble capa (2L-PA) se compone de dos capas de asfalto poroso: una capa inferior gruesa y abierta y una capa superior de textura más fina. La capa superior actúa como un tamiz, deteniendo las partículas más grandes de los desechos de forma que no alcancen los huecos más grandes en la capa inferior. Además, como resultado de la utilización de áridos más pequeños en la capa superior, se consigue una megatextura más lisa que en el caso de los asfaltos porosos, reduciendo el ruido que se generaría en la interacción neumático/pavimento. Estas dos características proporcionan una superficie “silenciosa” con una menor obstrucción de huecos que la encontrada sobre las superficies porosas de una sola capa. Por todas estas razones, las superficies de asfalto poroso de doble capa son adecuadas para utilizarse en zonas urbanas, así como en las autopistas.



*Figura 8.19. Imagen de un Asfalto Poroso de doble capa*

#### 8.3.2.1. Especificaciones del material

La capa inferior gruesa y abierta tiene una clasificación, generalmente, entre 11-16 mm, mientras que la capa superior tiene una clasificación más fina: inicialmente se utilizaban áridos de 4-8 mm para esta capa superior, pero más recientemente se han utilizado áridos de 3-6 mm con un excelente comportamiento.

El grosor de la capa inferior está entre 30 a 50 mm (en general es de unos 45 mm), mientras que la capa superior es de 20 a 40 mm (se suele utilizar un espesor de unos 25 mm) dependiendo del tamaño de árido. El ligante que se emplea en las dos capas de asfalto suele ser un betún modificado, en un alto porcentaje (hasta un 6.5%) para aumentar la durabilidad del asfalto.

#### 8.3.2.2. Ventajas y desventajas

Este tipo de asfaltos presentan una gran capacidad de reducción del nivel de ruido debido a su alta absorción acústica (semejante a la de los asfaltos porosos de una sola capa) y al reducido tamaño de los áridos superficiales; existe una menor generación de ruido por la interacción neumático/pavimento.

El asfalto poroso de doble capa es adecuado para su uso en carreteras, autovías y vías peri-urbanas, pero también en zonas urbanas, al contrario de lo que ocurría con los asfaltos porosos, pero siempre



teniendo en cuenta que para que tengan una esperanza de vida alta, hay que tener cuidado en la selección del lugar donde se va a extender la superficie. Es decir, este tipo de asfaltos no deben utilizarse en curvas cerradas o en cruces, ya que el aumento de la frecuencia de las aceleraciones y deceleraciones del vehículo y los cambios de dirección provocan aumentos en la fricción con lo que se incrementa la posibilidad de roderas.

Estos asfaltos presentan una clara ventaja frente a los asfaltos porosos y es que debido al pequeño tamaño de los áridos de la capa superficial se obstruyen menos los huecos de la capa inferior. Además, debido a la diferencia de resistencia al flujo de aire que existe entre la capa superior e inferior, estos asfaltos tienen la capacidad de auto-limpieza por la acción del tráfico. Otra ventaja añadida se refiere al mantenimiento del asfalto, cuando un asfalto se ha envejecido, al estar formado por dos capas de material, se puede rehabilitar únicamente la capa superior. Debido a su estructura abierta, el asfalto poroso de doble capa minimiza los efectos de salpicadura y aspersión, aumentando el nivel de confort y seguridad para los usuarios de la carretera. Este tipo de superficies son más limpias, debido a la filtración natural de la superficie, y esto puede ser una ventaja en las zonas de recogida de agua.

### 8.3.2.3. Datos típicos de mejora acústica

Con este tipo de asfaltos se pueden obtener una reducción acústica de más de 4 dBA para velocidades de circulación de 50 km/h.

La Tabla 8.2 sintetiza los datos de rendimiento acústico de asfaltos porosos de doble capa, basados en mediciones SPB recogidos en el proyecto europeo SILVIA [30]. Los datos presentados en la tabla se han obtenido mediante el promedio de los datos de todos los asfaltos porosos de doble capa medidos, independiente del tamaño de árido.

*Tabla 8.2. Datos de rendimiento acústico para diferentes asfaltos porosos de doble capa (2L PA)*

Tipo de vehículo	Velocidad (km/h)	Nº Zonas	Edad Pavimento (años)		Nivel SPB (dBA)			Tamaño árido - Capa Superior (mm)		
			Media	Rango	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo
Turismo	50	18	2.4	0.1 - 4.9	66.7	62.9	70.4	6.0	5.0	8.0
	80	4	1.0	0.2 - 1.4	69.6	68.3	70.9	7.0	7.0	7.0
	110	4	0.25	0 - 0.6	78.0	76.5	80.0	7.3	5.0	11.0
Pesado doble eje	85	4	0.3	0 - 0.6	81.8	79.7	83.8	7.3	5.0	11.0
Pesado multi eje	85	4	0.3	0 - 0.6	82.5	80.3	86.6	7.3	5.0	11.0

### 8.3.3. Stone Mastic Asphalt (SMA)

Aunque el pavimento Stone Mastic Asphalt (SMA) es a menudo considerado como un pavimento de capa delgada (debido a su compactación en capas finas), también es conocido como una importante subclase de la gama de asfaltos densos (Dense Asphalt Concrete, DAC). Sin embargo, los SMA tienen ventajas en términos de generación de ruido, ya que a diferencia de los asfaltos densos, permiten en un cierto grado, el drenaje de agua como los asfaltos porosos (en general el contenido de huecos es de un 3–5%, pero sin estar interconectados). Las especificaciones en composición de los asfaltos SMA se describen en la norma UNE EN 13108-5 [43].

El Stone Mastic Asphalt es esencialmente un material bituminoso que se caracteriza por su gran proporción de árido grueso que está entrelazado para formar un esqueleto. El esqueleto se rellena con un betún, arena y un inhibidor de drenaje del aglutinante (por lo general, fibras). El papel principal del esqueleto es soportar la carga y conseguir una alta resistencia a la deformación permanente, mientras que el papel del betún es proporcionar la durabilidad, aumentando su vida útil. Los principales tipos de SMA utilizados incluyen 0/5, 0/6, 0/8, 0/10, 0/11, 0/14 y 0/16. Esta última se utiliza para soportar grandes cargas y para dar resistencia cuando se usan neumáticos de invierno.

La granulometría del SMA se escoge de forma que el asfalto no tenga una superficie porosa aunque en apariencia sea semejante. El SMA típico consiste en un 70-85% de áridos gruesos, 5-14% de material de relleno, 5-8% de betún y 0.3-0.4% de fibras. El contenido de huecos está entre 1.5-8% en volumen, este amplio rango implica que no existe una fórmula universal de diseño de mezclas SMA.

El SMA es generalmente más caro que una típica mezcla densa de asfalto, ya que requiere agregados más duraderos, mayor contenido de aglutinante modificado y fibras, sin embargo, la relación coste-beneficio es rentable, debido a su alta durabilidad.



*Figura 8.20. Imagen de un Asfalto tipo SMA*

### 8.3.3.1 Especificaciones del material

El SMA está diseñado para ser prácticamente impermeable y tener muy buena resistencia a la deformación debido a su esqueleto. Como el rendimiento de las mezclas SMA depende en gran medida del esqueleto, ya que la mejora de estas mezclas se basa en un contacto muy duro entre los áridos para obtener resistencia estructural, se debe controlar especialmente la granulometría para garantizar un cierto porcentaje de huecos y escoger agregados de alta calidad, seleccionados en función de las condiciones del tráfico y con la textura adecuada para proporcionar una buena resistencia al deslizamiento (áridos gruesos con un valor PSV suficiente).

La selección de los minerales de relleno y las fibras es crucial en la formación del mástico en la mezcla. El aglutinante utilizado en las mezclas SMA debe ser el mismo que el utilizado en las carreteras de alta capacidad, por ejemplo, betún de alto rendimiento para altas y bajas temperaturas. En la mayoría de los casos, se traducirá en el empleo de un alto porcentaje de aglutinante para aumentar la durabilidad, pero que permita obtener los huecos deseados, con polímeros modificados o fibras de celulosa para mejorar el

comportamiento con la temperatura, la adherencia y la estabilidad, y reducir el drenaje de aglutinante durante el extendido (debe ser menor que el 0.3%).

Además para la selección de los materiales constitutivos de la mezcla se tendrá en cuenta el tráfico, las condiciones climáticas, la forma de construcción y extendido y las consideraciones económicas.

### 8.3.3.2 Ventajas y desventajas

Cuando se ha diseñado, elaborado y extendido de forma adecuada cualquier mezcla SMA ofrece excelentes características de resistencia al desgaste, al deslizamiento, a la deformación permanente (roderas) y a las grietas, así como la reducción de ruido. Pero por el contrario es mucho más crítica su construcción. Se debe tener cuidado para reducir al mínimo la segregación y la aparición de zonas frías en la mezcla.

Cuando se compara con mezclas bituminosas convencionales, las mezclas SMA pueden reducir el ruido de rodadura hasta 3 dBA, en condiciones favorables (textura optimizada y tamaño máximo del agregado pequeño).

### 8.3.3.3 Datos típicos de mejora acústica

La Tabla 8.3 sintetiza los datos de rendimiento acústico de mezclas SMA basados en mediciones SPB recogidos en el proyecto europeo SILVIA [30]. Los datos presentados en la tabla se han obtenido mediante el promedio de los datos de todos los asfaltos SMA medidos, independiente del tamaño de árido.

*Tabla 8.3. Datos de rendimiento acústico para diferentes asfaltos SMA*

Tipo de vehículo	Velocidad (km/h)	Nº Zonas	Edad Pavimento (años)		Nivel SPB (dBA)			Tamaño de árido (mm)		
			Media	Rango	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo
Turismo	50	6	1.4	0.2 - 2.0	70.6	68.6	74.1	8.6	6.0	12.8
	80	5	3.5	0.2 - 8.0	78.7	76.5	82.1	12.8	10.0	16.0
	110	11	3.20	0.2 - 7.8	82.2	78.3	86.1	10.1	8.0	16.0
Pesado doble eje	50	6	1.4	0.3 - 3.0	79.1	77.3	85.3	8.6	6.0	12.8
	70	1	1.0	—	81.9	—	—	16.0	—	—
	85	10	2.80	0.2 - 7.8	85.2	82.9	87.0	10.1	8.0	16.0
Pesado multi eje	50	3	1.8	0.3 - 3.0	81.6	79.6	83.3	9.9	6.0	12.8
	70	1	1.0	—	86.8	—	—	16.0	—	—
	85	11	3.20	0.2 - 7.8	88.3	84.2	91.0	10.1	8.0	16.0

### 8.3.4. Asfaltos de capa delgada

Estos asfaltos tienen un tamaño máximo de árido muy pequeño con el fin de conseguir un espesor de capa muy reducido. Las superficies con un espesor típico de unos 25 mm combinan los efectos positivos de los SMA y de los PA. Los asfaltos de capa delgada presentan una discontinuidad en los tamices inferiores del árido grueso (tamaño de árido 2-4 mm). Además este tipo de asfaltos pueden tener una textura similar a la superficie de los asfaltos SMA e incluso pueden contener un pequeño porcentaje de huecos no interconectados (en general de un 10%, pero puede llegar a ser de hasta un 20% como el de los asfaltos porosos).



Estas mezclas tiene un alto porcentaje de ligante, entre 4.5-6% e incluso mayor cuando se utilizan en su fabricación betunes modificados con polímeros. Para mantener una buena resistencia superficial, se utilizan agregados con un alto valor PSV.

- Las mezclas bituminosas discontinuas en capas delgadas pueden dividirse en tres subclases:
- Asfaltos de capa delgada (Asphalt Concrete for very Thin Layer TLAC): espesor 20-25 mm con un tamaño de árido máximo menor que 12 mm.
- Asfaltos de capa ultradelgada (Asphalt Concrete for Ultra Thin Layer UTLAC): espesor 12-20 mm.
- Asfaltos de microcapa: espesor 6-12 mm.

El proceso del extendido consiste en aplicar un riego de adherencia con ligante modificado con polímero sobre la base, antes de verterse la capa ultradelgada. Este tipo de asfalto se emplea en la reparación de pavimentos en mal estado (mantenimiento) y en carreteras y calles que no tengan mucho tráfico debido a que son asfaltos de bajo coste al tener que emplear solo una pequeña cantidad de asfalto para fabricar la capa de material. Como en el caso de los asfaltos porosos no es aconsejable su empleo ni en rotondas, ni en cruces. El único inconveniente es que debido al bajo espesor de la capa de asfalto es necesario que la capa inferior sea muy regular y homogénea.

La durabilidad es comparable a los asfaltos SMA y en cuanto a su comportamiento acústico, los asfaltos de capa delgada permiten una reducción acústica, respecto de una mezcla de hormigón bituminoso convencional, de 2-4 dBA en tramos de carreteras de baja velocidad y hasta 7 dBA en carreteras de alta velocidad.

### 8.3.5. Pavimentos poroelásticos

Un pavimento poroelástico (Poroelastic Road Surface, PERS) es aquel que tiene un alto contenido de huecos interconectados, a fin de facilitar el paso del aire y del agua, manteniendo una superficie elástica debido a que tiene como principal agregado gránulos o fibras de caucho (obtenidos a través de neumáticos reciclados) u otros productos elastómeros, y que a veces son complementados con arena, áridos u otros materiales.



Figura 8.21. Imagen de varios asfalto poroelásticos.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> (Fuente: Proyecto Europeo SILVIA).

### 8.3.5.1. Especificaciones del material

Los pavimentos poroelásticos están diseñados, generalmente, con un contenido de huecos de más del 20% en volumen (hasta un 40%) y con un contenido de caucho de más del 20% en peso (hasta un 95%). En los pavimentos poroelásticos construidos hasta la fecha, se usa como aglutinante (5-15% en peso) betún y poliuretano para mantener la mezcla compacta. Para fijar el pavimento a la base de la carretera se necesita emplear un aglutinante adicional, que puede ser el mismo utilizado para ligar la mezcla u otro, como por ejemplo, resinas epoxi.

### 8.3.5.2. Ventajas y desventajas

Las superficies poroelásticas son actualmente el tipo pavimento más sono-reductor debido a su alto coeficiente de absorción acústica, y a la baja generación de ruido producido en la interacción rueda/pavimento gracias a su alta porosidad y a la elasticidad del mismo. Las muestras ensayadas hasta el momento han conseguido reducir el ruido de tráfico rodante entre 5-15 dBA comparados con los asfaltos convencionales. Concretamente, en vías de tránsito de vehículos ligeros a velocidades de 50 km/h se produce una reducción del ruido de tráfico de 8-11 dBA, a una velocidad de 70 km/h el rendimiento aumenta y puede alcanzar los 15 dBA.

Respecto a la resistencia a la rodadura, tiene un comportamiento similar al de las mezclas convencionales. No se aprecia un desgaste significativo en el caso de las superficies poro-elásticas expuestas a tráfico. Las emisiones o desprendimientos de partículas son muy bajos, lo que provoca, incluso, un ambiente más saludable que en el caso de mezclas convencionales. Además, ni los frenazos ni los giros bruscos de las ruedas ponen en peligro la durabilidad de estas superficies.

Los materiales empleados hasta el momento en los pavimentos poroelásticos retienen el agua en la capa superficial, lo cual tenderá a reducir la porosidad del material durante la lluvia y, por lo tanto, se reducirían los beneficios acústicos en comparación con la superficie seca. La presencia de agua en la capa, también indica que se necesita un buen sistema de drenaje en las zonas subyacentes.

Como en el caso de los asfaltos porosos, debido a los huecos superficiales, el hielo se forma antes que en el caso de superficies con materiales densos; estas condiciones deben ser contrarrestadas mediante la prevención de hielo a través del empleo de sal.

En áreas donde las fuertes nevadas son más probables, el problema de mantenimiento durante el invierno es importante. Por ejemplo, el uso de máquinas quitanieves sobre este tipo de superficies puede causar serios daños, sobre todo si la superficie es desigual. Sin embargo, la máquina quitanieves probablemente puede ser ajustada de modo que se deje un espacio libre de unos pocos milímetros sobre la superficie, ya que es menos probable que la nieve y el hielo se adhieran a un pavimento poroelástico, y son eliminados mejor por el tráfico que en el caso de mezclas convencionales.

### 8.3.5.2. Datos típicos de mejora acústica

La figura siguiente muestra datos de rendimiento acústico de los pavimentos poroelásticos, basados en mediciones CPX y CPB del proyecto europeo SILVIA [30].

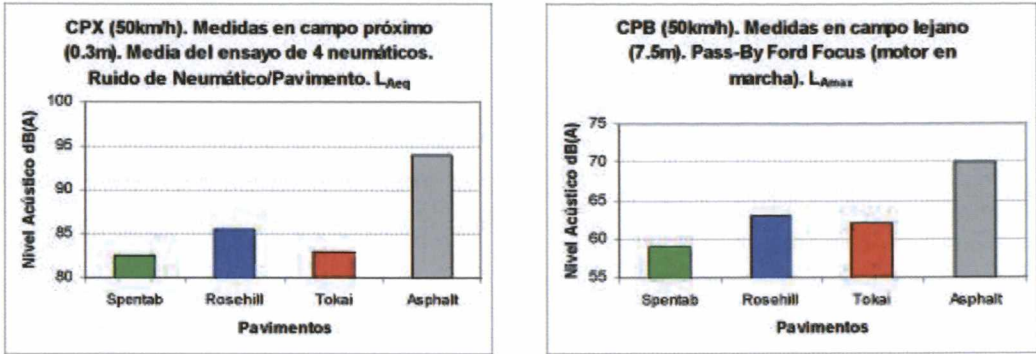


Figura 8.22. Datos de rendimiento acústico para diferentes pavimentos poro-elásticos.

### 8.3.6. Reducción acústica

En la tabla siguiente se muestran las reducciones de ruido medidas (valores medios y extrapolaciones [33]) de asfaltos como los comentados anteriormente, en comparación con un asfalto denso 0/16 para diferentes tipos de vehículos y de velocidades (hay que tener en cuenta que estos valores se reducen con el envejecimiento del pavimento):

Tabla 8.4. Datos de reducción acústica para diferentes tipos de asfalto, vehículos y velocidades

Tipo de Asfalto	Vehículos Ligeros			Vehículos Pesados	
	Velocidad (km/h)			Velocidad (km/h)	
	50	80	110	50	85
SMA 0/6	1.1	2.1	2.8	0.8	0.6
PA	-0.2	2	3.5	2	4.3
2L-PA	3.7	4.9	5.7	4.6	6.5
ACTL	4	5	7	5	6

### 8.4. Métodos de medida del ruido de rodadura

Un aspecto cada vez más importante en el desarrollo de asfaltos “silenciosos” es la definición y evaluación de sus características acústicas. Se pueden emplear varios métodos para tales fines: el método SPB, el método CPB, el método de proximidad o método CPX, la determinación de las características acústicas de absorción...

Para el estudio del ruido de rodadura, se ha desarrollado una metodología de trabajo completa basada en la evaluación y predicción de las diferentes características acústicas de los asfaltos, así como de los principales mecanismos que influyen en la generación del ruido de rodadura.



Además estos ensayos se pueden completar con el estudio de las propiedades intrínsecas de los materiales, dicho análisis se puede realizar mediante herramientas de ensayo y la utilización de modelos de predicción analíticos.

### 8.4.1. Método estadístico de paso (Método SPB)

El método estadístico de paso (SPB, Statistical Pass-By) es un método normalizado que viene recogido en la norma UNE-EN ISO 11819-1 [38]. El SPB es un método que se ha desarrollado para ser usado con dos propósitos principales:

- Clasificación de superficies, en condiciones aceptables, dentro de una tipología de acuerdo a su influencia en el ruido de tráfico.
- Evaluación de la influencia en el ruido de tráfico de superficies diferentes en lugares específicos con independencia de sus características y edad.

Este método es aplicable a situaciones de tráfico en las que la velocidad es constante, y las velocidades promedio de los vehículos en circulación son de 45 km/h y superiores. Para otras condiciones de circulación como son intersecciones, vías con regulación de semáforos, o situaciones de tráfico congestionado, este método no es aplicable para la clasificación de superficies, ya que la contribución de la superficie de carretera es inferior respecto a otras contribuciones como son el grupo motor-propulsor.

Cada vehículo se clasifica dentro de una de las categorías mostradas en la Tabla 8.5. Análogamente se definen tres categorías de velocidad en carretera, según la velocidad de circulación del tráfico. Estas categorías son baja, media y alta, cada una de las cuales lleva asociada una velocidad de referencia y que se muestran en la Tabla 8.6.

**Tabla 8.5 Clasificación por categorías de los vehículos que componen el tráfico**

Categoría 1	Coches	Coches de pasajeros excluyendo otros vehículos ligeros
Categoría 2 (Esta categoría consta de las categorías 2a y 2b)	(a) Vehículos pesados de dos ejes	Todos los camiones, autobuses con al menos dos ejes y más de cuatro ruedas.
	(b) Vehículos pesados multiejes	Todos los camiones, autobuses con más de dos ejes

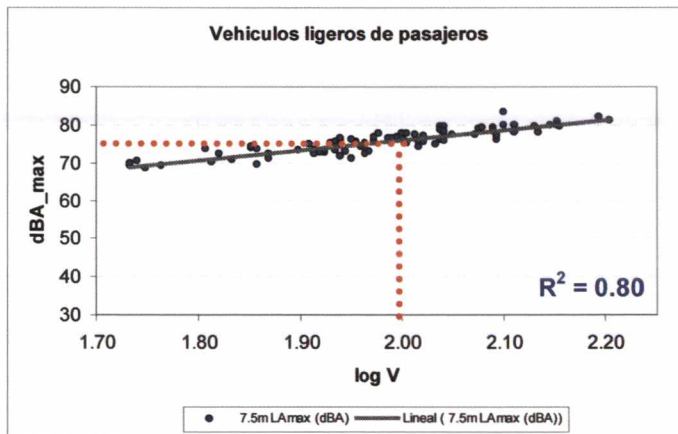
**Tabla 8.6 Clasificación por categorías de la carretera de acuerdo a la velocidad de circulación**

Categoría de velocidad en carretera	Velocidad de circulación comprendida entre	Velocidad de referencia asociada	
		Coches	Vehículos pesados (dos ejes y/o multi-ejes)
Baja	45- 64 km/h	50 km/h	50 km/h
Media	65-99 km/h	80 km/h	70 km/h
Alta	100 km/h o superior	110 km/h	85 km/h

Para la realización de la medida de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 11819-1 [38] se coloca un micrófono a 7.5 m de distancia respecto de la línea central del carril. La altura respecto del suelo del micrófono es de 1.2 m, aunque otras alturas de micrófono adicionales y que no están normalizadas, son recomendables. Así por ejemplo en la normativa holandesa, la altura del micrófono está fijada a 5 m, con el objetivo de eliminar efectos de propagación no deseados.

Al paso de cada vehículo acústicamente identificable, se registra el máximo nivel de presión sonora en A ( $L_{Amax}$ ) usando la ponderación F junto con su velocidad de circulación.

Para el análisis de los datos se realiza una regresión lineal entre los valores  $L_{Amax}$  de cada vehículo y el logaritmo decimal de la velocidad asociada a dicho vehículo. La regresión lineal se hará para cada categoría de vehículos individualmente, usando el método de mínimos cuadrados. En la figura siguiente se muestra un diagrama típico de resultados para la categoría de vehículos ligeros.



*Figura 8.23. Diagrama de puntos y recta de regresión resultado de un ensayo de SPB<sup>4</sup>*

A partir de la recta de regresión obtenida para cada categoría de vehículos y para la correspondiente velocidad de referencia para vehículos pesados, y para vehículos ligeros de pasajeros, se adopta como Nivel Sonoro del Vehículo  $L_{veh}$ . El nivel sonoro del vehículo se toma del eje de ordenadas que corresponde a la velocidad de referencia para cada categoría, según la recta de regresión ajustada para cada categoría de vehículos. De esta forma, para un determinado lugar de carretera se obtienen tres valores de  $L_{veh}$ : para coches, para vehículos pesados de dos ejes y para vehículos pesados multi-ejes.

Con el fin de obtener el nivel global de la influencia de la superficie de la carretera en el ruido del tráfico para una combinación de vehículos, se debe calcular el **Índice Estadístico del Paso**

<sup>4</sup> Fuente: Fundación CIDAUT.

(SPBI Statistical Pass By Index) tal y como se define en la norma UNE-EN ISO 11819-1 [38]. Este índice SPBI es el valor utilizado para la clasificación de la superficie de carretera entre sí.

### **Restricciones del método SPB**

Son varias las restricciones o limitaciones del método SPB, una de las más importantes es que solo caracteriza la superficie de pavimento en un punto. Para que los resultados de este ensayo sean representativos es necesario verificar que la superficie sea homogénea o bien realizar medidas en varios puntos diferentes a lo largo de la carretera.

Otra de las limitaciones del método SPB es que es muy restrictivo en cuanto a la elección del lugar de ensayo. Así por ejemplo establece como requisito que el lugar de la prueba debe extenderse al menos 30 m a ambos lados de la posición del micrófono, incrementándose esta distancia hasta 50 m para la categoría de velocidad en carretera alta. En estos tramos de ensayo la carretera ha de ser recta, plana y sin desnivel (menor que el 1%). Además el método SPB requiere que en lugar de ensayo se garanticen una serie de condiciones relativas a las condiciones de circulación del tráfico. Una de las más importantes es asegurar la distancia necesaria entre el paso de dos vehículos, de modo que se cumpla que en los instantes antes y después del paso del vehículo el nivel sonoro haya caído 6 dBA respecto al paso del vehículo anterior. Otra consideración es que la densidad del tráfico debe tener el suficiente número de vehículos de cada una de las categorías para poder realizar el análisis completo, un mínimo de 100 vehículos ligeros, 30 de dos ejes y 30 multi-ejes, siendo y la suma de vehículos de dos ejes y multi-ejes debe ser 80, como mínimo.

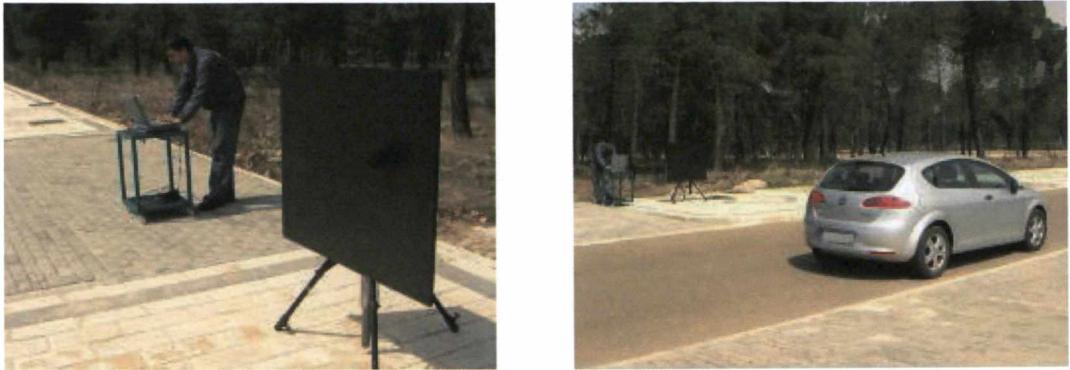
El requerimiento más difícil de cumplir es el relativo a la posición del micrófono que debe ser colocado en condiciones de campo libre, asegurando que no existen superficies reflectantes dentro de dos bandas de 10 m de ancho situadas a ambos lados de la posición del micrófono perpendicularmente a la vía.

Por último un hecho importante, y que no es mencionado en la norma, es el relativo a la caracterización del ruido de vehículos pesados. Para esta categoría de vehículos el método SPB parece adecuado, sin embargo, si atendemos a razones prácticas el método SPB es cuestionable y esto es debido a la relación entre la distancia de medida y la distancia de los vehículos pesados en combinación con el parámetro de medida del  $L_{A,max}$ . Se han medido diferencias de hasta 2 dBA entre los valores SEL (Single Event Level) y  $L_{A,max}$ , este hecho puede atribuirse a que los efectos de la directividad en los valores del SEL son más representativos para la medida del paso de vehículos pesados.

### **8.4.2. Método estadístico de paso – Variante Backing Board (Método SPB-BB)**

Esta metodología de ensayo es una variante del método SPB, y está basada en utilizar un micrófono incorporado en un panel rígido y reflectante al sonido con el fin de llevar a cabo mediciones de ruido en las cercanías de la carretera.





*Figura 8.24. Método de medida SPB-BB variante Backing Board<sup>5</sup>*

Teóricamente un micrófono integrado en un plano infinito totalmente reflectante al sonido con la membrana al nivel de la superficie debería experimentar un incremento del doble de la amplitud de la presión de la onda sonora incidente, lo que conduce a un aumento de 6 dB en comparación con la situación de campo libre [32].

La principal ventaja de esta variante -que introduce el incremento del nivel de presión acústica- es el completo blindaje del micrófono para cada fuente sonora y la reflexión situada en la parte posterior del plano. El conocido aumento de 6 dB se puede deducir de los niveles de ruido medidos, lo que es comparable con las mediciones en campo libre. De esta forma, se puede descartar la influencia de las fuentes de ruido perturbadoras o las reflexiones del sonido en los objetos, como los edificios o las barreras acústicas que a menudo se encuentran detrás del micrófono.

En la práctica se deben tener en cuenta algunas precauciones al aplicar el método SPB-BB. En primer lugar, el plano reflectante no puede ser infinito como en la teoría. En la mayoría de los casos, se utiliza un tablero de madera rectangular cuyos lados poseen una longitud de 0.5 a 1.5 m. Los bordes de esta placa producen difracciones de la onda sonora incidente, lo que puede provocar aumentos de nivel sonoro en distintos puntos de la superficie del tablero. Además, el tablero no será un perfecto escudo para el resto de fuentes de ruido o reflexiones que se producen detrás del micrófono.

Sin embargo, se puede alcanzar un rendimiento adecuado mediante la selección de un mínimo de difracción espacialmente, situado en una posición específica sobre la superficie del tablero (posición definida por Fégeant 1997, y aceptada en el proyecto europeo SILENCE [32]).

### **8.4.3. Método de paso controlado (Método CPB)**

Otro ensayo complementario a los anteriores para la medida de ruido de rodadura, es el conocido como método CPB, cuya finalidad es evaluar el efecto acústico que se produce sobre los ciudadanos al circular el vehículo sobre el pavimento. Este método de ensayo permite evaluar el ruido debido al

<sup>5</sup> Fuente: Fundación CIDAUT.

contacto entre el neumático y la superficie de la carretera a una distancia lejana, de esta forma además de valorar la generación se valora la propagación acústica. Este ensayo se basa en los métodos de ensayos descritos en la Directiva Europea 2001/43/CE [40] (basada en la realización del ensayo de pass-by).

La metodología de trabajo consiste en emplear un micrófono exterior que se sitúa a una distancia de  $7.5 \text{ m} \pm 0.05 \text{ m}$  de la línea de referencia  $CC'$  de la vía de ensayo y a una altura de  $1.2 \text{ m} \pm 0.02 \text{ m}$  respecto del suelo. El eje de mayor sensibilidad del micrófono se sitúa horizontal y perpendicular a la trayectoria del vehículo (línea  $CC'$ ). Los sensores de paso se colocan en las líneas  $AA'$  y  $BB'$ , de forma que al circular el vehículo se detecte el momento de inicio y final de paso del vehículo. El vehículo debe aproximarse a la línea  $AA'$  de manera que el plano longitudinal medio del vehículo esté lo más cercano posible a la línea  $CC'$ . Cuando la parte delantera del vehículo alcance la línea  $AA'$ , el vehículo deberá llegar con una velocidad constante y se registra el nivel de presión sonora máximo en dBA ( $L_{Amax}$ ) hasta que la parte trasera del vehículo alcance la línea  $BB'$ .

Se deben realizar al menos dos medidas por cada lado del vehículo, para comprobar la repetibilidad de los ensayos, si entre dos medidas consecutivas la diferencia es mayor que 2 dB, se debe rechazar la última medida realizada.

El ensayo según el método CPB se realiza a las velocidades de referencia, 50 km/h, 80 km/h y 110 km/h. En muchas ocasiones, por el tipo de vía y la velocidad habitual de circulación de los vehículos, el estudio se restringe a las velocidades de 80 km/h y 110 km/h.

La Figura 8.25 muestra las especificaciones mínimas que debe cumplir la pista de ensayo, así como un esquema básico de la metodología de trabajo con las distintas líneas de referencia y las distancias entre ellas.

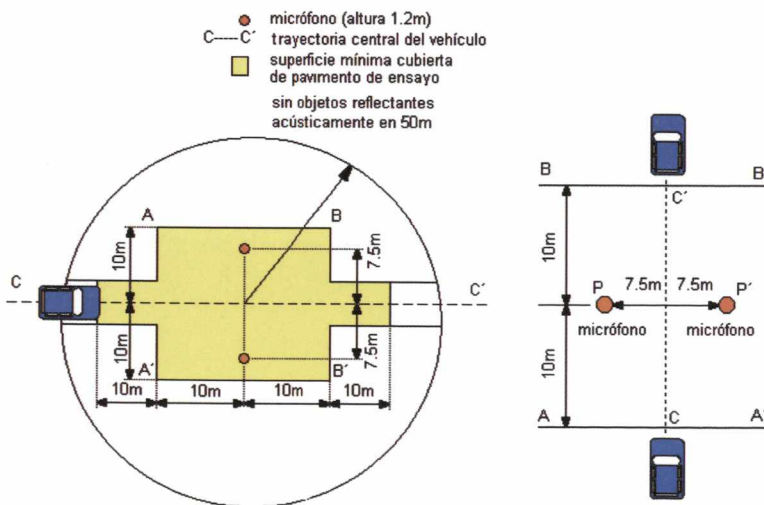


Figura 8.25. Características del tramo de ensayo

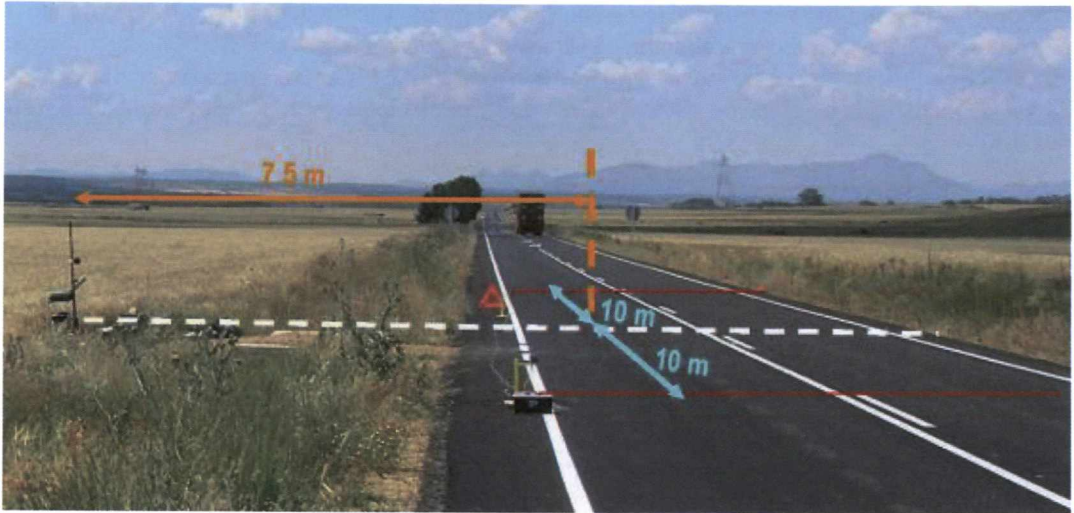


Figura 8.26. Ensayo CPB <sup>6</sup>

#### 8.4.4. Método de proximidad (Método CPX)

Otro ensayo complementario de la medida de ruido de rodadura, es el conocido como método de proximidad o método CPX, actualmente se está desarrollando la norma internacional *ISO/CD 11819-2* [39]. El método CPX está diseñado para evaluar las propiedades acústicas de las superficies de carretera mediante la medición del ruido de rodadura de un conjunto estándar de neumáticos de referencia, montados sobre un vehículo de ensayo, en al menos dos posiciones de micrófono ubicadas en las proximidades del contacto neumático/carretera.

Las ventajas principales de este método de ensayo son que las medidas se pueden tomar en localizaciones arbitrarias y de forma continua a lo largo de secciones de carretera, por eso este ensayo es una opción adecuada para la conformidad de producción y la evaluación acústica de asfaltos y neumáticos. También este procedimiento se puede utilizar para comprobar el estado de mantenimiento de los asfaltos, por ejemplo, el daño de la superficie, así como la limpieza de los asfaltos porosos.

El método CPX es mucho menos sensible a las condiciones de contorno, los ensayos se pueden realizar desde situaciones sin tráfico hasta situaciones de tráfico denso (aunque con velocidades de conducción estable), obteniéndose datos relevantes sobre toda la longitud de la superficie de carretera objeto de investigación.

Por razones económicas y prácticas, este método no se aplica en neumáticos diseñados para vehículos pesados. Se sabe que las características de emisión acústica de las superficies de carretera dependen de los neumáticos empleados, incluyendo si el neumático está diseñado para vehículos ligeros o pesados. Los resultados obtenidos con este método, por lo tanto, describen mejor las situaciones

<sup>6</sup> Fuente: Fundación CIDAUT.



cuando el sonido de los vehículos ligeros constituye la mayor parte del ruido del tráfico. Esto a menudo se produce cuando la proporción de vehículos pesados es menor que el 10%. Sin embargo, uno de los neumáticos de referencia posee características acústicas que se consideran similares a las de los neumáticos para vehículos pesados, por lo tanto, el efecto de éstos sobre la calzada también se considera.

En el método de proximidad o método CPX, los niveles promedio de presión sonora ponderada A emitidos por dos neumáticos de referencia se miden en una posición arbitraria de carretera o durante una determinada distancia de carretera con al menos dos micrófonos situados cerca del neumático, además se evalúa la velocidad del vehículo de ensayo.

Con este fin, es necesario disponer de un vehículo de ensayo sobre el que estén montados los neumáticos de referencia. Dicho vehículo de ensayo puede ser un vehículo autopropulsado especialmente diseñado o un remolque que es remolcado por otro vehículo sobre la superficie de prueba. Idealmente, el remolque o sistema de vehículo tiene que cumplir con el requisito de que la influencia del ruido de fondo y la construcción del vehículo no deberán influir en el nivel de ruido medido en las posiciones de micrófono definidas en más de 1 dB. Se han definido factores de corrección para contrarrestar los efectos relacionados con el diseño del vehículo que afectan a los resultados de medición hasta un máximo de 3 dB.

Los ensayos se realizan con el objeto de determinar el “Nivel de Ruido de Rodadura”,  $L_{tr}$ , a las velocidades de referencia (50 km/h, 80 km/h y 110 km/h), por lo tanto, los neumáticos ruedan libremente a velocidad constante sobre la superficie de carretera. Esto se puede lograr realizando las pruebas de ensayo a velocidades próximas a las velocidades de referencia o llevando a cabo el ensayo a través de una amplia gama de velocidades y utilizando un método apropiado para la normalización de las desviaciones de la velocidad.

Para cada neumático de referencia y cada test individual con ese neumático, se registran los niveles de ruido promedio de los dos micrófonos durante la medición de distancias cortas (segmentos de 20 m cada uno), junto con las correspondientes velocidades del vehículo. El nivel sonoro de cada segmento se normaliza a la velocidad de referencia mediante un simple procedimiento de corrección. Para obtener resultados fiables el promedio se realiza en al menos 200 m de longitud de superficie, ya sea con dos repeticiones en secciones de 100 m o diez repeticiones en secciones de 20 m. El nivel sonoro medio registrado -a la velocidad de referencia- por los dos micrófonos obligatorios se denomina “Nivel de Ruido de Rodadura”,  $L_{tr}$ . Habrá un valor de  $L_{tr}$  para cada neumático y cada velocidad de ensayo.

Se ha descrito el “Close-Proximity Sound Index (CPXI)” como el valor que define las características acústicas de la calzada y se utiliza para hacer las oportunas comparaciones de superficies de carretera.

El proyecto de norma ISO/CD 11819-2 [39] especifica un mínimo de dos posiciones de micrófono en las cuales se debe medir el ruido. Los micrófonos se deben colocar a 100 mm ( $\pm 20$  mm) respecto del suelo y a 200 mm ( $\pm 20$  mm) del flanco del neumático de referencia. El micrófono delantero se debe montar con un ángulo de 45° respecto de la dirección de rodadura del neumático, mientras que el micrófono trasero está situado a 135° de la dirección de rodadura. Un tercer micrófono adicional,

micrófono central, se coloca enfrentado al flanco del neumático, formando un ángulo de  $90^\circ$  respecto de la dirección de rodadura, a  $100\text{ mm}$  ( $\pm 20\text{ mm}$ ) del suelo y a  $200\text{ mm}$  ( $\pm 20\text{ mm}$ ) del flanco del neumático de prueba. Es posible correlacionar los niveles de ruido con la velocidad del vehículo de ensayo mediante un sistema de medida de velocidad sincronizado.

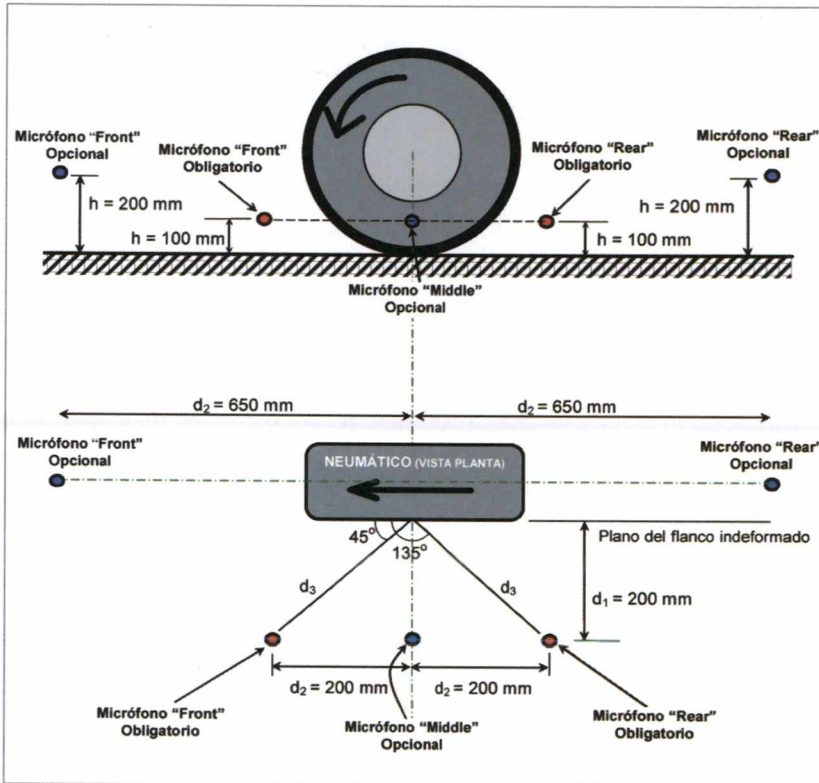


Figura 8.27. Posiciones de los micrófonos en el ensayo CPX

El procedimiento de medición contempla la caracterización de las condiciones ambientales (temperatura ambiental, humedad relativa...), de vehículo y de neumático (presiones de inflado, estado de los neumáticos...).

Alternativamente, con fines de investigación, se ha desarrollado un procedimiento experimental de medida basado en el método de proximidad para evaluar el ruido de la interacción neumático/carretera. La metodología desarrollada consiste en realizar rampas de deceleración sobre diversas secciones de una carretera. El vehículo de prueba se deja libre a una velocidad aproximada de  $110\text{ km/h}$ , de forma que circule según su propia inercia. Durante el ensayo se registra el nivel de presión sonora, para una amplia gama de velocidades.



*Figura 8.28. Ensayo CPX<sup>7</sup>*



*Figura 8.29. Ensayo CPX con trailer<sup>8</sup>*

## 8.5. Caracterización de las propiedades intrínsecas de los pavimentos que influyen en el control del ruido de rodadura

### 8.5.1. Medida de la absorción acústica

Existen actualmente dos métodos para la medida “in situ” del coeficiente de absorción de las superficies de carretera. El primer método usa el tubo Kundt o tubo de impedancias, el segundo es conocido como el método de superficie extendida. La aplicación de uno u otro depende de las características de absorción de cada superficie. Mientras que con el método de la superficie extendida se obtienen buenos resultados para superficies donde los valores de absorción son elevados, no es un método fiable para la medida de absorción de superficies reflectantes. Por el contrario, el método de tubo de Kundt, es muy adecuado para caracterización de superficies reflectantes, aunque falla para el caso de las superficies cuya absorción es elevada. Se puede decir que son métodos complementarios por lo que se hace necesario identificar, en cada caso, el método de medida adecuado para cada superficie de carretera.

El mismo principio de medida en tubo de Kundt se puede usar para la medida del coeficiente de absorción en laboratorio. Esta medida se realiza a partir de muestras de pavimento de 100 mm realizadas específicamente para tal fin, o mediante la perforación y extracción de las muestras de la propia superficie.

#### 8.5.1.1. Método de superficie extendida para la medida “in situ” de superficies absorbentes

Este método está recogido en la norma ISO 13472-1 [41] que describe un método para la medida “in situ”, del coeficiente de absorción acústica para superficies de carretera en función de la frecuencia (250 a 4 kHz) y bajo condiciones de incidencia normal. Este método prevé una forma de evaluar las características de absorción sin daño para la superficie y que puede ser aplicable durante la construcción de carreteras, durante operaciones de mantenimiento y para el estudio acústico de diferentes vías.

<sup>7</sup> Fuente: Fundación CIDAUT

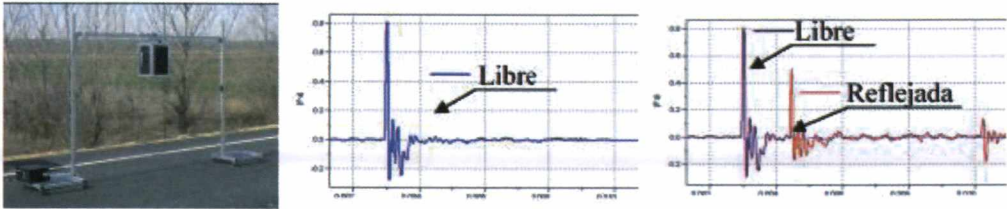
<sup>8</sup> Fuente: CEDEX.



Los resultados de este método son comparables en el rango de 315 a 1600 Hz, con los resultados obtenidos en el tubo de impedancias a partir de muestras de 100 mm de diámetro, tomadas directamente de la propia superficie de carretera mediante extracción o perforación (normas UNE-EN ISO 10534-1 [36] y 10534-2 [37]). Los resultados de este método no son comparables con los resultados medidos con el método de reverberación en sala (UNE-EN ISO 354 [44]), ya que este método emplea un campo difuso, mientras que el método de superficie extendida supone un campo direccional.

El método consiste en colocar una fuente sonora direccional sobre la superficie de prueba situando un micrófono entre la fuente y la superficie.

El método de medida se basa en la **evaluación de la función de transferencia o función impulso** entre la salida del generador de señal y la salida del micrófono.



**Figura 8.30. Dispositivo de medida. Funciones impulso obtenidas en el ensayo de absorción de superficie extendida <sup>9</sup>**

En la función impulso se identifican claramente dos componentes: la **componente directa** ( $h_i$ ) que es debida al sonido que incide en el micrófono directamente desde el altavoz, y la **componente reflejada** ( $h_r$ ) que constituye la componente del sonido reflejada por la superficie y que se identifica un tiempo después que dependerá de la distancia relativa entre fuente-micrófono-superficie y la temperatura ambiente.

El método de cálculo requiere conocer cada una de las componentes -directa y reflejada- por separado, por tanto es necesario realizar la medida de una configuración en libre. Mediante la técnica de substracción de señales y aplicando la ventana temporal adecuada, es posible separar en el dominio temporal ambas componentes.

Una vez separadas ambas componentes, utilizando la transformada de Fourier ( $H_r(f)$  y  $H_i(f)$ ) se calcula la absorción acústica, aplicando la siguiente expresión

$$\alpha(f) = 1 - Q_w(f) = 1 - \frac{1}{K_r^2} \cdot \left| \frac{H_r(f)}{H_i(f)} \right|^2 \tag{Ecuación 8.1}$$

<sup>9</sup> Fuente: Fundación CIDAUT

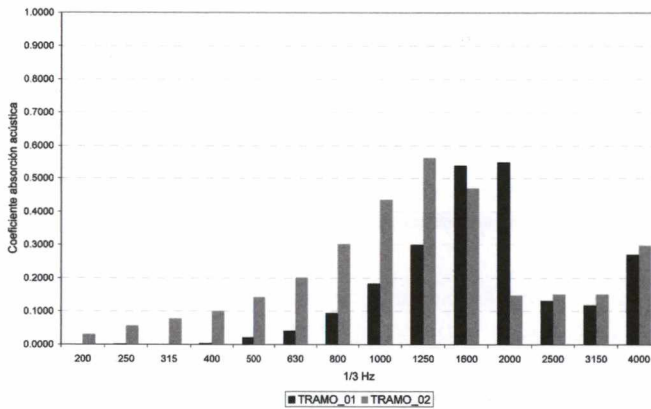
donde el factor  $K$  introduce las correcciones geométricas oportunas por las distancias relativas entre los diferentes elementos.

$$K_r = \frac{d_s - d_m}{d_s + d_m} \quad \text{Ecuación 8.2}$$

donde:

$d_s$  es la distancia entre fuente sonora y la superficie (1.25 m)  
 $d_m$  es la distancia entre el micrófono y la superficie (0.25 m).

La imagen siguiente muestra un resultado típico del coeficiente de absorción obtenido con el método de superficie extendida para dos superficies de carretera monocapa.



**Figura 8.31. Resultados coeficiente absorción en función de la frecuencia para el método de superficie extendida**

### 8.5.1.2 Método puntual para la medida “in situ” de superficies reflectantes

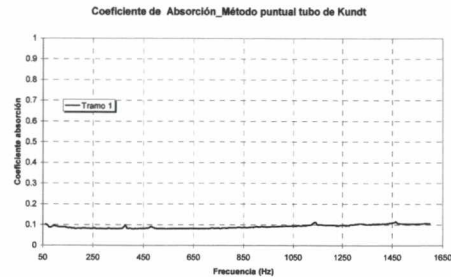
Para complementar el método anterior, existe un método puntual que está en proceso de desarrollo y que será recogido en la parte 1 de la norma ISO 13472 [41]. Está basado en el mismo procedimiento y procesado de la señal que el descrito en la norma UNE-EN ISO 10534-2 [37] para la medida del coeficiente de absorción y la impedancia acústica con tubo de impedancias. Este método de medida está diseñado principalmente para superficies de carretera con bajos coeficientes de absorción, y no son fiables los resultados para aquellas superficies donde el coeficiente de absorción medido exceda de 0.15. Las superficies con valores mayores que 0.10 serán consideradas como no reflectantes.

La medida de la impedancia “in situ” -en firmes de carretera- se realiza empleando un útil especial que adapta el tubo de impedancia a la superficie de la calzada, y no es necesaria la perforación del

pavimento. La unión entre el útil y la superficie de asfalto ha de sellarse para asegurar que el acoplamiento entre tubo y superficie sea hermético. El rango de frecuencias para este método -con los tubos comerciales actualmente existentes (diámetro de 100 mm)- es de 50 a 1600 Hz. En la figura siguiente se muestra una imagen del montaje del tubo de Kundt y una gráfica con el resultado obtenido.



*Figura 8.32. Imagen de una medida de un asfalto denso tipo*

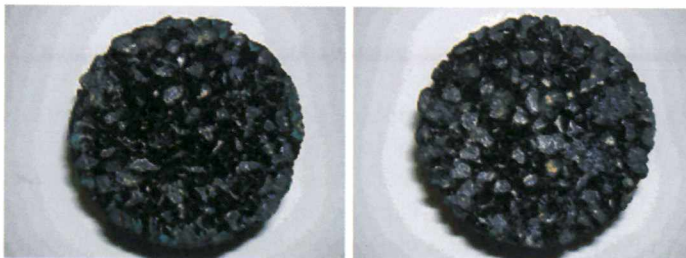


*Figura 8.33. Medida de la curva de absorción acústica de un asfalto tipo S12*

### 8.5.1.3. Método del tubo de Kundt para la medida de absorción en laboratorio

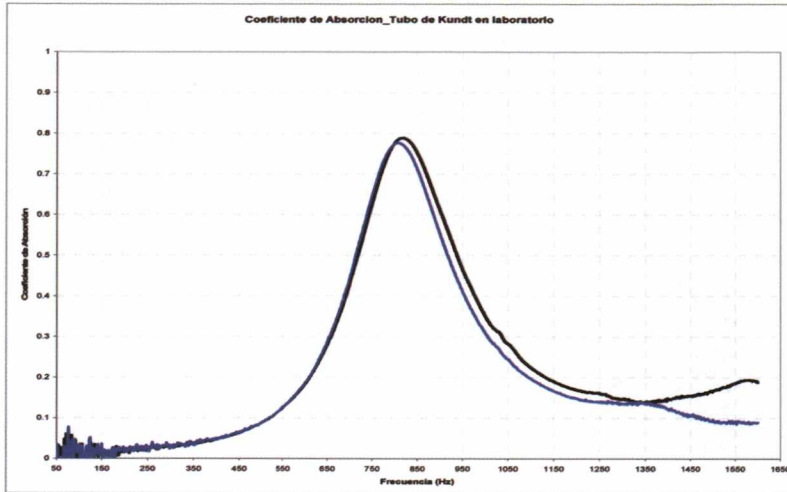
El procedimiento de medida de absorción en laboratorio se realiza con el tubo de impedancia o tubo de Kundt y está recogido en las normas UNE-EN ISO 10534-1 [36] y UNE-EN ISO 10534-2 [37]. La adquisición y procesado de datos se hace de forma similar a la utilizada en el método “in situ” donde se emplea el tubo de Kundt. Este método se utiliza en procesos de diseño de nuevas mezclas, ya que permite medir los valores de absorción de diferentes pavimentos con muestras de pequeño tamaño. También puede ser utilizado para la verificación de las propiedades de absorción de las superficies de pavimentos una vez que han sido extendidas. Sin embargo, al tratarse de un método que daña la superficie, no es habitual su uso.

Los resultados obtenidos en laboratorio son comparables a los métodos “in situ” en el rango de frecuencias de 315 a 1600 Hz. La figura siguiente muestra las probetas y las curvas típicas para un ensayo de este tipo.



*Figura 8.34. Probetas de ensayo para el ensayo de absorción acústica con tubo de Kundt*





*Figura 8.35. Resultados para el ensayo de absorción acústica en laboratorio con tubo de Kundt*

### 8.5.2. Medida de la impedancia mecánica

Para asfaltos convencionales, la rigidez caracterizada por la impedancia mecánica en general no se considera como un parámetro importante, ya que, por lo general, la impedancia mecánica de la carretera es superior en varios órdenes de magnitud a la impedancia de la goma de la banda de rodadura de los neumáticos. Sin embargo, con el desarrollo continuo de pavimentos elásticos, como los asfaltos poro-elásticos, se ha detectado la necesidad de determinar “in situ” las características de rigidez de estos tipos de superficies.

La medida de la rigidez dinámica, o la impedancia mecánica, del firme de una carretera se realiza aplicando un impacto sobre la superficie de la misma y registrando su respuesta vibratoria. Actualmente no hay ningún procedimiento estándar para este tipo de medición; no obstante, en el proyecto europeo SILVIA [30] se ha desarrollado un método de ensayo y un aparato de medida para este fin.

Este sencillo procedimiento de ensayo ha sido puesto en práctica a través de dos tipos de sistemas de medida:

El primero se realiza midiendo en el mismo punto donde se produce el impacto.

El segundo sistema se hace midiendo desde distancias fijas en el plano horizontal al punto donde se produce el impacto. El aparato de medida consiste en un plato de aluminio con un diámetro de 40 mm y una altura de 10 mm, un sensor de fuerza que está montado en la parte superior del plato y un acelerómetro colocado en el interior de una cápsula situada en la parte superior del sensor de fuerza. Se golpea con un martillo de impedancia la cápsula, donde se encuentra el acelerómetro, para lograr una medida sincronizada y alineada de la fuerza y la velocidad. La Figura 8.36 muestra el aparato desarrollado para tal fin.



*Figura 8.36. Método de medida de la impedancia mecánica “in situ” y detalle del útil de ensayo*

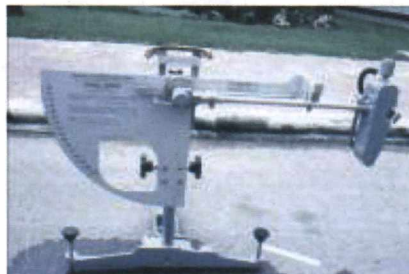
### 8.5.3. Medida de la textura

Es interesante evaluar la relación entre la precisión de la medida y el tiempo empleado en realizarla, para ello se han ido desarrollando diferentes métodos de medida, directa e indirecta, cada vez más sofisticados y apoyados en el desarrollo tecnológico.

#### 8.5.3.1. Microtextura

Para realizar la medida directa de la microtextura –magnitudes muy pequeñas- sería necesario emplear equipos de alta precisión, por ello la microtextura se caracteriza a partir de medidas indirectas.

Una propiedad indirecta que está altamente ligada con la microtextura es la fricción. Un método usado para la caracterización de la fricción de pavimentos es el método del péndulo británico. El ensayo consiste en medir la pérdida de energía que experimenta un péndulo normalizado al caer desde la horizontal. El extremo inferior está provisto de una zapata de goma, que interactúa con la superficie de medida de acuerdo al rozamiento existente entre ambas superficies. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de oscilación del péndulo. El valor de la lectura adimensional obtenido en el panel de escala de medidas, corresponde directamente al Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) o British Pendulum Number (BPN).



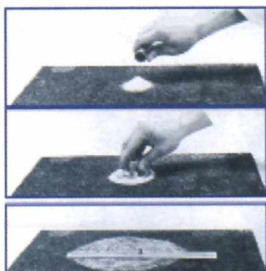
*Figura 8.37. Imagen del péndulo británico*

### 8.5.3.2. Macrotextura

La macrotextura del pavimento se puede medir de manera directa o indirecta mediante tres métodos diferentes:

**Método volumétrico:** Mide el parámetro MTD (Mean Texture Depth). El procedimiento de medida viene regulado por la norma UNE-EN 13036-1 [45]. Se utiliza para medir texturas que se encuentren en un rango entre 0.25 mm y 5 mm).

Este método consiste en dispersar un volumen conocido de arena fina ( $25 \text{ cm}^3$ ) en la superficie cuyo MTD se quiere conocer, intentando generar un área circular donde la arena enrase perfectamente los huecos que puedan existir en la superficie. Esta operación debe realizarse con un disco especial, asegurándose de que la arena se distribuya correctamente en el círculo, enrasándola perfectamente. El parámetro MTD se obtiene como el cociente entre el volumen y la superficie circular que ocupa la arena. La nueva normativa recomienda el uso de partículas de cristal calibradas en lugar de arena.



*Figura 8.38. Método de medida volumétrico con el círculo de arena*

**Método perfilométrico:** Mide el parámetro MPD (Mean Profile Depth). El procedimiento de medida viene regulado por la norma UNE-EN ISO 13473-1[47]. Se utiliza para medir texturas en un rango entre 0 mm y 5 mm. Para realizar esta medida se utiliza un perfilómetro láser.



*Figura 8.39. Perfilómetro láser del CEDEX<sup>10</sup>.*

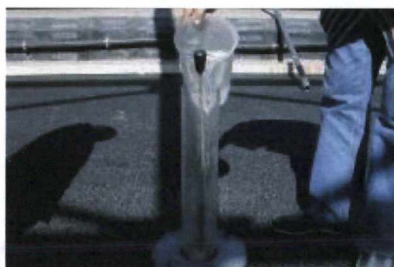
<sup>10</sup> Fuente: CEDEX



El equipo permite realizar las mediciones circulando por la carretera y puede registrar los perfiles longitudinales y transversales del pavimento. Otra ventaja que posee este método es que puede determinar de manera continua la profundidad de textura así como detectar problemas relacionados con la regularidad transversal de los firmes.

**Método drenante.** Mide la capacidad de drenaje. El procedimiento de medida viene regulado por la norma UNE-EN 13036-3[46]. Se utiliza para medir texturas en un rango entre 0 mm y 0.4 mm.

Se utiliza un cilindro de 400 mm de alto y 50 mm de diámetro, lleno de agua y dotado con un anillo de goma en su base, se le ubica sobre la superficie a medir y se registra el tiempo que transcurre entre dos niveles determinados.



*Figura 8.40. Método de medida de la drenabilidad de un pavimento*<sup>11</sup>

### 8.5.3.3. Megatextura

Como se ha comentado anteriormente la presencia de megatextura en el pavimento produce la excitación del neumático en el rango de baja frecuencia produciendo la emisión acústica por radiación del neumático. La medida de la megatextura se realiza con perfilómetros láser como en la medida de la macrotextura.

### 8.5.4. Medida de la resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura de un neumático puede medirse directamente en la carretera o en el laboratorio. Los métodos de medidas en carretera miden la fuerza necesaria para arrastrar los neumáticos a una velocidad constante y son: el método coast-by, el método “rodando por una colina” (“rolling down the hill”), el método del par de conducción, el método de velocidad máxima y el método del vehículo remolcado. Lógicamente los métodos realizados en laboratorio son más fáciles de reproducir y aportan datos más homogéneos pero sin tener en cuenta la influencia debida a la superficie de la carretera.

Otro método indirecto de medida de la resistencia a la rodadura consiste en evaluar el consumo de combustible del vehículo. La resistencia a la rodadura influye directamente en el consumo de combustible de un vehículo y, por lo tanto, tiene un impacto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el efecto invernadero y otros contaminantes. Como regla general, las diferencias existentes entre un máximo y un mínimo en la resistencia a la rodadura implica una diferencia de 1/4 en el consumo de energía del vehículo (y, por lo

<sup>11</sup> Fuente: CEDEX

tanto, en la emisión de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y partículas finas). Así, una diferencia en la resistencia a la rodadura del 32% representa una disminución del 8 % en el consumo de combustible.

Durante muchos años los remolques diseñados para mediciones de fricción se utilizaron también para medidas de resistencia a la rodadura, aunque para este caso, este método no es muy preciso.

El primer remolque especialmente diseñado para mediciones de resistencia a la rodadura fue construido en los años ochenta por el Centre de Recherches Routieres (CRR) en Bélgica. La Universidad Técnica de Gdansk (TUG), como parte del proyecto europeo SILVIA [30], ha diseñado y construido un remolque para la medida de la resistencia a la rodadura basado en un principio de construcción similar al del CRR, como se muestra en la Figura 8.41.

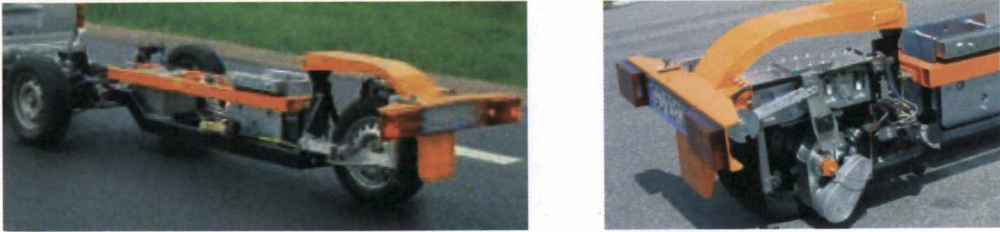


Figura 8.41. Equipo de medida de la resistencia a la rodadura de una superficie <sup>12</sup>

El equipo de medida consiste en un remolque con dos ruedas delanteras con funciones de apoyo y estabilización, y una rueda de ensayo ubicada en la parte trasera. Las ruedas delanteras son autodirigidas, por lo que el remolque sigue el camino del vehículo que lo remolca. El sistema de frenado hidráulico actúa exclusivamente sobre las ruedas delanteras. La rueda de ensayo va montada en un sistema de doble brazo descrito en la Figura 8.42. La fuerza de resistencia a la rodadura actúa sobre la rueda de ensayo inclinando el brazo “4” y conformando un ángulo  $\Theta$  con el brazo “1”, este ángulo medido mediante sensores inductivos permite determinar la resistencia a la rodadura. Los resultados se corrigen teniendo en cuenta la aceleración/desaceleración del remolque y la inclinación del brazo “1” en relación con el plano horizontal.

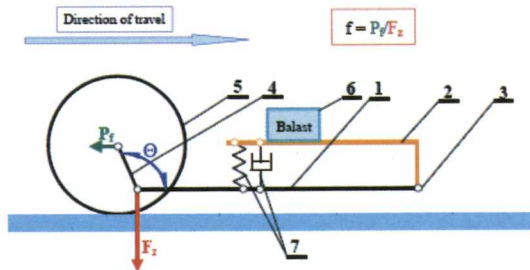


Figura 8.42. Principio de funcionamiento del equipo de medida <sup>13</sup>

<sup>12</sup> Fuente: Proyecto Europeo SILVIA

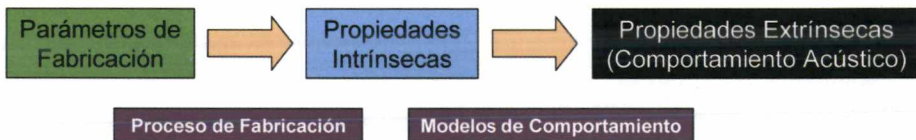
<sup>13</sup> Fuente: Proyecto Europeo SILVIA

El actual interés en la mejora de la calidad del aire y la disminución de la contaminación pueden provocar que en un futuro próximo se demanden carreteras con baja resistencia a la rodadura, lo que hará necesario un sistema de medición fiable. Por el momento no se ha previsto la normalización de estos métodos de ensayo.

### 8.5.5 Determinación de la porosidad, tortuosidad y resistividad al flujo estático de aire

El comportamiento acústico (propiedades acústicas extrínsecas) de los materiales porosos, como por ejemplo la absorción acústica, está determinado por su estructura microscópica, pero debido a que este tipo de materiales, en general, no tienen una estructura homogénea, se estudian en base a su estructura macroscópica que es homogénea y que está compuesta por una fase sólida y otra fluida ([1]). Esta estructura macroscópica está determinada por las propiedades intrínsecas del material que se relacionan con las propiedades acústicas extrínsecas por medio de complejos modelos matemáticos de comportamiento.

Estas propiedades intrínsecas son inherentes al material, es decir, no dependen de la geometría, ni de la frecuencia, ni del espesor, sólo están condicionadas por los parámetros de fabricación y son las que determinan el comportamiento acústico de los materiales. En el caso de los asfaltos los parámetros de fabricación serían la granulometría, el porcentaje de filler, el ligante, el porcentaje y tipo de betún, el porcentaje de huecos... En la siguiente figura se muestra la interrelación que existe entre los dos tipos de propiedades y los parámetros de fabricación:



*Figura 8.43. Diagrama de interrelación*

En los materiales porosos se producen tres tipos de transmisión de ondas (en el caso de materiales sólidos sólo las dos primeras):

- Compresión del marco estructural: ondas longitudinales vibratorias.
- Cortante del marco estructural: ondas de flexión vibratorias.
- Compresión del fluido en el material: ondas longitudinales acústicas.

El comportamiento de estos tipos de ondas en los materiales porosos está condicionado por 14 propiedades:

- Propiedades del fluido (5):
  - Densidad del fluido,  $\rho_0$
  - Velocidad del sonido en el fluido,  $c_0$
  - Viscosidad cinemática,  $\nu_0$
  - Constante adiabática,  $\gamma$
  - Número de Prandtl,  $N_{Pr}$



- Propiedades intrínsecas mecánicas del material (4), poroso o no:
  - Densidad másica,  $\rho$
  - Modulo de Young,  $E$
  - Coeficiente de Poisson,  $\nu$
  - Loss factor,  $\eta$
  
- Propiedades intrínsecas acústicas del material poroso (5):
  - Resistividad al flujo estático de aire,  $\sigma$
  - Porosidad,  $\phi$
  - Tortuosidad,  $\alpha_\infty$
  - Longitud característica viscosa,  $\Lambda$
  - Longitud característica térmica,  $\Lambda'$

Los materiales porosos se pueden clasificar, de forma general, según su comportamiento en: porosos elásticos, porosos ligeros y porosos rígidos. Existen multitud de modelos matemáticos que describen el comportamiento acústico de estos materiales, modelo de Delany Bazley, modelo de Mechel, modelo Hamet, modelo de Johnson-Champoux-Allard, modelo de Biot-Allard, etc. En función de la complejidad del modelo, es decir, del tipo de hipótesis simplificadoras del problema (estructura deformable o no,...), utilizan más o menos propiedades intrínsecas para describir el comportamiento de los materiales. En función de la naturaleza del material que se quiera estudiar se elegirá el modelo adecuado.

En el caso de pavimentos porosos de estructura rígida, como son gran parte de los asfaltos, el modelo fenomenológico de Hamet que aparece en los textos [3] [7] [17] predice bien su comportamiento acústico. Este modelo, debido a que se emplea para materiales rígidos, no depende de las propiedades intrínsecas mecánicas, y es función de las propiedades del fluido y de sólo tres propiedades intrínsecas acústicas (no incluye la longitud característica térmica ni viscosa como ocurre en el caso del modelo de Biot-Allard, [1]):

La porosidad,  $\phi$ , (adimensional): es la fracción de volumen de material ocupada por aire. No tiene en cuenta el aire que pueda estar encerrado por la estructura del material, sólo los huecos por dónde puede circular el aire. Si  $V_{\text{fluido}}$  es el volumen de aire y  $V_{\text{material}}$  es el volumen total del material poroso, entonces se define la porosidad como:

$$\phi = \frac{V_{\text{fluido}}}{V_{\text{material}}} \quad 1 \geq \phi \geq 0 \quad \text{Ecuación 8.3}$$

La porosidad  $\phi$  de materiales acústicos típicos, como las espumas, normalmente es muy alta, mayor de 0.9, pero en el caso de los asfaltos es menor de 0.25.

La tortuosidad  $\alpha_\infty$ , (adimensional): es una medida geométrica de la desviación entre el camino seguido por la onda acústica y el camino directo (espesor) y es equivalente al factor estructural ( $ks$ ). Está relacionada con la resistencia eléctrica de un material poroso no conductor saturado con un electrolito.

$$\alpha_\infty \geq 1$$

Los asfaltos porosos tienen en general un tortuosidad entre 3.5 y 8.0.

La resistividad al flujo estático de aire,  $\sigma$ , (Rayls/m o  $\text{Ns/m}^4$ ): es la resistencia al flujo de aire cuasi-estático a través de los poros del material, es decir, el retraso por fricción entre el aire y el esqueleto del material (disipación viscosa del sonido). Si  $\Delta p$  es la variación de presión,  $\Delta x$  es el camino recorrido y  $v$  es el flujo de aire por unidad de área. La resistividad al flujo estático de aire se define como:

$$\sigma = \frac{1}{8} \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad \sigma > 0 \quad \text{Ecuación 8.4}$$

donde  $v = q_v/A$ , siendo  $q_v$  es el caudal volumétrico de aire que entra en el material y  $A$  es su área.

La resistividad al flujo estático de aire de materiales acústicos varía mucho, el rango de valores para los asfaltos porosos con una porosidad de entre 0.1 y 0.2 estaría entre 10000 y 60000  $\text{Ns/m}^4$ .

Cada una de estas tres propiedades intrínsecas acústicas se puede medir experimentalmente [22] [24], la porosidad por medio de un picnómetro o porosímetro, la tortuosidad por procedimientos electrolíticos o por ultrasonidos, etc. y la resistividad mediante un equipo diseñado de forma específica. También se pueden determinar con un método indirecto [13] [14] [15], que consiste en medir la absorción acústica del pavimento monocapa para varios espesores mediante el tubo de Kundt bajo la norma UNE-EN ISO 10534-2 [36] y posteriormente, mediante el programa CARAM (CARacterización Acústica de Materiales), desarrollado en la Fundación CIDAUT, obtener las propiedades acústicas intrínsecas.

Este programa, basado en el método de las matrices de transferencia, consiste en la minimización de funciones que incluyen las ecuaciones de los modelos matemáticos de predicción del comportamiento acústico de materiales porosos (modelo acústico de fluido equivalente de Johnson-Champoux-Allard y el modelo de Hamet) teniendo en cuenta los valores de las curvas de absorción acústica medidas experimentalmente, además de la presión y temperatura a las que se realizaron las medidas.

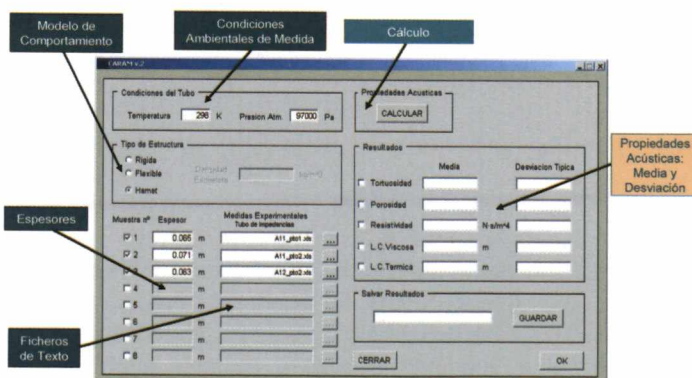


Figura 8.44. Interfaz del programa CARAM<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Fuente: Fundación CIDAUT

## 8.6 Herramientas para la simulación del ruido de rodadura

Uno de los métodos que existen para entender los mecanismos físicos del ruido de rodadura, además de los ensayos experimentales, es la simulación vibroacústica mediante el empleo de modelos matemáticos, de esta forma se pueden distinguir los diferentes mecanismos y evaluar la influencia de los mismos en el ruido final emitido.

A la hora de hacer las predicciones vibroacústicas es preciso analizar los resultados, las hipótesis y las simplificaciones realizadas durante todo el proceso de cálculo.

A continuación se presentan los modelos matemáticos de los pavimentos porosos y de la interacción del neumático/pavimento.

### 8.6.1 Modelo acústico del pavimento

Empleando programas de cálculo basados en la teoría de los elementos finitos, o de los elementos de contorno o mediante programas analíticos, se puede predecir el comportamiento acústico de los pavimentos mediante la simulación vibroacústica. Por tanto se pueden diseñar pavimentos para que tengan unas propiedades acústicas deseadas (mayor absorción acústica, baja rigidez,...) teniendo en cuenta los requerimientos particulares de cada uno de los sistemas que forman parte del ruido de rodadura, como son el tipo de carretera, tipo de vehículo y las condiciones meteorológicas de la zona y a su vez controlando los parámetros iniciales de fabricación y en consecuencia de las propiedades intrínsecas de los materiales, número de capas, espesores de cada capa...

En dichos tipos de programas de cálculo están implementados diversos modelos matemáticos teóricos de materiales sólidos (acero, aluminio, asfaltos, hormigón,...), porosos (espumas, tejidos, asfaltos porosos, hormigones porosos,...) y fluidos (aire, agua,...). A continuación se describen los principales modelos de materiales porosos que se utilizan para predecir el comportamiento de los materiales a partir de sus propiedades intrínsecas. La clasificación se ha realizado en función de la estructura y de la forma de actuar frente a una excitación vibro-acústica [1] [13] [14]:

#### 8.6.1.1 Materiales poro-elásticos

Se trata de materiales porosos donde la rigidez de la estructura sólida es importante dentro del comportamiento vibro-acústico del material, es decir, cuando la estructura es muy elástica y vibra notablemente al igual que las partículas de aire confinado. En este caso se emplean modelos teóricos que permitan contemplar el grado de acoplamiento acústico entre el aire y la estructura, lo que es fundamental para entender el mecanismo de absorción del material, y la propagación de la onda en la estructura y en el aire confinado. Los modelos teóricos de estos materiales porosos están formulados según propiedades macroscópicas de la estructura y del fluido, las cuales se pueden considerar como componentes separados (modelización a escala macroscópica homogénea). El modelo matemático se basa en la teoría de Biot para medios porosos elásticos, y es necesario conocer las 14 propiedades. Las ecuaciones que se suelen utilizar para estos materiales de esqueleto deformable con acoplamiento entre fases son las del modelo de Biot-Allard.



### 8.6.1.2 Materiales porosos ligeros

Son materiales fibrosos donde las ondas transmitidas en el marco estructural no son importantes dentro del comportamiento vibro-acústico del material. Se consideran “flexibles”, es decir, su esqueleto (estructura) apenas vibra ante las ondas acústicas, y tan sólo las ondas longitudinales transmitidas en el aire interior son importantes.

Se puede disgregar el comportamiento estructural mecánico y tener en cuenta sólo el comportamiento de las ondas acústicas en su seno, por lo tanto solo requiere las propiedades que afectan al fluido (5 variables fácilmente medibles), las propiedades estructurales acústicas del material (5 variables) y la densidad másica del material (no son necesarias el resto de propiedades estructurales mecánicas).

### 8.6.1.3 Materiales porosos rígidos

Son materiales donde las ondas transmitidas en el marco estructural no interactúan con el comportamiento vibro-acústico del material. En ellos la onda acústica no puede hacer vibrar al esqueleto estructural y la absorción del material no tiene relación con las propiedades mecánicas del material. Se pueden considerar rígidos.

El modelo matemático requiere las propiedades que afectan al fluido y el comportamiento del fluido en el sólido, pero no necesita la densidad másica del material.

El hecho de no necesitar las propiedades estructurales del material para determinar el modelo de absorción, no quiere decir que, cuando se quiera estimar el comportamiento vibratorio de estos materiales, no sea necesario contemplar sus propiedades como el módulo de Young y el loss factor.

Para los dos tipos de materiales porosos anteriores (ligeros y rígidos) se puede utilizar, entre otros, el modelo de Johnson-Champoux-Allard.[5] [8].

Uno de los modelos más empleados en el caso de materiales porosos rígidos, como son en general los pavimentos porosos, es el modelo fenomenológico de Hamet por ser un modelo que predice bien el comportamiento acústico, y es función de sólo tres propiedades intrínsecas acústicas (porosidad, tortuosidad y resistividad al flujo estático del aire).

El modelo de J. F. Hamet y M. C. Bérengier [3] está definido por las ecuaciones del número de onda complejo,  $k$ , y de densidad compleja,  $\rho$ :

$$k_{Hamet} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c_0} \sqrt{\alpha_\infty \cdot F_\mu \cdot \left( \gamma - \frac{\gamma - 1}{F_\theta} \right)}$$

$$\rho_{Hamet} = k \cdot \frac{\rho_0 \cdot c_0}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \phi} \sqrt{\frac{\alpha_\infty \cdot F_\mu}{\gamma - \frac{\gamma - 1}{F_\theta}}}$$

**Ecuación 8.5**

donde  $f$  es la frecuencia,  $c_0$  es la velocidad del sonido en el aire,  $\rho_0$  es la densidad del aire,  $\gamma$  es el coeficiente adiabático, y  $F_\mu$  y  $F_\theta$  están definidas por:

$$F_\mu = 1 - j \frac{f_\mu}{f} \quad \text{Ecuación 8.6}$$

$$F_\theta = 1 - j \frac{f_\theta}{f}$$

donde  $f_\mu$  y  $f_\theta$  describen las dependencia de tipo viscoso y térmico respectivamente, siendo:

$$f_\mu = \frac{\phi \sigma}{2 \cdot \pi \cdot \rho_0 \cdot \alpha_\infty} \quad \text{Ecuación 8.7}$$

$$f_\theta = \frac{\sigma}{2 \cdot \pi \cdot \rho_0 \cdot N_{Pr}}$$

donde  $N_{Pr}$  es el número de Prandtl.

Existen otro tipo de modelos mucho más simples basados en estudios estadísticos de medidas experimentales, como el Modelo de Delany-Bazley [6], en el que sólo se utiliza la resistividad al flujo estático de aire y las propiedades físicas del fluido. Este modelo sólo se puede aplicar a materiales porosos que tengan una porosidad muy próxima a 1.

Una vez obtenidas las propiedades intrínsecas necesarias para el modelo de comportamiento elegido, se pueden realizar las simulaciones acústicas mediante programas de elementos finitos, elementos de contorno o programas analíticos como el programa SIMAM (SIMulación Acústica de materiales Multicapa), desarrollado en la Fundación CIDAUT [12] [13] [14] [15]. Este programa, basado en el método de las matrices de transferencia (TMM), tiene implementados multitud de modelos matemáticos para predecir el comportamiento vibroacústico (absorción y aislamiento acústico) de materiales multicapa. Este programa permite introducir diferentes tipos de materiales (porosos, sólidos y fluidos), distintas configuraciones de capas de materiales, espesores, ángulos de incidencia... Las hipótesis en las que se basa este programa son:

- La onda acústica que incide con un ángulo  $\theta$  sobre el material de espesor  $h$  es plana (el ángulo de incidencia es variable e incluso puede ser un campo difuso según una ley de distribución uniforme o gaussiana).
- El modelo es bidimensional (tienen dimensiones laterales infinitas).
- Los materiales son homogéneos e isotrópicos transversalmente

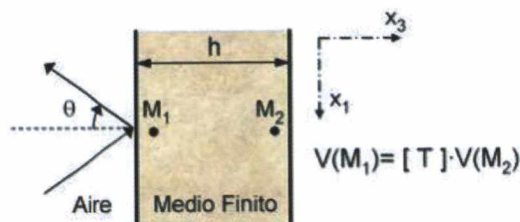


Figura 45. Esquema de la propagación del sonido en una capa <sup>15</sup>

La propagación del sonido se representa por una matriz de transferencia [T] que depende del espesor y de las propiedades físicas del medio. Estas matrices de transferencia están formadas por las ecuaciones de tensiones, de deformaciones y de desplazamiento de ondas planas en medios sólidos elásticos isotrópicos y de ondas planas en medios fluidos. En el caso de los materiales porosos, sus matrices de transferencia utilizan las ecuaciones de los modelos de comportamiento descritos anteriormente.

Las componentes del vector  $V(M)$  son variables que describen el campo acústico en el punto M del medio: velocidad, presión y tensión.

Las matrices de acoplamiento contienen las condiciones de continuidad entre dos capas adyacentes de un material multicapa, contemplando el tipo de material de ambas capas: sólido-sólido, sólido-fluido, sólido-poroso, poroso-poroso, poroso-fluido, fluido-fluido.

La matriz de transferencia global es una matriz que une todas las matrices de transferencia y de interfase de multicapa, además de incluir la condición de contorno de la otra cara del material ya sea pared rígida o fluido.

La metodología de simulación consiste en introducir la temperatura y la presión ambiente, las capas que conforman el material multicapa (junto con las propiedades intrínsecas y espesores), las condiciones de contorno, ángulo de incidencia (normal, difusa,...) y el rango de la frecuencia. Para finalizar se realiza el cálculo de absorción y/o aislamiento acústico.

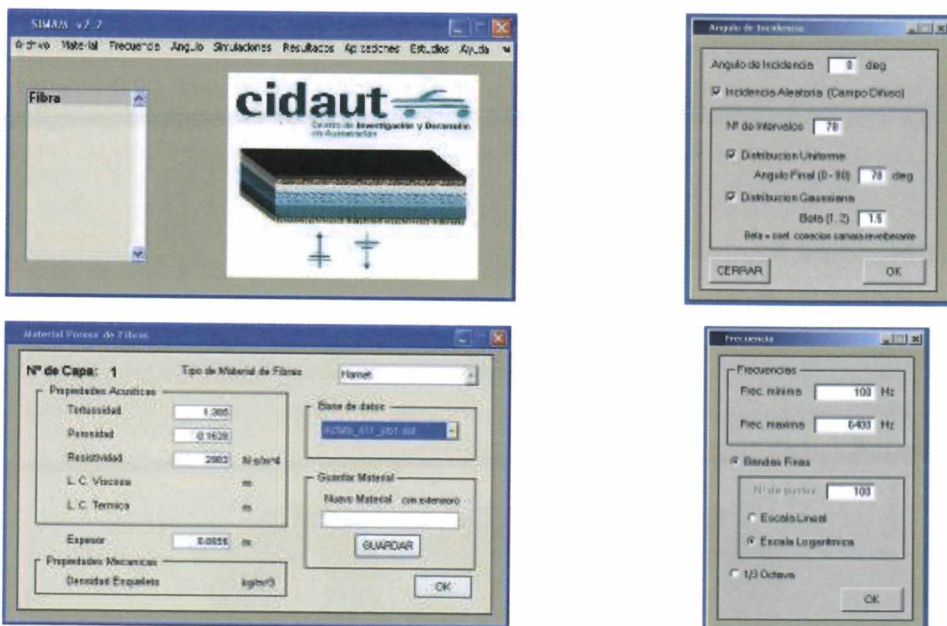


Figura 8.46. Interfaz del SIMAM <sup>16</sup>

<sup>15</sup> Fuente: Fundación CIDAUT

<sup>16</sup> Fuente: Fundación CIDAUT



Gracias a estos programas se puede estudiar la influencia de las diferentes capas de material: el orden en el que se deben colocar los materiales, los espesores, el tipo de material...

## 8.6.2 Modelo neumático/pavimento

Los modelos neumático/pavimento intentan predecir la emisión de ruido teniendo en cuenta la interacción neumático/pavimento (características superficiales) y, en algunos casos, las características mecánicas del neumático y del pavimento. La mayoría de los modelos utilizados hasta hace pocos años, y que han sido validados, son de neumáticos de vehículos ligeros circulando sobre pavimentos no porosos [2] [33]. En la actualidad, debido a que es muy común el empleo de pavimentos porosos para la construcción de carreteras, existen algunos estudios en los que se emplean modelos de pavimentos porosos para determinar el ruido, e incluso se están realizando modelos que tienen en cuenta la impedancia mecánica del pavimento, aspecto muy importante en el caso de los pavimentos poroelásticos. Otra limitación importante de los modelos es que no se pueden emplear para caracterizar totalmente la influencia de los pavimentos debido a que habría que emplear modelos para vehículos pesados [28], ya que tanto el tamaño, como las propiedades de los materiales y perfiles de paso, son completamente diferentes a los que se registran con vehículos ligeros.

Debido a la gran cantidad de modelos que existen en la actualidad, a su complejidad y a que se están investigando y mejorando los modelos de predicción debido a la rodadura, en este apartado solo se van a presentar los cuatro principales tipos de modelo neumático/pavimento:

### 8.6.2.1 Modelos estadísticos

Los modelos estadísticos [26] consideran al neumático como una función lineal entre las propiedades físicas del pavimento y la producción del ruido resultante. Los modelos están basados en el empleo de los datos adquiridos en medidas realizadas de acuerdo a los diferentes standards. Este tipo de modelización no intenta ni explicar ni modelar la mecánica del neumático.

### 8.6.2.2 Modelos físicos

Los modelos físicos [4] [9] intentan predecir los procesos físicos implicados en la vibración y en la radiación acústica del neumático. Los modelos físicos se basan en el empleo del método de los elementos finitos, FEM, (o de forma más simplificada, mediante ecuaciones analíticas sencillas) con el objetivo de tener en cuenta los modos de vibración del neumático y por tanto su respuesta a una excitación mecánica y su radiación acústica al ambiente.

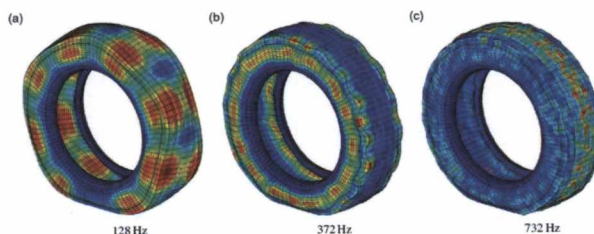


Figura 8.47. Modos propios del neumático de un vehículo pesado [4].

### 8.6.2.3 Modelos teóricos híbridos

Los modelos físicos son muy complejos y costosos debido a que hay que utilizar las propiedades mecánicas de los diferentes materiales de los neumáticos, la geometría del mismo, etc., informaciones que en la mayoría de los casos son muy difíciles de conseguir y, por tanto, dificultan la validación experimental del modelo. Por si esto fuera poco los tiempos de realización del modelo y los tiempos de cálculo son muy grandes. Para reducir las dificultades anteriores, algunos elementos, en lugar modelarse de forma física, se describen de una manera estadística a través de datos experimentales obtenidos en las validaciones del modelo. Este tipo de determinaciones basadas en modelos físicos pero utilizando datos experimentales para describir el comportamiento de algunos elementos se denominan modelos teóricos híbridos [11] [17].

### 8.6.2.4 Modelos estadísticos híbridos

Se dice que un modelo estadístico es híbrido cuando las relaciones físicas conocidas que se utilizan son obtenidas mediante modelos teóricos [4] [10].

Todos los modelos tienen en común que calculan la respuesta impulsiva de un neumático debida a la presión de contacto y teniendo en cuenta el perfil del neumático y la textura de la superficie. Los fenómenos aerodinámicos o son modelados con poco detalle o no son tenidos en cuenta.

## 8.7 Agradecimientos

A Construcciones y Obras Llorente S.A. (COLLOSA) que ha consentido que se incluyeran en este trabajo los resultados obtenidos en los proyectos de investigación que la Fundación CIDAUT ha realizado para esta empresa.

A CEDEX por la cesión de algunas imágenes referidas a ensayos de características superficiales.

## 8.8 Bibliografía

### Libros

[1] Allard, J.F. *Propagation of sound in porous media: Modelling Sound Absorbing Materials*. Elsevier Applied Science, Belfast (UK), 1993

[2] Sandberg, U. & Ejsmont J. *Tire/Road Noise Reference Book. Informex. SE-59040 Kisa, Sweden* ([www.informex.info](http://www.informex.info))

### Revistas

[3] Bérengier, M.C.; Stinson, M.R.; Daigle, G.A.; Hamet, J.F. Porous road pavements: Acoustical characterization and propagation effects. *Journal of the Acoustical Society of America* Vol. 101, 1997, pp. 155-162.

[4] Brinkmeier, M.; Nackenhorst, U.; Petersen, S.; Estorff O. A finite element approach for the simulation of tire rolling noise. *Journal of Sound and Vibration* 309 (2008) 20–39

- [5] Champoux, Y; Allard, J.F., Dynamic tortuosity and bulk modulus in air-saturated porous media, *Journal. Appl. Phys.*, 70, 1991, pp. 1975-1979
- [6] Delany, M.E.; Bazley, E.N. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. *Appl Acoust.* 3, 105-116.
- [7] Hamet, J.F., Les mécanismes de génération de bruit de roulement et l'influence des caractéristiques de chaussée, *Acoustique & Techniques*, nr. 32, 2003.
- [8] Johnson, D. L.; Koplik, J.; Dashen, R. Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid-saturated porous media, *Journal Fluid Mech.*, 176, 1987, pp. 379-402
- [9] Kropp, W. Ein Modell zur Beschreibung de Rollgeräusches eines unprofilierten Gürtelreifens auf rauher Strassenoberfläche, *VDI-Fortschriftberichet Reihe 11*, Vol. 166, Berlin, 1992;

### Comunicaciones a congresos

- [10] Beckenbauer, T. and A. Kuijpers, Prediction of pass-by levels depending on road surface parameters by means of a hybrid model". *InterNoise 2001*, The Hague, the Netherlands, 2001.
- [11] De Roo, F. and E. Gerretsen, TRIAS - tyre road interaction acoustic simulation model, *InterNoise 2000*, Nice, 2000;
- [12] García, C.; del Cerro, J.; González, J.A.; Morcillo, M.A. Propiedades acústicas intrínsecas de los asfaltos. Comparación de los aglomerados fabricados con y sin polvo de neumático. *ASEFMA 2008 - III Jornada Nacional - "ASEFMA más de 100 razones"*, Madrid, 24 de Enero de 2008.
- [13] González, J.A.; Cesteros, B.; Cordero, R. Caracterización de propiedades intrínsecas acústicas de materiales porosos mediante métodos indirectos. *37º Congreso Nacional de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica - Tecniacústica 2006*. Gandía, 18 a 20 de Octubre de 2006.
- [14] González, J.A.; Martín, J.S.; Sánchez, A. Método para la simulación acústica de las medidas con tubo de impedancia y cabina alpha de materiales multicapa. *36º Congreso Nacional de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica - Tecniacústica 2005*. Terrassa, 19 a 21 de Octubre de 2005.
- [15] González, J.A.; García, C.; del Cerro, J.; Morcillo, M.A.; Hernández, M<sup>a</sup> José. Propiedades acústicas intrínsecas de los asfaltos porosos. Porosidad, tortuosidad y resistividad al flujo estático de aire. Diseño óptimo de un asfalto. *Acústica 2008. 39º Congreso Nacional de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica - Tecniacústica 2008*. Coimbra, 20 a 22 de Octubre de 2008.
- [16] Graaff, E., Blokland G. V. Exterior noise, grip and rolling resistance levels of C1, C2, and C3 tyres in relation to the tyre noise directive (EU directive 2001/43/EC) and consumer interests. *Internoise Istanbul 2007*.
- [17] Hamet, J.F. and P. Klein, Road texture and tire noise, *InterNoise 2000*, Nice, 2000;
- [18] Hernández, M. J., Morcillo, M.A, y Herráez, M. Experimental study of road noise. *Euronoise Naples 2003* paper ID 468 /p.1.



- [19] Klein, P. Horn effect characterisation for tire-road noise radiation. *Internoise 2000*.
- [20] Kuijpers, A.; Blokland G. v.; Tire/Road noise models in the last two decades: a critical evaluation. *Internoise 2001*. La Haya.
- [21] Morcillo, M.A, González J.A., Hernández, M. J. e Hidalgo A. Influencia de la porosidad de los asfaltos en la generación del ruido de rodadura. *Acústica 2008*. 20 - 22 de Octubre, Coimbra, Portugal.
- [22] Pfretzschner, J.; Rodríguez, R.M.; De la Colina, C.; Simón, F.; Moreno, A. Estudio teórico experimental de materiales granulares absorbentes preparados con granza de caucho. 28º Congreso Nacional de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica - *Tecniacústica 1997*. Oviedo, 5 a 7 de Noviembre de 1997.
- [23] Phillips, S.M.; Abbott, P.G. Factors affecting statistical pass-by measurements. *Inter-Noise 2001*. The Hague, The Netherlands, 2031-2036.
- [24] Rodriguez, R.M.; Pfretzschner, J.; C. De la Colina, C.; Moreno, A.; Simón, F.; Determinación de los parámetros acústicos característicos de materiales porosos de diseño. 28º Congreso Nacional de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica - *Tecniacústica 1997*. Oviedo, 5 a 7 de Noviembre de 1997.
- [25] Sandberg, U. The Multi-Coincidence Peak around 1000 Hz in Tyre/Road Noise Spectra. *Euronoise Naples 2003* paper ID: 498 /p.1
- [26] Sandberg, U.; Descornet, G.; Road surface influence on tire/road noise– part I & II. *InterNoise 1980*

#### **Tesis Doctorales y Proyectos fin de carrera**

- [27] Hernández, Mª J. *Caracterización del ruido de rodadura mediante técnicas de calidad acústica - Proyecto Fin de Carrera*. – Universidad de Valladolid. Julio 2002.
- [28] Jönsson, C., *Modelling the Vibrational Behaviour of Truck Tyres*, Chalmers University, Göteborg, Sweden, 2003;

#### **Artículos o capítulos en obras de varios autores**

- [29] ASEFMA, Monografía 3. *Reducción del ruido ambiental en origen. La contribución del sector de las mezclas asfálticas*. Enero 2009.
- [30] EU FP 5 Project SILVIA (2005) - “Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces” - FEHRL Report, No. 2006/02, Brussels, 2006.
- [31] *Green Paper on Future Noise Policy (COM(96) 540)* Comisión Europea. Noviembre 1996.
- [32] Haider, M.; Sandberg U. *Noise classification methods for urban surfaces. User manual: Measurement methods* – Proyecto europeo SILENCE (Sustainable development, global change & ecosystems integrated project). Febrero 2006
- [33] Report from IPG (Program of Netherlands Government). *Inventory study of basic knowledge on tyre/road noise*. DWW-2005-022.

[34] Ripke, O.; Andersen, B.; Bendtsen H.; Sandberg, U. Report of promising new road surfaces for testing. – *Proyecto europeo SILENCE* (Sustainable development, global change & ecosystems integrated project). Agosto 2005.

[35] Study SI2.408210 *Tyre/Road Noise*. Volume1: Final Report. FERHL.

### **Leyes, decretos y normativas**

[36] UNE-EN ISO 10534-1:2002. *Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria.*

[37] UNE-EN ISO 10534-2:2002. *Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia.*

[38] UNE-EN ISO 11819-1:2002 *Acústica. Medición de la influencia de las superficies de carretera sobre el ruido del tráfico. Parte 1: Método estadístico del paso de vehículos.*

[39] ISO/CD 11819-2 *Acoustics — Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise — Part 2: The close-proximity method.*

[40] Directiva 2001/43/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio de 2001, por la que se *modifica la Directiva 92/23/CEE del Consejo sobre los neumáticos de los vehículos de motor y de sus remolques así como de su montaje.*

[41] ISO 13472-1:2002. *Acoustics: Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ — Part 1: Extended surface method.* International Organization for Standardization, Genève.

[42] UNE EN13108-7:2007 *Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 7: Mezclas bituminosas drenantes.*

[43] UNE EN13108-5: 2007 *Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 5: Mezclas bituminosas tipo SMA.*

[44] UNE-EN-ISO 354:2004. *Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.*

[45] UNE-EN 13036-1. *Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 1: Medición de la profundidad de la macrotextura superficial del pavimento mediante el método del círculo de arena.*

[46] UNE-EN ISO 13036-3 *Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 3: Medida de la drenabilidad horizontal de la superficie del pavimento.*

[47] UNE-EN ISO 13473-1. *Caracterización de la textura de los pavimentos mediante el uso de perfiles de superficie. Parte 1: Determinación de la profundidad media del perfil.*

## Capítulo 9

### Evaluación de las vibraciones en el espacio interior de las edificaciones

*Jesús Alba Fernández, Romina del Rey Tormos*

#### 9.1. Introducción a las vibraciones

##### 9.1.1. Conceptos sobre el ruido de vibración

La Real Academia Española, en el Diccionario de la Lengua Española (vigésima segunda edición), define el término “vibración” como “*cada movimiento vibratorio, o doble oscilación de las moléculas o del cuerpo vibrante*”.

Se denomina vibración [1] a la propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo. Afecta a materiales sólidos, líquidos y gaseosos. La vibración es la causa de generación de todo tipo de ondas. En su forma más sencilla, una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. Aunque conviene separar el concepto de vibración y el de oscilación, ya que en las oscilaciones existe conversión de energía cinética en potencial gravitatoria y viceversa, mientras que en las vibraciones la conversión se da entre energía cinética y potencial elástica.

Para cuantificar el efecto de la vibración, se pueden medir diferentes variables. Las más comunes son el desplazamiento (m) respecto a la posición de equilibrio, la velocidad (m/s) en un punto de la superficie vibrante o la aceleración ( $\text{m/s}^2$ ) en ese punto. Esta última suele ser la más habitual, y se utiliza de forma habitual un acelerómetro para su determinación. Además, también es habitual realizar una conversión a escala logarítmica de estas magnitudes, utilizando el decibelio y usando un valor de referencia. Por ejemplo, la expresión siguiente:

$$L_a(\text{dB}) = 20 \log \frac{a}{a_0}$$

representaría un “nivel de aceleración”, con referencia a  $a_0$  ( $\text{m/s}^2$ ) que suele ser de  $10^{-6} \text{ m/s}^2$ , este nivel de referencia marca el valor de nivel de aceleración de 0 dB. En función de si “a” es un valor máximo, promedio, etc., el nivel también será máximo, promedio, etc.

La medición y el análisis de vibraciones es una tarea compleja. Como veremos, existen analizadores de vibraciones que realizan un análisis espectral, o medidores de vibraciones que miden las características de estas, que son el valor rms, valor de pico o factor cresta. Se pueden obtener evoluciones temporales de toda la energía de vibración que entra en el sensor en un rango de frecuencias, y representar, por ejemplo, la evolución de un nivel de aceleración en función del tiempo.



En este caso, se puede valorar el carácter estacionario o no de la vibración. Se puede obtener el espectro del nivel de aceleración en un margen de frecuencias con una ventana temporal definida. Esto nos serviría para ver si la influencia de la vibración es más bien tonal (por ejemplo, producida por la vibración de una máquina) o de banda ancha. Es decir, existen múltiples maneras de representar la información.

Las maneras más comunes de dar información sobre la vibración es la siguiente: se define el valor “rms”, también conocido como valor eficaz o valor efectivo, como el valor cuadrático medio de una señal variable, en el caso que nos ocupa, de la vibración, representada en su forma más habitual con la variable aceleración. Siendo la vibración una señal variable con el tiempo, el valor “rms” se define como un valor constante, equivalente al de una señal continua caracterizada por la misma energía que la vibración variable con el tiempo.

Otra variable importante es el valor de pico que está estrechamente relacionado con el valor rms y se define como el valor máximo que alcanza la vibración. Existe una relación algebraica demostrable entre valor rms y valor de pico para el caso de señales sinusoidales que es la siguiente:

$$V_{\text{pico}} = V_{\text{RMS}} / \sqrt{2}$$

Por último, el valor o factor de cresta no es más que la proporción (cociente) entre el valor “pico” y el valor “rms”.

En la Figura 9.1 se observa la variación de la vibración en el tiempo, así como el valor rms y el valor pico.

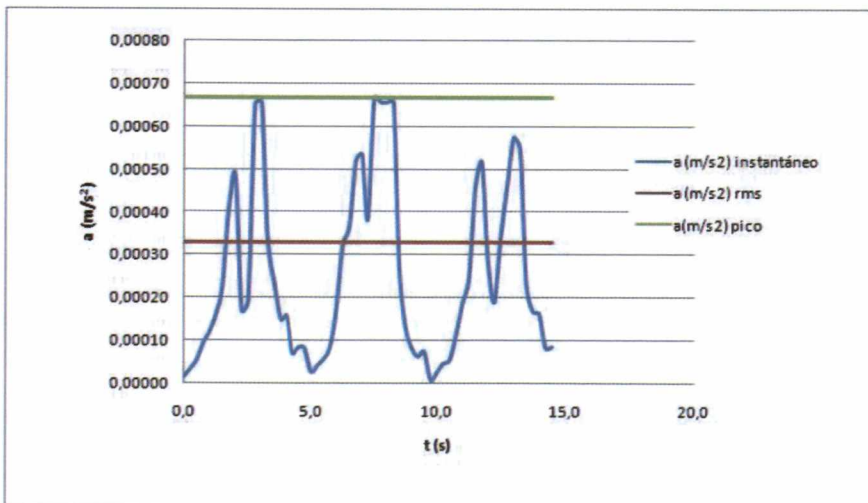


Figura 9.1. Ejemplo de valor rms y pico

Existen diferentes referencias sobre los efectos de las vibraciones, sobre todo en el ámbito laboral. Las vibraciones de alta intensidad y larga duración parecen producir un incremento del riesgo para la salud en la espina lumbar y en el sistema nervioso conectado a ella [8]. Una tensión mecánica excesiva y/o alteraciones de la nutrición y de la difusión al tejido de los discos pueden contribuir a un proceso degenerativo en los segmentos lumbares (estenosis espinal, osteonecrosis intervertebral, artrosis).

La exposición a vibraciones de cuerpo entero también puede empeorar ciertas alteraciones patológicas endógenas de la espina. Aunque se asume que generalmente existe una relación dosis-efecto, no se dispone en la actualidad de una relación cuantitativa. Aunque con menor probabilidad, también se asume que se verán afectados el sistema digestivo, el sistema urinario/genital y los órganos reproductores femeninos.

Aunque el efecto de la exposición a vibraciones sea más desconocido que el del ruido en términos generales, no deja de restarle importancia a la necesidad de evaluar y buscar procedimientos que nos permitan mejorar las condiciones de calidad asociadas a este parámetro.

Las vibraciones menores a 2 Hz, son molestas pudiendo afectar al sistema nervioso central, causando mareos, náuseas, vómitos, etc.

Las vibraciones entre 2 y 20 Hz suelen afectar a las personas que manejan máquinas en movimiento, y pueden causar (dependiendo siempre del tiempo de exposición) dolor abdominal y/o lumbar, alteraciones digestivas, dolor de cabeza, problemas de sueño, etc. (típico de los camioneros o colectiveros de jornada intensiva).

Las vibraciones mayores a 20 Hz, tienen efectos que exceden el causado en el área del cuerpo en contacto con la vibración, transmitiéndose al resto y pudiendo causar problemas en todo el organismo.

Cuando la vibración en el cuerpo entero, suele producir dolor de espalda, y cuando la vibración es en manos y brazos pueden producirse efectos como de disminución de la sensación y habilidad de las manos, entre otros.

### **9.1.2. Visión histórica de la evaluación de las vibraciones: el factor K de vibraciones**

En el punto 9.3 de este capítulo se definen los índices que en la actualidad son necesarios para la evaluación de la calidad acústica, en cuanto al análisis de vibraciones se refiere. Sin embargo, la evaluación de las vibraciones se venía realizando con otro procedimiento que se refleja en muchas ordenanzas municipales de ruido y vibraciones.

Algunos ejemplos son el RD 78/1999 por el que se regula el régimen de protección contra la Contaminación Acústica en la Comunidad de Madrid. En este real decreto, en su artículo 15, se definen los objetivos de calidad para la transmisión de vibraciones con un factor K [2]. Otro ejemplo es la Ordenanza Municipal de Valencia [10], de reciente publicación, donde aparece, en su artículo 65 sobre infracciones, que se considera como infracción (leve, grave, etc.) la obtención de niveles

de transmisión de vibraciones por encima de la curva K, en función del número de curvas sobrepasadas.

Para determinar este factor, en primer lugar, se realiza una medición del espectro de la aceleración eficaz de la vibración, en bandas de tercio de octava entre 1 y 80 Hz al cual se le asigna un índice K. Este índice se refiere a la curva límite mínima que contiene el espectro de la vibración. La magnitud determinante de la vibración será su aceleración eficaz (r.m.s.) en m/s<sup>2</sup> medida sobre un eje y corregida mediante la aplicación de la ponderación combinada sobre los tres ejes. En la Figura 9.2 se muestran las curvas límite para determinar K.

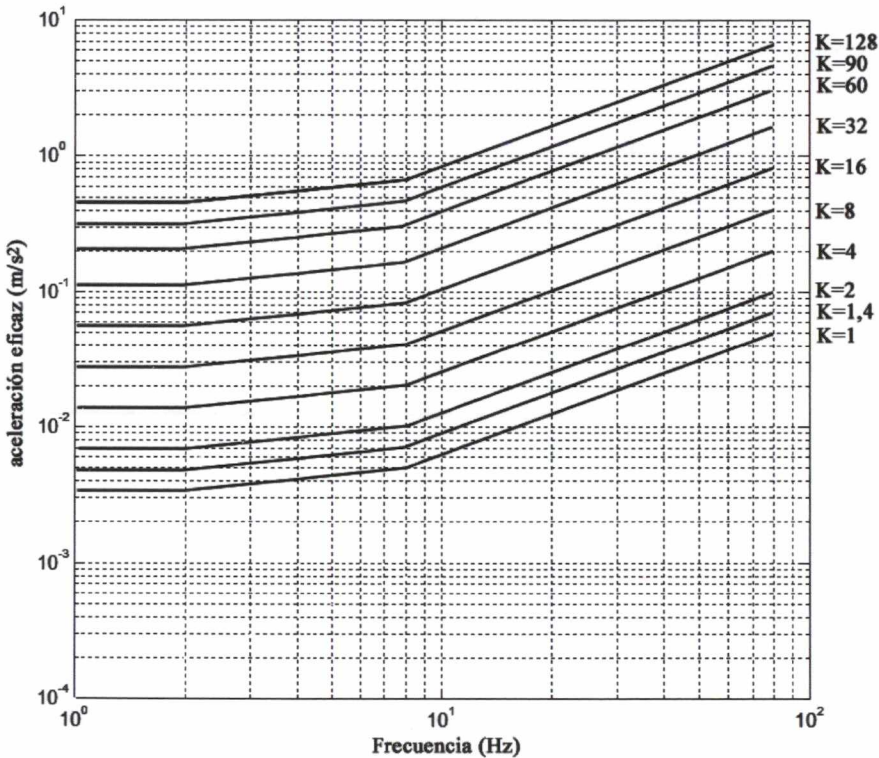


Figura 9.2. Curvas límite

Los valores de estas curvas corresponden a las expresiones siguientes:

$$\begin{aligned}
 K &= a / 0.0035 & f &\leq 2 \\
 K &= a / [0.0035 + 0.000257(f - 2)] & 2 &\leq f \leq 8 \\
 K &= a / 0.00063f & 8 &\leq f \leq 80
 \end{aligned}$$



donde:

$a$  es la aceleración eficaz de la vibración, expresada en  $m/s^2$

$f$  es la frecuencia de la vibración, expresada en Hz.

Para obtener este factor K, el nivel de evaluación se obtendrá para el momento y lugar en que la molestia sea más acusada, respetándose el protocolo de medida establecido en la norma ISO 2631-2 [7], y al menos en los parámetros horizontales.

En caso necesario, se efectuarán varias medidas, distribuidas en el espacio y en el tiempo de forma que se garantice que la muestra es suficientemente representativa. El nivel de evaluación del período completo (nocturno o diurno) será el mayor de los obtenidos para los períodos individuales considerados.

El nivel de vibración en un espacio interior puede hacer que éste no sea adecuado para ciertos usos. Por ejemplo, en el Anexo III, sobre niveles de vibraciones, de la Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de Protección contra la Contaminación Acústica, de la Generalitat Valenciana [6], se plantean los límites del factor K dados en la Tabla 9.1. En ella, el grado de molestia de las vibraciones, el factor K, toma valores más o menos restrictivos dependiendo de la repetibilidad a lo largo de un día de la vibración. Esto es, si las vibraciones son continuas, la perturbación sucede más de tres veces al día; si son transitorias, la perturbación sucede un número de veces al día menor o igual a 3.

**Tabla 9.1. Límites del factor K. Comunidad Valenciana**

	Valores de K			
	Vibraciones continuas		Vibraciones transitorias	
	Día	Noche	Día	Noche
Sanitario	2	1,4	16	1,4
Docente	2	1,4	16	1,4
Residencial	2	1,4	16	1,4
Oficinas	4	4	128	12
Almacenes y Comercios	8	8	128	128
Industrias	8	8	128	128

En la tabla siguiente se muestra otro ejemplo dado por el artículo 13 de RD 78/1999, por el que se regula el régimen de protección contra la Contaminación Acústica en la Comunidad de Madrid [2]. En este caso se distingue entre periodo diurno y nocturno.

Tabla 9.2. Límites del factor K. Comunidad de Madrid.

Área de sensibilidad acústica	Uso del recinto	Período diurno	Período nocturno
Tipo VI (Área de trabajo)	Sanitario	1	1
Tipo VI (Área de trabajo)	Docente	2	2
Tipo VI (Área de trabajo)	Cultural	2	2
Tipo VI (Área de trabajo)	Oficinas	4	4
Tipo VI (Área de trabajo)	Comercios	8	8
Tipo VII (Área de vivienda)	Residencial habitable	2	1,4
Tipo VII (Área de vivienda)	Residencial servicios	4	2
Tipo VII (Área de vivienda)	Hospedaje	4	2

## 9.2. Equipamiento para la medida de vibraciones

### 9.2.1. Acelerómetros y sus tipos

Un equipo para la medición de vibraciones es un instrumento que recibe una señal de un transductor de vibración y la procesa para dar una indicación relevante de sus parámetros.

El transductor es el primer eslabón en la cadena de medición de vibraciones, y debería reproducir exactamente las características de la magnitud que se desea medir. Un transductor es un dispositivo que transforma un tipo de energía en otra. Existen diferentes tipos de transductores en función de la conversión de energía que realizan. En nuestro caso, se produce la conversión de la energía asociada a la vibración en energía eléctrica.

A grandes rasgos, los transductores electroacústicos se pueden clasificar en función de la forma en que realizan la transformación energética (o en el principio físico en el que se basan) en:

*Dinámicos:* se basan en el principio de inducción electromagnética, donde la variación de un flujo magnético produce una fuerza electromotriz inducida (una diferencia de potencial en bornes del transductor). Basados en este modo de funcionamiento se pueden encontrar diferentes tipos de transductores como micrófonos y altavoces.

*Electrostáticos:* su funcionamiento se fundamenta en la variación de la capacidad de un condensador. Existen altavoces y micrófonos electrostáticos; estos últimos son los más importantes dentro del mundo de la medición acústica.

*Magnéticos:* basados en la variación de la reluctancia de un circuito magnético. El paso o el movimiento de un elemento ferromagnético cerca de un entrehierro genera cambios de flujo magnético dentro del circuito. Ejemplos son los grabadores y reproductores, los micrófonos magnéticos o cierto tipo de sensores sin contacto.

*Piezoeléctricos:* su modo de funcionamiento está condicionado a cierto tipo de materiales que poseen la propiedad de piezoelectricidad, es decir, la capacidad de estirarse o contraerse bajo la acción de un campo eléctrico. Son comunes en este ámbito los altavoces de agudos (tweters), emisores y receptores de ultrasonidos y sensores para la medición de vibraciones (acelerómetros).

*Magnetostrictivos:* al igual que en el tipo anterior, sólo se pueden utilizar materiales que posean la propiedad de magnetostricción, es decir, la capacidad de cambiar de longitud de algunos materiales bajo la acción de un campo magnético. Son elementos utilizados en equipos de SONAR que requieran un transductor robusto, o como hidrófonos en la detección de objetos en la acústica subacuática.

Para la medición de vibraciones se utilizan fundamentalmente los acelerómetros. Un acelerómetro se puede emplear para medir velocidades, desplazamientos o fuerzas. Algunas aplicaciones de medida de fuerzas inerciales incluyen sensores de choque para airbags, sistemas de navegación para coches y controladores de ascensores. Se pueden aplicar en control de vibraciones, detección de inclinaciones, estabilización de plataformas, realización de análisis modales y control del estado de funcionamiento de la maquinaria.

El principio de funcionamiento de un acelerómetro se basa en la ley de Hooke y la segunda ley de Newton. La aceleración genera una fuerza sobre una masa, denominada masa sísmica, que al desplazarse deforma un muelle con la condición de que:

$$F = ma = kx$$

De esta forma una aceleración  $a$  ocasionará que la masa se desplace, o viceversa. Hay que señalar que este sistema solo responde a aceleraciones a lo largo de la dirección del muelle. Es lo que se denomina un acelerómetro de un solo eje. Para conseguir medidas de aceleración en múltiples ejes el sistema debe ser duplicado a lo largo de cada uno de los ejes requeridos.

No importa cuál sea el diseño del sensor o cual se la técnica de conversión, el objetivo final de la medida es la detección del desplazamiento de la masa, denominada masa sísmica, respecto a la carcasa. De este modo cualquier sensor de desplazamiento capaz de medir desplazamientos microscópicos bajo fuertes vibraciones puede ser empleado como acelerómetro.

Los tipos de acelerómetros más comunes son: capacitivos, piezorresistivos, servo acelerómetros, de fibra óptica y piezoeléctricos [11]. En el caso de los acelerómetros piezoeléctricos, cuando la



masa sísmica se desplaza por efecto de la aceleración, ejerce una fuerza sobre el cristal piezoeléctrico y en su interior se produce una redistribución de las cargas generándose una diferencia de carga neta entre sus caras que es proporcional a la aceleración.

Existen varias configuraciones mecánicas que se definen según sea la naturaleza de la fuerza inercial que la masa acelerada ejerce sobre el material piezoeléctrico independientemente del modo de trabajo empleado, la sensibilidad del acelerómetro dependerá de los coeficientes piezoeléctricos del material.

Existen en el mercado varios tipos de estos aparatos según su forma de funcionamiento: acelerómetros de tipo compresión, de tipo shear, triaxiales, etc. Los acelerómetros del tipo compresión, consisten en un disco piezoeléctrico y una masa colocada sobre un marco o caja. El movimiento en la dirección indicada hace que fuerzas compresoras (o extensoras) actúen sobre el elemento piezoeléctrico, produciendo una salida eléctrica proporcional a la aceleración. Los materiales sensores solían ser cuarzo, turmalina o cerámicas ferroeléctricas, aunque actualmente existe diversidad de cerámicas de última generación que permiten mejorar las condiciones de sensibilidad. Las características típicas de los más comunes son una sensibilidad de 2 a 100 picoculombios/g, una frecuencia de resonancia de 30 kHz y una masa total de 30 gramos [1].

Los acelerómetros de tipo shear emplean un elemento piezoeléctrico en forma cilíndrica ajustado alrededor de un poste de montaje central. Un anillo de carga (o masa) está unido a la superficie exterior del elemento piezoeléctrico. El cilindro está hecho de cerámica y está polarizado en toda su longitud; el voltaje de salida se toma de sus paredes internas y externas.

Las ventajas de los acelerómetros piezoeléctricos frente a otros diseños son: circuitos menos complicados, capacidad de soportar mayores niveles de impacto, y el funcionamiento con bajo consumo. Los diseños piezoeléctricos a pesar de no poder medir aceleraciones estáticas, pueden ser diseñados para medir frecuencias tan bajas como 0.1 Hz. Estos acelerómetros ofrecen también frecuencias de resonancia extremadamente altas en comparación con otros tipos de acelerómetro.

El siguiente paso es contemplar un sistema de medición de vibraciones. En términos generales, todo sistema de medición de vibración suele constar de un conjunto de bloques típicos [1]:

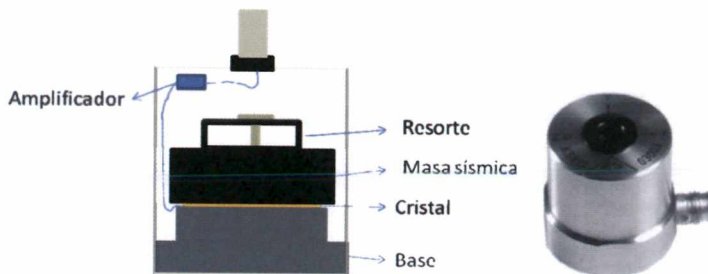
- **Preamplificador:** elemento necesario para convertir la señal de medida que es muy débil y de alta impedancia (transductor piezoeléctrico) a una señal de voltaje de baja impedancia. Los tipos de preamplificadores para acelerómetros más comunes son los de carga y los conductores de línea. Los preamplificadores de voltaje están en desuso. En éstos, la sensibilidad depende en gran medida de la longitud del cable que se utilice. La sensibilidad de los preamplificadores de carga y de línea es virtualmente independiente de la longitud del cable y esto es de considerable importancia en la práctica.
- **Acondicionador de señal, también conocido como integrador:** se utiliza para limitar el rango de frecuencias si es necesario para integrarlo de aceleración a velocidad y/o desplazamiento y para aportar más amplificación. Las señales de aceleración pueden integrarse electrónicamente para obtener señales de velocidad y/o desplazamiento.

- **Detector:** se utiliza para conseguir de la señal los parámetros que la caracterizan, como puede ser el valor RMS, valores pico y factor de cresta. De ahí la señal pasa a ser visualizada y almacenada en la pantalla y en la memoria digital correspondiente.

La vibración debe medirse con referencia a un punto fijo mediante cualquiera de los dos tipos de transductores distintos que existen:

- **Transductor de referencia fija.** Es aquél en el que un terminal está conectado a un punto fijo del espacio y el otro al objeto o superficie cuyo movimiento se quiere medir.
- **Transductor de masa y muelle.** Es aquél con un terminal único que es la base de un sistema de masas y muelle; esta base está conectada al punto donde se va a medir el impacto o la vibración.

Como en muchos casos resulta imposible establecer una referencia fija para la medida del impacto y la vibración, muchos transductores son del tipo masa y muelle. Éstos consisten en una masa  $m$  suspendida de la caja del transductor mediante un muelle de rigidez  $K$ . El movimiento de la masa dentro de la caja puede amortiguarse mediante un fluido viscoso o corriente eléctrica simbolizada mediante un contenedor de choque con un coeficiente de amortiguación  $c$ . Se pretende medir el movimiento de la parte móvil, cuyo desplazamiento, con respecto al espacio fijo, está indicado por  $u$ .



*Figura 9.3. Corte transversal típico y acelerómetro real*

A la hora de hacer la medición, es importante tener en cuenta los efectos ambientales y sus propiedades físicas, tales como:

- **Temperatura.** La temperatura puede afectar a la sensibilidad, la frecuencia natural y la amortiguación de un transductor. La sensibilidad puede aumentar o reducirse con la temperatura, o permanecer relativamente constante. Los cambios de la frecuencia natural pueden recortar la zona de medida a altas frecuencias, y un cambio en la sensibilidad modifica la relación entre la aceleración y la corriente eléctrica.
- **Humedad.** La humedad puede afectar a las características de ciertos tipos de instrumentos de medida de la vibración. En general, un transductor que funciona a impedancia eléctrica alta se ve más afectado por la humedad que el que opera a baja impedancia eléctrica. En ese caso, aumenta el ruido eléctrico que modifica la señal original.

- Ruido acústico. A menudo, ondas sonoras de alta intensidad acompañan a la vibración. Si la estructura del transductor o del equipamiento auxiliar puede vibrar debido a la excitación acústica, podría dar como resultado errores graves en la señal, aumentando también el ruido.
- Propiedades físicas. El tamaño y el peso de un transductor son consideraciones muy importantes en muchas mediciones de vibración. Un instrumento grande puede requerir una estructura de montaje que cambiará las características de vibración local de la estructura cuya vibración se está midiendo. De la misma manera, la masa añadida del transductor puede producir cambios sustanciales en la respuesta vibratoria de la estructura. Por lo general, la frecuencia natural de una estructura disminuye al añadirle masa, en concreto, para una estructura simple de masa-muelle:

$$\frac{fn - \Delta fn}{fn} = \sqrt{\frac{m}{m + \Delta m}}$$

donde:

$f_n$ : frecuencia natural de la estructura

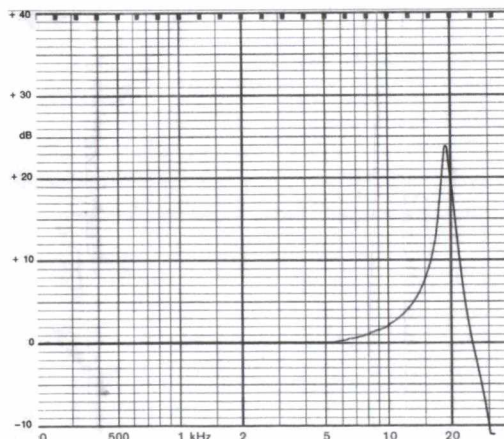
$\Delta f_n$ : cambio en la frecuencia natural

$m$ : masa de la estructura

$\Delta m$ : aumento en la masa que se produce al añadir el transductor

En general, para un tipo determinado de elemento transductor, la sensibilidad aumenta proporcionalmente a la masa del transductor. En la mayoría de las aplicaciones, es más importante que el transductor sea de tamaño pequeño a que tenga alta sensibilidad, porque la amplificación de la señal aumenta la salida a un nivel útil.

La Figura 9.4 muestra una curva típica de respuesta en frecuencia para un acelerómetro piezoeléctrico, donde se muestra la frecuencia natural a alta frecuencia. El tipo de montaje puede tener un efecto significativo sobre el valor de  $f_n$  que se analiza en puntos posteriores.



**Figura 9.4.** Respuesta en frecuencia típica



Para frecuencias muy por debajo de la frecuencia de resonancia de la masa y el muelle, el desplazamiento es directamente proporcional a la aceleración de la caja y es independiente de la frecuencia. El ángulo de fase se aproxima a cero si la amortiguación es muy pequeña, como suele ser el caso en acelerómetros piezoeléctricos.

Hay que tener en cuenta que la combinación del acelerómetro con elementos resistivos y las condiciones de montaje pueden limitar la baja frecuencia, como se verá en apartados posteriores.

La fuerza de inercia de la masa produce una tensión mecánica sobre el elemento piezoeléctrico que produce una carga eléctrica proporcional a la tensión y, por tanto, proporcional a la aceleración. Si la constante dieléctrica del material piezoeléctrico no cambia con la carga eléctrica, el voltaje generado también es proporcional a la aceleración.

Las especificaciones típicas de los acelerómetros más comunes son:

- sensibilidad, comprendida entre 10 y 50 picoculombios/g;
- rango de aceleración, comprendido entre 1 y 500 g;
- frecuencia de resonancia, 25 kHz ;
- rango de frecuencia útil de 3 a 5000 Hz;
- rango de temperatura de -254 a +760 °C (-425 a +1400 °F);
- respuesta transversal, 3 por 100 .

Los acelerómetros piezoeléctricos comercializados suelen tener forma cilíndrica. Los hay disponibles de dos tipos: con tacos montados o desmontables de la parte inferior del cilindro. Cuentan con un cable conector coaxial que puede estar situado en la parte superior o en el lateral de la caja.



*Figura 9.5. Tipos de conexiones*

La mayoría son relativamente ligeros, y varían entre aproximadamente 1 y 60 g. Habitualmente, cuanto mayor es el acelerómetro, mayor es su sensibilidad y más baja su frecuencia de resonancia. Las unidades más pequeñas tienen un diámetro menor de 5 mm, las unidades grandes tienen un diámetro de unos 25,4 mm y una altura de unos 25,4 mm (1 pulgada, aproximadamente). Los primeros son de uso común en mediciones de altavoces y elementos ligeros, y los segundos para ensayos de vibraciones como la valoración de los objetivos de calidad que aparecen reflejados en el reglamento de la ley del rudo expuesto en el punto 9.3.2.

La frecuencia fundamental de resonancia más alta de un acelerómetro puede estar por encima de 100 kHz. Cuanta más alta es la frecuencia de resonancia, menor suele ser su sensibilidad y más difícil

resultará proporcionar amortiguación mecánica, dada por su tasa de amplificación, cociente entre la sensibilidad a su frecuencia de resonancia y la sensibilidad en la banda de frecuencia para la que la sensibilidad es independiente de la frecuencia.

### 9.2.2. Parámetros más comunes

Las características dinámicas más importantes que caracterizan a un acelerómetro son las siguientes [1]:

**Sensibilidad de carga.** se mide normalmente en una frecuencia de trabajo del sensor (que suele ser 159,2 Hz, que se corresponde con una pulsación de  $1000 \text{ s}^{-1}$ ). Relaciona la carga o la tensión en circuito abierto que puede ofrecer el transductor para una aceleración de entrada. Esta variable se expresa en  $\text{mV/ms}^{-2}$ , y relaciona directamente la tensión en circuito abierto con la aceleración de entrada.

**Respuesta en frecuencia:** rango de frecuencias en el que se supone válido el funcionamiento del acelerómetro, con una respuesta plana. La respuesta en frecuencia suele venir dada desde muy baja frecuencia (0,1 Hz, con un pequeño recorte por elementos resistivos) hasta las cercanías de la frecuencia de resonancia. Se considera el rango de frecuencias de funcionamiento como aquél para el que la sensibilidad del transductor no varía más que en el porcentaje establecido a partir de la sensibilidad tasada:

- **Límite de baja frecuencia.** La respuesta mecánica de un transductor de masa no impone un límite de baja frecuencia para un transductor de aceleración, debido a que responde a la vibración con frecuencias menores que la frecuencia natural del transductor. Al evaluar el límite de baja frecuencia, es necesario considerar las características eléctricas tanto del transductor como del equipamiento asociado. En general, un elemento transductor que utiliza potencia externa no tiene un límite de baja frecuencia, en tanto que un elemento transductor autogenerador no funciona a una frecuencia cero.
- **Límite de alta frecuencia.** Un acelerómetro posee un límite superior de frecuencia útil porque responde a la vibración cuya frecuencia es inferior a la frecuencia natural (de resonancia) del transductor. El límite está en función de la frecuencia natural y la amortiguación del transductor.

Otra cuestión a tener en cuenta es el cambio de fase, dado como el retraso temporal entre la entrada mecánica y la salida eléctrica de la señal de un sistema de instrumentación. Si un acelerómetro no está amortiguado, el ángulo de fase es  $\phi = 0$  para valores de  $f/f_n$  menores que 1,0. En este caso la fase del desplazamiento relativo es igual a la de la aceleración que se está midiendo, para todos los valores de frecuencia dentro del rango útil del acelerómetro. Por tanto, un acelerómetro no amortiguado mide la aceleración sin distorsión de fase. Los acelerómetros piezoeléctricos tienen un valor de amortiguación interna extremadamente bajo.

**Frecuencia de resonancia:** frecuencia en la cual las características mecánicas del piezoeléctrico entran en resonancia. Marca el límite del uso del transductor. La frecuencia límite superior.

Respecto a las características eléctricas, la más destacable es la capacitancia que suele venir expresada en pF, y que a veces se da junto con el cable que el fabricante recomienda. Hay que tener en cuenta

que el acelerómetro tiene una capacidad comparable a la de los propios cables y que los cambios de cable afectan a las mediciones.

Por último, las características ambientales como la temperatura o humedad también influyen en la medida. Hay fabricantes que ofrecen la desviación de la sensibilidad en función de la temperatura y/o humedad. También aparece el valor del “pico operacional” que marca la máxima amplitud que el transductor puede soportar.

### 9.2.3 Errores comunes en el uso de acelerómetros

Los errores más comunes que se cometen en las mediciones con acelerómetros son debidos a la obtención de parámetros que caracterizan la señal, al registro y procesado de esta señal (resolución y rango de frecuencias) y a incorrecciones en el montaje de medida [1].

Referente al montaje y procedimiento de medida, los puntos importantes que pueden aportar incorrecciones en las medidas o en su interpretación se duelen dar, en general, en los puntos siguientes:

- La planificación de las medidas para lograr los objetivos establecidos
- La selección del tipo de medida que debe hacerse para lograr los objetivos marcados
- La selección de transductores
- El montaje de transductores
- El montaje de cables (incluyendo recubrimiento y toma de tierra)

#### A. Planificación de la medición

Una planificación cuidadosa previa a las pruebas (y, en el caso de un programa de medición complejo, la correspondiente documentación detallada) puede ahorrar mucho tiempo en la realización de las mediciones y asegura que se obtiene la información más útil a partir de los datos examinados.

El primer paso de la planificación es definir el propósito de la medición y qué se va a medir. La planificación debe comenzar con una definición clara de los objetivos del ensayo, incluyendo la precisión y fiabilidad requeridas.

El segundo paso es definir aquellos factores no relacionados con el equipamiento que influyen sobre la selección del equipo y las técnicas de medición.

A continuación, hay que considerar distintos factores, por ejemplo, es importante tener cierta estimación de las características del movimiento que se va a medir: su rango de frecuencia, amplitud, rango dinámico, duración y dirección principal del movimiento. Esta información es necesaria para definir las bases de una selección óptima del equipamiento de medida.

#### B. Selección del parámetro a medir

A menudo, la selección del parámetro a medir (desplazamiento, velocidad, aceleración o tensión) está predeterminada por las especificaciones o las normas. También se puede aplicar la regla del



espectro más plano, buscando el espectro obtenido que sea más uniforme. En el caso de querer comprobar los objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior según el Real Decreto 1367/2007 [3], debe asegurarse que puede medirse en un rango entre 1 y 80 Hz, y con un banco de filtros de tercio de octava.

### C. Selección del transductor

En la selección del transductor que mejor se ajuste a una medición determinada hay que tener en cuenta distintos factores, sobre todo los relacionados con los parámetros a medir, las características del movimiento a medir, las condiciones ambientales y las características del transductor. Si la consideración de distintos factores conduce a recomendaciones opuestas, hay que determinar su importancia relativa y, sobre esta base, tomar una decisión.

Por ejemplo, consideremos dos factores que influyen en la selección de un acelerómetro piezoeléctrico: sensibilidad y masa. Teniendo en cuenta la sensibilidad, el transductor debería ser de gran tamaño. Si se piensa en la masa, este debe ser de pequeño tamaño, con el fin de minimizar la carga sobre el elemento de examen. El tamaño pequeño supone una ventaja porque la frecuencia natural de una estructura desciende al añadirle masa. Por tanto, se elegiría el transductor más sensible (y por tanto de mayor tamaño) que no produzca una carga de masa significativa.

### D. Tipos de montajes del transductor

Existen distintos métodos de montaje de un transductor sobre una superficie de ensayo:

- Adherir el transductor a la superficie de ensayo con cinta adhesiva
- Montar el transductor sobre la superficie de ensayo mediante una capa de cera.
- Conectar el transductor a una superficie ferromagnética mediante un imán permanente, montaje magnético
- Montar el transductor sobre un apoyo que, a su vez, está montado sobre la superficie de ensayo
- Sujetar el transductor sobre la superficie con la mano.

El método de montaje afecta a la frecuencia de resonancia y, por tanto, al rango de frecuencia útil del transductor. Cada uno de los métodos de montaje tiene ventajas y desventajas. La elección adecuada para un problema de medida concreto depende del efecto del montaje sobre el rango de frecuencias útil, el efecto de la carga de masa, el nivel máximo de vibración que soporta, su temperatura máxima de funcionamiento, la precisión de la medida, la estabilidad del montaje en el tiempo, las condiciones de la superficie a ensayo, la dificultad de limpieza del transductor, problemas ambientales, etc.

### E. Descripción de los montajes

En el caso de atornillado del transductor sobre la superficie de ensayo mediante un taco enroscado, el transductor se fija a la superficie de ensayo mediante un tornillo de metal. El taco de metal es reemplazado por otro fabricado con un metal aislante y se inserta una arandela de mica entre la superficie y el transductor. Este montaje suele ser el mejor ya que se obtiene la frecuencia de

resonancia más alta, permite medir niveles de vibración muy altos sin que el transductor se separe de la superficie de ensayo, no reduce la máxima temperatura de funcionamiento permisible a que pueden realizarse las medidas y permite resultados precisos y reproducibles, ya que la posición de medida siempre puede duplicarse.

Cuando no es posible utilizar un montaje con taco, el transductor puede unirse a la superficie mediante una fina capa de ligante (por ejemplo, cianoacrilato, dental y EPOXY). Este método suele aportar una respuesta en frecuencia buena y puede usarse con niveles altos de vibración si las superficies se preparan cuidadosamente. Este tipo de montaje mantiene buena estabilidad a lo largo del tiempo.

Para el montaje con cera suele utilizarse la cera de abeja o la cera de base de petróleo para conectar el transductor con una superficie de ensayo plana. Si la capa conectora es delgada, es posible obtener una frecuencia de resonancia casi tan alta como la del montaje con tacos, pero si la superficie de examen no es lisa, se precisa una capa de cera más gruesa que tiene como consecuencia la reducción de la frecuencia de resonancia. Si las superficies a unir están muy limpias y libres de vapor, es relativamente fácil montar el transductor. Éste puede retirarse rápidamente mediante un disolvente. Las desventajas de este método incluyen la posibilidad de que el transductor se desprege a niveles de vibración muy altos, la limitación de temperatura debido al punto relativamente bajo en que se derrite la cera y la baja estabilidad del montaje a largo plazo.

El montaje con cinta adhesiva es otra opción. Puede utilizarse una película adhesiva para montar un transductor pequeño sobre una superficie de examen plana y limpia; habitualmente mediante una cinta adhesiva de doble cara. Algunos fabricantes de transductores ofrecen discos adhesivos de doble cara. Esta técnica de montaje, es rápida y fácil de aplicar. Más aún, este montaje tiene la ventaja de aportar aislamiento eléctrico entre el transductor y la superficie de examen y no requiere practicar agujeros sobre ésta. Es aplicable sobre todo con transductores que no tengan agujero en su base. Estos adhesivos ofrecen una conexión segura sobre un rango limitado de temperaturas. Al preparar un montaje adhesivo, es importante limpiar tanto el acelerómetro como la superficie de ensayo, con el fin de que se adhieran firmemente.

En el montaje magnético, un imán permanente conecta el transductor a la superficie de ensayo, que debe ser ferromagnética, plana, libre de partículas de suciedad y razonablemente suave. El montaje magnético es útil para medir niveles bajos de aceleración. El transductor puede conectarse fácilmente a la superficie y moverse rápidamente de un punto de medida a otro. Por ejemplo, en un sistema de aire acondicionado, puede utilizarse para determinar la localización de medida adecuada en la que montar un transductor permanentemente sobre una gran máquina rotatoria. También es utilizable en cualquier superficie metálica.

En el caso que se utilice el transductor sujeto con la mano contra la superficie de ensayo ofrece peor rendimiento que cualquiera de las técnicas descritas anteriormente, pero a veces puede resultar útil para hacer un sondeo rápido de la superficie, ya que la localización de la medida puede cambiarse más rápidamente que con cualquier método de montaje. Por lo general, una barra (denominada sonda), con rosca en un extremo, se atornilla al transductor; el otro extremo tiene una punta que se presiona contra la superficie de ensayo. La respuesta en frecuencia es muy restringida, aproximadamente de 20 a 1000 Hz.

## F. Cables e instalación eléctrica

Por último, otro elemento que influye en la medición son los cables y la instalación eléctrica. La elección del cable más adecuado depende fundamentalmente de la aplicación concreta, del transductor, de la longitud del cable, del tipo de amplificador y de las condiciones ambientales.

En general, los cables deben tratarse con el mismo cuidado que los transductores en los sistemas de medición de vibración. Algunas recomendaciones clásicas son las siguientes:

- Conectar el cable coaxial al transductor haciendo girar el conector dentro de la rosca del transductor (no al revés), con el fin de evitar dañar las puntas.
- Sujetar el cable para que no se mueva, cerca del transductor y a intervalos regulares.
- En ambiente de humedad alta, forzar una cierta curvatura del cable cerca del conector para permitir que la condensación se escurra antes de alcanzar el conector.
- Limpiar el conector del cable antes de utilizarlo.
- Comprobar la continuidad eléctrica si se observan señales intermitentes, flexionando el cable cerca del conector.

## 9.3. Objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior según el Real Decreto 1367/2007

### 9.3.1. Definición del índice de vibración

El índice de vibración  $L_{aw}$  se aplica para evaluar la molestia y los niveles de vibración máximos, durante el periodo temporal de evaluación, en el espacio interior de edificios, y se determina mediante la fórmula siguiente [2]:

$$L_{aw} = 20 \log \frac{a_w}{a_0} (dB)$$

siendo:

$a_w$  ( $m/s^2$ ): máximo valor del valor eficaz (RMS) de la señal de aceleración, con ponderación en frecuencia,  $W_m$ , (véase Tabla 9.5) en el tiempo  $t$ .

$a_0$  ( $m/s^2$ ): aceleración de referencia,  $10^{-6} m/s^2$ .

El valor eficaz  $a_w(t_0)$  se obtiene mediante promedio exponencial con constante de tiempo SLOW (1 s). Se considera el valor máximo de la medición de  $a_w$ , y se define de la manera siguiente:

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{1/2}$$



donde:

$a_w(t)$ : aceleración instantánea ponderada en frecuencia.

$\tau$ (s): tiempo de integración para el promedio móvil (Se recomienda  $\tau = 1$  s)

$t$ (s): tiempo, variable de integración.

$t_0$ (s): tiempo de observación (tiempo instantáneo).

La expresión anterior se puede aproximar, definiendo una integración lineal, a la expresión exponencial siguiente:

$$a_w(t_0) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{t_0} [a_w(t)]^2 \exp\left[\frac{t-t_0}{\tau}\right] dt}$$

La diferencia de los resultados con y sin la aproximación lineal es muy pequeña para las aplicaciones a choques de corta duración, y pueden existir diferencias de hasta un 30% cuando se aplica a choques y vibraciones transitorias de larga duración. Se toma como definición del valor máximo de vibración transitoria, MTVV, necesario para el cálculo del índice de vibración,  $L_{aw}$ , el valor máximo de la expresión anterior:

$$MTVV = \text{máx.}[a_w(t_0)]$$

### 9.3.2. Objetivos de calidad y su cumplimiento

En el Real Decreto 1367/2007 [3] se establecen como objetivos de calidad acústica para el ruido y para las vibraciones, la no superación en el espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales de los valores de los índices de inmisión de ruido y de vibraciones.

Los valores de la Tabla 9.3, que se indican a continuación, se consideran límite, para el caso de vibraciones:

**Tabla 9.3. Objetivos de calidad acústica para vibraciones aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales**

Uso del edificio	Índice de vibración $L_{aw}$ (dB)
Vivienda o uso residencial	75
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72

Para el cumplimiento de los objetivos de calidad referentes a vibraciones es necesario definir los siguientes periodos temporales: día, comprendido entre las 07:00 y 23:00 horas; noche, comprendido entre las 23:00 y 07:00 horas.

Los valores del índice de vibraciones,  $L_{aw}$ , evaluados según se indica en los procedimientos detallados en el punto siguiente, deben cumplir:

- En el caso de vibraciones estacionarias, ningún valor del índice puede superar los valores fijados en la Tabla 9.3.
- En el caso de vibraciones transitorias, han de tenerse en cuenta los límites siguientes:
  - En el periodo nocturno no se permite ningún exceso de los valores establecidos en la Tabla 9.3.
  - En ningún caso se permiten excesos mayores que 5 dB.
  - El conjunto de excesos no debe ser mayor de 9. Si el evento no supera los 3 dB se contabilizará como 1 y si los supera será contabilizado como 3. Esta limitación nos dice que no todo exceso tiene el mismo peso.

Veamos un ejemplo: Se realizan 15 mediciones de la aceleración en un centro educativo.

Un conjunto de valores del índice de vibración para cada una de las mediciones y los excesos con sus pesos se presentan en la Tabla 9.4. El valor del índice de vibración límite para un centro educativo, tomado como ejemplo, es de 72 dB.

**Tabla 9.4. Ejemplo del peso de cada exceso para mediciones realizadas en un centro educativo**

Índices de Vibración (dB)	Valor Límite (dB)	Exceso	Peso Exceso
68	72	no	0
70	72	no	0
71	72	no	0
73	72	si	1
75	72	si	1
66	72	no	0
69	72	no	0
69	72	no	0
70	72	no	0
71	72	no	0
78	72	si	3
78	72	si	3
68	72	no	0
68	72	no	0
72	72	no	0
Total Excesos			8

### 9.3.3. Métodos de evaluación para el índice de vibraciones

En la norma de referencia [8] se detallan los métodos de evaluación para el índice de vibraciones. Son los siguientes:

#### A. Método con instrumentos con la ponderación frecuencial $W_m$ :

Este método se utilizará para evaluaciones de precisión y requiere de equipamiento que disponga de ponderación frecuencial  $W_m$  (véase Tabla 9.5).

La evaluación del índice de vibraciones mediante este método debe incluir siempre mediciones del valor eficaz de la aceleración ponderada (r.m.s), este parámetro ha sido definido en el punto 9.3.1. En la práctica se puede escribir como:

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2}$$

donde:

$a_w(t)$ : aceleración ponderada translacional en  $m/s^2$  ( $rad/s^2$  si la aceleración es rotacional)

$T(s)$ : duración de la medición.

El valor máximo del valor eficaz nos marcará el índice de vibraciones:

$$MTVV = \text{máx}(a_w)$$

Tal y como se indica en la normativa, pueden existir algunos casos donde este método de evaluación básico pueda subestimar los efectos de las vibraciones. El factor de cresta puede usarse para averiguar si el método de evaluación es adecuado para describir la importancia de las vibraciones en relación con sus efectos sobre los seres humanos.

Este factor de pico se define como el módulo de la relación entre el máximo valor de pico instantáneo de la señal de la aceleración ponderada en frecuencia y su valor r.m.s. Para vibraciones con factores de pico inferior o igual a 9, el método de evaluación descrito anteriormente es suficiente. En los casos en los que no sea suficiente, se recomienda seguir el método detallado de la norma [8].

#### B. Método numérico

Cuando los instrumentos de medición no posean ponderación frecuencial y/o detector de medida exponencial, se puede recurrir a la grabación de la señal sin ponderación y posterior tratamiento de datos de conformidad al método descrito anteriormente.



### C. Cálculo de la ponderación frecuencial $W_m$

Cuando los instrumentos no dispongan de la ponderación frecuencial  $W_m$  se realizará un análisis espectral, con resolución mínima de banda de tercio de octava.

El análisis consiste en obtener la evolución temporal de los valores eficaces de la aceleración con un detector de media exponencial de constante de tiempo 1 s (SLOW) para cada una de las bandas de octavas de interés en vibraciones, desde 1 Hz hasta 80 Hz y con una periodicidad de 1 segundo como mínimo para toda la duración de la medición. A continuación, se multiplica cada uno de los espectros obtenidos por el valor de la ponderación frecuencial,  $W_m$ . En la tabla siguiente se detallan estos valores de ponderación frecuencial.

**Tabla 9.5. Valores de ponderación  $w_m$  para las frecuencias centrales de las bandas de tercio de octava de 1 Hz hasta 80 Hz**

Hz	$W_m$	
	Factor	dB
1	0.833	-1.59
1.25	0.907	-0.85
1.6	0.934	-0.59
2	0.932	-0.61
2.5	0.910	-0.82
3.15	0.872	-1.19
4	0.818	-1.74
5	0.750	-2.50
6.3	0.669	-3.49
8	0.582	-4.70
10	0.494	-6.12
12.5	0.411	-7.71
16	0.337	-9.44
20	0.274	-11.25
25	0.220	-13.14
31.5	0.176	-15.09
40	0.140	-17.10
50	0.109	-19.23
63	0.0834	-21.58
80	0.0604	-24.38

Seguidamente se obtendrán los valores de aceleración global ponderada para los distintos instantes de tiempo mediante la expresión:

$$a_{w,i} = \sqrt{\sum_j (W_{mj} a_{w,ij})^2}$$

donde:

$a_{w,ij}$  ( $m/s^2$ ): valor eficaz de la señal de aceleración para cada una de las bandas de tercio de octava ( $j$ ) y para los distintos instantes de la medición ( $i$ ).

$W_{m,j}$ : valor de la ponderación frecuencial  $W_m$  para cada una de las bandas de tercio de octavas ( $j$ ).

$a_{w,i}$ : valor eficaz de la señal de aceleración global ponderada para los distintos instantes de la medición.

Finalmente, se escoge el valor máximo de las distintas aceleraciones globales:

$$a_w = \max \{ a_{w,i} \}_i$$

El procedimiento que se acaba de describir no es adecuado cuando se miden vibraciones transitorias, debido a la respuesta lenta de los filtros de tercio de octava de más baja frecuencia, 108 s, respecto a la respuesta SLOW. Su aplicación queda limitada a vibraciones de tipo estacionario.

### 9.3.4. Procedimientos de medición de vibraciones

A continuación se detalla el procedimiento de medición in situ utilizado para la evaluación del índice de vibración.

Previamente a la realización de las mediciones es preciso identificar los posibles focos de vibración, las direcciones dominantes y sus características temporales.

Las mediciones se realizarán sobre el suelo en el lugar y momento de mayor molestia y en la dirección dominante de la vibración si esta existe y es claramente identificable. Si la dirección dominante no está definida se medirá en tres direcciones ortogonales simultáneamente, obteniendo el valor eficaz  $a_{w,i}(t)$  en cada una de ellas y el índice de evaluación como suma cuadrática, en el tiempo  $t$ , aplicando la expresión siguiente:

$$a_w(t) = \sqrt{a_{w,x}^2(t) + a_{w,y}^2(t) + a_{w,z}^2(t)}$$

Esta expresión es una simplificación de la expresión general dada por la norma UNE-ISO 2631-1:2008 [8]. En esta norma se da la expresión:

$$a_v = \left( k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2 \right)^{1/2}$$

donde el valor total de la aceleración r.m.s. se recomienda para la evaluación del bienestar y los factores de multiplicación,  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  toman diferentes valores siendo la unidad en el caso del estudio de la vibración en el suelo.

Para la medición de vibraciones generadas por actividades se distinguirá entre vibraciones de tipo estacionario o transitorio. En el caso de vibraciones de tipo estacionario, se recomienda realizar la medición en el régimen de funcionamiento más desfavorable y al menos durante 1 minuto. Si este régimen de funcionamiento no es fácilmente identificable, se medirá al menos durante 1 minuto en todos los regímenes de funcionamiento. Si es de tipo transitorio, se distinguirá en la medición el periodo diurno del nocturno, contabilizando el número de eventos máximo esperable.

Cuando las vibraciones sean ocasionadas por infraestructuras se distinguirá igualmente entre tipo estacionario o transitorio. El tráfico rodado en vías de gran circulación se puede considerar estacionario. En este caso el procedimiento también distingue entre ipo estacionario o transitorio:

- Tipo estacionario: la medición se realizará durante el periodo de mayor intensidad (principalmente para vehículos pesados) y al menos durante 5 minutos. Si no se conocen datos del tráfico de la vía a estudio se realizarán mediciones durante un día completo.
- Tipo transitorio: se distinguirá en la medición el periodo diurno del nocturno, contabilizando el número de eventos máximo esperable.

Si las vibraciones a estudio se dan en episodios reiterativos, se puede, bien realizar tres mediciones y dar el resultado más alto, bien realizar medidas en 6 o más eventos y caracterizar la vibración mediante un valor medio y una desviación típica.

Antes y después de cada medición debe verificarse toda la cadena de medición con un calibrador de vibraciones.

### 9.3.5. Ejemplos de medición y limitaciones

En este punto se muestra un caso de una medición realizada en el interior de una vivienda en la que se registra la vibración del paso de un tren. En la Tabla 9.6 se muestran las mediciones realizadas. En el caso ensayado, hay que tener la precaución de comprobar si la referencia del equipo es  $a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$ . En muchos equipos este valor es configurable y puede ser cualquier otro valor. En la Tabla 9.7 se muestran los datos de los índices de vibración para cada ensayo y el valor máximo, con la operativa de cálculo a través de los pesos. En el caso que nos ocupa,  $L_{aw} = 61 \text{ dB}$ .



Tabla 9.6. Mediciones de niveles de aceleración

Frecuencia	Ponderación frecuencial	Valores medidos de los niveles de aceleración para las i=5 medidas realizadas				
f (Hz)	Wm	M1(i=1)	M2 (i=2)	M3 (i=3)	M4(i=4)	M5(i=5)
1	0,833	24	29	20	14	19
1,25	0,907	31	33	29	23	19
1,6	0,934	35	35	33	24	22
2	0,932	40	38	35	30	27
2,5	0,91	42	44	41	31	29
3,15	0,872	44	50	45	33	28
4	0,818	47	51	48	30	32
5	0,75	52	54	53	30	31
6,3	0,669	54	55	54	29	28
8	0,582	45	52	50	29	27
10	0,494	46	56	46	34	28
12,5	0,411	56	64	51	46	34
16	0,337	56	59	53	39	38
20	0,274	50	61	55	38	44
25	0,22	47	59	55	41	47
31,5	0,176	43	49	47	46	48
40	0,14	44	42	45	40	43
50	0,109	37	39	44	48	46
63	0,0834	38	36	39	53	45
80	0,0604	38	37	39	53	47

En la Figura 9.6 se representan gráficamente los valores de las cinco mediciones que aparecen en la Tabla 9.6.

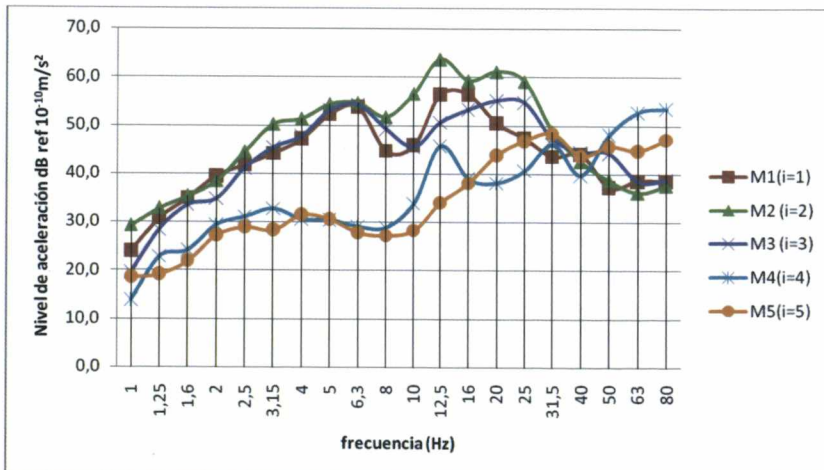


Figura 9.6. Representación de las mediciones de niveles

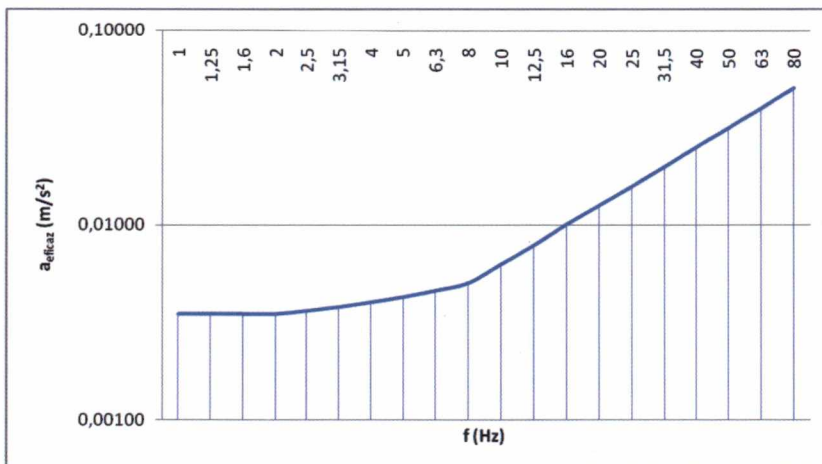
**Tabla 9.7. Índices de vibración (dB) para los niveles de la Tabla 9.6**

Índice de vibración (dB) para cada una de las 5 medidas realizadas	M1(i=1)	M2 (i=2)	M3 (i=3)	M4(i=4)	M5(i=5)
$L_{aw,i}$	56,3	61	56,5	42,7	41,1

Como curiosidad, si tomásemos la curva de  $K = 1$  como valor de aceleración eficaz de referencia en un caso límite (véase Figura 9.7), y aplicamos el procedimiento para obtener el índice de vibración, el valor obtenido es de 83 dB, con lo que este caso límite no cumpliría los objetivos de calidad definidos en la Tabla 9.3. Esto no quiere decir que no se cumpla nunca, pero indica que habrá casos en los que podemos estar por debajo de la curva  $K = 1$  y no cumplir el objetivo de calidad. Con este criterio, tomando siempre el valor límite de cada curva  $K$ , se puede obtener una expresión que relaciona  $L_{aw}$  y  $K$ :

$$L_{aw} \leq 83 + 20 \log K$$

La igualdad se cumpliría para el caso peor.



**Figura 9.7. Curva  $K=1$**

## 9.4. Reducción de vibraciones

### 9.4.1. Teoría básica de amortiguación

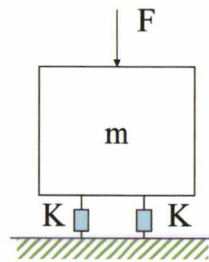
Dada una máquina vibrante, ésta transmite parte de la vibración al aire (ruido aéreo) y otra parte a la bancada (vibración). Tomando como sistema base el de la Figura 9.8, donde se supone sólo existe amortiguamiento en los muelles, la transmisión, de forma simplificada es [11] [5]:

$$T = \frac{1}{\left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2 - 1}$$

donde:

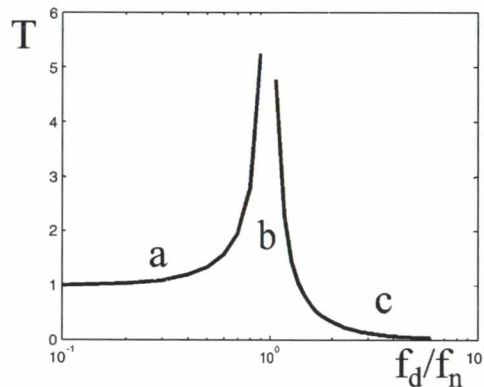
$f_d$ : frecuencia de la fuerza

$f_n$ : frecuencia natural de los muelles aisladores



*Figura 9.8. Sistema Masa-muelle base*

La expresión anterior se representa en la Figura 9.9.



*Figura 9.9. Análisis de la transmisión*

Se pueden observar las zonas siguientes:

- Zona a: Transmisión total, con  $f_n \gg f_d$ . No hay efecto de los muelles
- Zona b: Resonancia, la transmisión se dispara, con  $f_n = f_d$ .
- Zona c: La transmisión disminuye con  $f_n \ll f_d$ .



Por tanto, en una primera aproximación, el sistema empieza a reducir su transmisión si se cumple que:

$$f_d > \sqrt{2}f_n$$

Es decir, el sistema empieza a reducir la transmisión a partir de una frecuencia. Con la expresión anterior se puede determinar la transmisión a una frecuencia determinada. La frecuencia natural del sistema masa-muelle (no amortiguado) se obtiene de la ecuación siguiente:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

donde:

$k$  (N/m) es la constante elástica (rigidez) del muelle

$m$  (kg) es la masa

En esta ecuación es fácilmente visible que el aumento de masa reduce la frecuencia natural y que si la rigidez aumenta, la frecuencia natural también aumentará. Si el sistema tiene mecanismos de absorción, su frecuencia natural es un poco más baja y depende de lo importante que sea ésta.

La rigidez del amortiguador está asociada a los parámetros elásticos de éste. En función de si trabaja a cortadura o a compresión, las expresiones que lo relacionan, en aquellos materiales donde se puedan utilizar, son las siguientes:

$$k = \frac{GA}{t} \quad (\text{a cortadura})$$

$$k = \frac{EA}{t} \quad (\text{a compresión})$$

donde:

$G$  (N/m<sup>2</sup>): módulo de rigidez

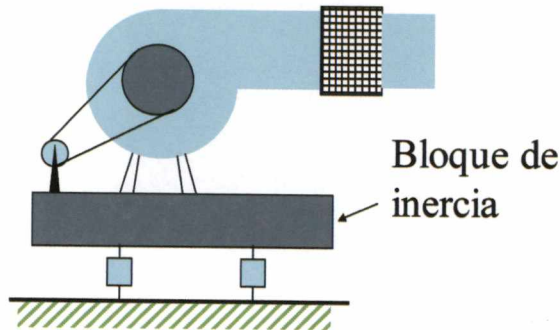
$E$  (N/m<sup>2</sup>): módulo de Young

$A$  (m<sup>2</sup>): superficie de carga

$t$ (m): espesor del amortiguador

Estas variables relacionan la superficie de carga asociada al amortiguador, y el espesor  $t$  necesario para él.

Hay que recordar que la vibración que no se transmite al suelo colindante, vuelve en su mayoría a la maquinaria. Por tanto, el sistema de amortiguación puede producir que haya un exceso de vibración en la maquinaria y producir su rotura. En estos casos en que la vibración de la máquina es elevada, se puede utilizar lo que se conoce como bloque de inercia. Toda la maquinaria se instala sobre una losa que puede absorber buena parte de las vibraciones que vuelvan hacia la maquinaria (véase figura 9.10).



*Figura 9.10. Esquema de montaje de un bloque de inercia*

Con una losa de hormigón, por ejemplo, descansa toda la maquinaria vibrante. Ésta se suspende por unos amortiguadores que van a la estructura. El exceso de masa dada por la losa debe cuantificarse como masa adicional en los cálculos de la frecuencia natural.

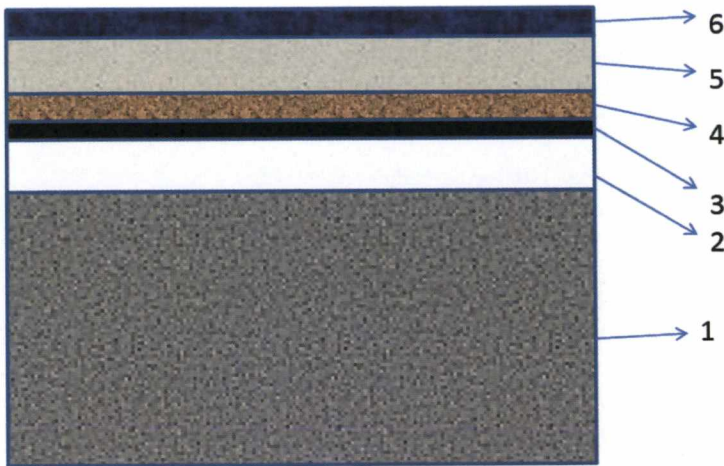
El bloque de inercia, además, puede utilizarse para regular el centro de gravedad y las desviaciones en las asimetrías de las diferentes partes que pueden componer una maquinaria y que pueden producir momentos de giro, y por tanto, hacer que con el tiempo la máquina tenga mayor tendencia a la rotura.

#### **9.4.2. Suelo flotante: eficacia y limitaciones**

El suelo flotante es una solución pensada para reducir el ruido de impacto en el interior de las edificaciones, a la que a veces se le suponen propiedades para reducir también vibraciones de maquinaria. Hay que tener en cuenta que el ruido de impacto se genera en unas condiciones diferentes, con gran densidad espectral, asociada a la generación de transitorios por golpes, ruidos de pasos, etc.

Una máquina en régimen estacionario estaría produciendo un espectro de armónicos de vibración con una frecuencia fundamental y múltiplos a altas frecuencias. Por tanto, el tipo de fuente de ruido es diferente. Sin embargo, en el caso de maquinaria ligera, con masas de cientos de kilos como mucho podríamos pensar, por afinidad con los sistemas de amortiguación, que el suelo flotante también podría ser eficiente.

Un esquema típico, a base de mortero de compresión, se muestra en la Figura 9.11. En este esquema algunas capas pueden no existir, como la de arena. Las capas 4 a 6 podrían cambiarse por un suelo de madera u otro material, o cambiar de espesor.



1. Forjado Base
2. Lámina flotante
3. Lámina impermeable/flotante
4. Capa de arena. Espesor 2 cm. o mayor
5. Capa de mortero. Espesor 2 cm. o mayor
6. Pavimento

*Figura 9.11. Suelo flotante*

La rigidez dinámica es uno de los parámetros que determina el aislamiento acústico de los suelos flotantes en viviendas y que sirve para valorar la mejora a ruido de impacto.

El ensayo estándar es la determinación de la rigidez dinámica aparente por unidad de superficie de la muestra objeto de ensayo, mediante un método de resonancia en el que se mide la frecuencia de resonancia de la vibración vertical fundamental de un sistema masa-muelle, en el que la masa es la placa de carga y el muelle es una muestra del material elástico objeto de ensayo [9].

La rigidez dinámica aparente por unidad de superficie de la muestra tomada de lámina flotante,  $s'_t$  ( $N/m^3$ ), se puede obtener, bajo ciertas condiciones y limitaciones, de la relación:

$$s'_t = 4\pi^2 m'_t f_r^2$$

donde:

$m'_t$  ( $kg/m^2$ ): masa total por unidad de superficie empleada durante el ensayo

$f_r$  (Hz): frecuencia de resonancia extrapolada

Además, este parámetro está sometido a los efectos de la resistividad al flujo de aire del material.



A partir de la rigidez dinámica del material elástico, se puede obtener la frecuencia natural del sistema conformado por el suelo flotante. Para ello se aplica la relación:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'_t}{m'_t}}$$

donde  $m'_t$  debe ser la masa por unidad de área de la losa flotante colocada encima de la lámina elástica. En ésta deberían contemplarse todos los elementos de masa encima de la lámina elástica.

Supongamos por ejemplo que sobre un forjado base hemos colocado una lámina elástica de  $30 \text{ MN/m}^3$  aproximadamente y después un mortero de compresión de unos 5 cm con un pavimento de gres que puede aportar  $150 \text{ kg/m}^2$ . La frecuencia natural del suelo es de 71 Hz. Este sistema empezaría a reducir la vibración a partir de unos 100 Hz, con lo cual el sistema no sería efectivo.

Si cambiásemos la lámina por otra de  $5 \text{ MN/m}^3$  aproximadamente, la frecuencia bajaría a 29 Hz, con lo que empezaría a notarse reducción a partir de los 42 Hz. El aumento de carga a  $200 \text{ kg/m}^2$  podría producir cierta mejora y llegar hasta 25 Hz de frecuencia natural. Es aquí donde se puede conseguir algo de eficiencia del suelo flotante, para máquinas poco pesadas, que no “aplasten” la lámina y con láminas cuyo espesor permita la suficiente compresión. En la Figura 9.12 se muestra un esquema resumen.

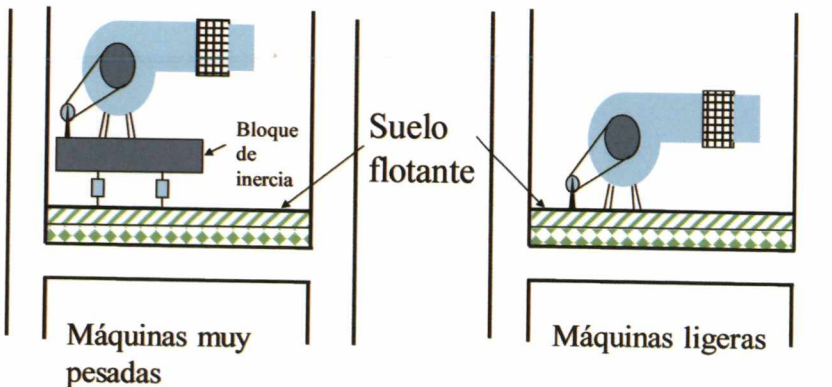


Figura 9.12. Esquemas de montaje

#### 9.4.3. Diseño básico de un sistema de amortiguación

Supongamos que un compresor de aire acondicionado de 100 kg, utilizado habitualmente para climatizar una vivienda se ha colocado en la cubierta de un edificio. Consideremos también que la máquina vibra a una frecuencia de 50 Hz. Queremos disminuir su transmisión como mínimo un 90 %.

En primer lugar se puede realizar el cálculo a través de la expresión simplificada de transmisión:

$$T = \frac{1}{\left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2 - 1}$$

Despejando:

$$f_n = f_d \sqrt{\frac{T}{T+1}}$$

Si queremos una transmisión de un 10%, la frecuencia natural del muelle debe ser de 15,1 Hz. Debemos diseñar unos amortiguadores con esa frecuencia natural.

Supongamos ahora que colocamos cuatro amortiguadores iguales, soportando cada uno la cuarta parte del peso, es decir, 980 N distribuidos entre los cuatro muelles, 245 N por muelle. Esta suposición es la misma que tener en cuenta 25 kg de masa para cada uno de los muelles. Con estos datos podemos obtener la rigidez de los muelles, mediante la expresión:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Despejando:

$$k = m(2\pi f_n)^2$$

donde la rigidez dinámica  $k$  es de 448618 N/m. Es común expresar este parámetro en kg/cm. En nuestro caso 457,8 kg/cm.

En la práctica, los fabricantes ofrecen los sistemas de amortiguación dando los datos siguientes:

- A partir de qué régimen de trabajo en rpm, en las que el amortiguador funciona
- Frecuencia natural aproximada en función de la masa de carga
- Datos como carga máxima y mínima que el muelle soporta, así como el caso óptimo.
- Datos de la flecha mínima y máxima, y la óptima (asociada a la capacidad de compresión del muelle, véase Figura 9.13).

Carga estática en daN y Flecha				
Carga MÍNIMA	Flecha MÍNIMA	Carga MÁXIMA	Flecha MÁXIMA	Carga ÓPTIMA
1	5	6	25	2-4



Figura 9.13. Ejemplo de datos

Hay que tener en cuenta además, que el material tiene que tener un espesor suficiente para poder abordar las compresiones – expansiones que le supone tener una carga.

## 9.5 Bibliografía

- [1] Cyril Manton H., *Manual de medidas acústicas*, McGriw-Hill, Interamericana de España D.L, 1995.
- [2] Decreto 78/1999, *Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid*. B.O.C.M. martes 8 de Junio de 1999.
- [3] Decreto, *Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas*. BOE nº 254, sec. 1 Pág. 42952 a 42973, de 23 de octubre de 2007.
- [4] Decreto, *Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental*. BOE nº 301, sec. 1 Pág. 41356 a 41363, de 17 de diciembre de 2005.
- [5] Josse R., *La acústica en la construcción*, Gustavo Gili, 1975.
- [6] Ley, *Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica*. DOGV nº 4394, de 9 de diciembre de 2002.
- [7] Norma ISO 2631-2:2003. *Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*. 2003.
- [8] Norma UNE-ISO 2631-1:2008. *Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 1: Requisitos generales*. 2008
- [9] Norma UNE EN ISO 29052-1: 1994 *Acústica. Determinación de la rigidez dinámica. Parte 1: Materiales utilizados bajo suelos flotantes en viviendas. (ISO 9052-1.1989). (Versión oficial EN 29052-1:1992)*.1994



[10] Ordenanza, *Ordenanza municipal de protección contra la Contaminación acústica*. BOP nº 151 de Valencia, de 26 de Junio de 2008.

[11] P. Ochoa, M. Villegas, J.L. Pons, M.A. Bengochea, J.F. Fernández, "*Piezocomposites metal-cerámica como elementos activos en acelerómetros*", Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio, 41 [1] 126-130 .2002

Anejo 1  
Legislación sobre Acústica Ambiental

**DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO**  
**de 25 de junio de 2002**  
**sobre evaluación y gestión del ruido ambiental**

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea y, en particular, el apartado 1 de su artículo 175,

Vista la propuesta de la Comisión <sup>(1)</sup>,

Visto el dictamen del Comité Económico y Social <sup>(2)</sup>,

Visto el dictamen del Comité de las Regiones <sup>(3)</sup>,

De conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 251 del Tratado <sup>(4)</sup>, a la vista del texto conjunto aprobado por el Comité de Conciliación el 8 de abril de 2002,

Considerando lo siguiente:

- (1) En el marco de la política comunitaria debe alcanzarse un grado elevado de protección del medio ambiente y la salud, y uno de los objetivos a los que debe tenderse es la protección contra el ruido. En el Libro Verde sobre política futura de lucha contra el ruido, la Comisión se refiere al ruido ambiental como uno de los mayores problemas medioambientales en Europa.
- (2) En su Resolución de 10 de junio de 1997 <sup>(5)</sup> sobre el Libro Verde de la Comisión, el Parlamento Europeo respaldó dicho Libro Verde, insistió en la necesidad de establecer medidas e iniciativas específicas en una Directiva sobre reducción del ruido ambiental y puso de manifiesto la falta de datos fidedignos y comparables sobre la situación con respecto a las distintas fuentes de ruido.
- (3) En la Comunicación de la Comisión de 1 de diciembre de 1999 sobre transporte aéreo y medio ambiente se definieron un indicador de ruido común y un método común para medir y calcular el ruido en las inmediaciones de los aeropuertos. Dicha Comunicación se ha tenido en cuenta en las disposiciones de la presente Directiva.
- (4) Algunas categorías de emisiones de ruidos procedentes de determinados productos ya están cubiertas por la legislación comunitaria, como la Directiva 70/157/CEE del Consejo, de 6 de febrero de 1970, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos a motor <sup>(6)</sup>, la Directiva 77/311/CEE del

Consejo, de 29 de marzo de 1977, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro en los oídos de los conductores de tractores agrícolas o forestales de ruedas <sup>(7)</sup>, la Directiva 80/51/CEE del Consejo, de 20 de diciembre de 1979, relativa a la limitación de las emisiones sonoras de las aeronaves subsónicas <sup>(8)</sup> y las Directivas que la completan, a saber, la Directiva 92/61/CEE del Consejo, de 30 de junio de 1992, relativa a la recepción de los vehículos de motor de dos o tres ruedas <sup>(9)</sup> y la Directiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2000, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre emisiones sonoras en el entorno debidas a las máquinas de uso al aire libre <sup>(10)</sup>.

- (5) La presente Directiva debe, entre otras cosas, proporcionar una base para desarrollar y completar el conjunto de medidas comunitarias existente sobre el ruido emitido por las principales fuentes, en particular vehículos e infraestructuras de ferrocarril y carretera, aeronaves, equipamiento industrial y de uso al aire libre y máquinas móviles, y para desarrollar medidas adicionales a corto, medio y largo plazo.
- (6) Algunas categorías de ruidos, tales como el ruido en el interior de medios de transporte y el generado por actividades domésticas no deben quedar sujetos a la presente Directiva.
- (7) Según el principio de subsidiariedad establecido en el artículo 5 del Tratado, los objetivos del Tratado relativos al logro de un grado elevado de protección del medio ambiente y de la salud se alcanzarán mejor completando la acción de los Estados miembros mediante una acción comunitaria que permita encontrar un terreno común de entendimiento respecto al problema del ruido. Por consiguiente, los datos sobre los niveles de ruido ambiental se deben recabar, cotejar y comunicar con arreglo a criterios comparables. Esto supone el uso de indicadores y métodos de evaluación armonizados, así como de criterios de adaptación de la cartografía del ruido. Es la Comunidad quien mejor puede establecer esos criterios y métodos.

<sup>(1)</sup> DO C 337 E de 28.11.2000, p. 251.

<sup>(2)</sup> DO C 116 de 20.4.2001, p. 48.

<sup>(3)</sup> DO C 148 de 18.5.2001, p. 7.

<sup>(4)</sup> Dictamen del Parlamento Europeo de 14 de diciembre de 2000 (DO C 232 de 17.8.2001, p. 305), Posición común del Consejo de 7 de junio de 2001 (DO C 297 de 23.10.2001, p. 49) y Decisión del Parlamento Europeo de 3 de octubre de 2001 (DO C 87 E de 11.4.2002, p. 118). Decisión del Parlamento Europeo de 15 de mayo de 2002 y Decisión del Consejo de 21 de mayo de 2002.

<sup>(5)</sup> DO C 200 de 30.6.1997, p. 28.

<sup>(6)</sup> DO L 42 de 23.2.1970, p. 16; Directiva cuya última modificación la constituye la Directiva 1999/101/CE de la Comisión (DO L 334 de 28.12.1999, p. 41).

<sup>(7)</sup> DO L 105 de 28.4.1977, p. 1; Directiva cuya última modificación la constituye la Directiva 97/54/CE (DO L 277 de 10.10.1997, p. 24).

<sup>(8)</sup> DO L 18 de 24.1.1980, p. 26; Directiva cuya última modificación la constituye la Directiva 83/206/CEE (DO L 117 de 4.5.1983, p. 15).

<sup>(9)</sup> DO L 225 de 10.8.1992, p. 72; Directiva cuya última modificación la constituye la Directiva 2000/7/CE (DO L 106 de 3.5.2000, p. 1).

<sup>(10)</sup> DO L 162 de 3.7.2000, p. 1.



- (8) Es necesario también establecer métodos comunes de evaluación del ruido ambiental y una definición de los valores límite, en función de indicadores armonizados para calcular los niveles de ruido. Los Estados miembros determinarán las cifras concretas de todo valor límite, teniendo en cuenta, entre otras cosas, la necesidad de aplicar el principio de prevención a fin de mantener espacios tranquilos en aglomeraciones.
- (9) Los indicadores de ruidos comunes seleccionados son  $L_{den}$ , para evaluar molestias, y  $L_{night}$ , para evaluar alteraciones de sueño. Será también útil permitir que los Estados miembros empleen indicadores suplementarios para vigilar o controlar situaciones especiales de ruido.
- (10) El cartografiado estratégico de ruidos debe imponerse en determinadas zonas de interés, de manera que puedan recogerse en él los datos necesarios para ofrecer una representación de los niveles de ruido percibidos dentro de dicha zona.
- (11) Los planes de acción deben atender las prioridades de dichas zonas de interés y su elaboración debe correr a cargo de las autoridades competentes, en consulta con la población.
- (12) A fin de conseguir una amplia difusión de la información a la población, es preciso elegir los canales de información más adecuados.
- (13) La recogida de datos y la elaboración de informes adecuados a escala comunitaria son aspectos fundamentales para una futura política comunitaria y para aumentar la información de la población.
- (14) La Comisión debe efectuar regularmente una evaluación de la aplicación de la presente Directiva.
- (15) Las disposiciones técnicas relativas a los métodos de evaluación deben completarse y adaptarse, cuando resulte necesario, al progreso científico y técnico y a la evolución de la normalización europea.
- (16) Las medidas necesarias para la ejecución de la presente Directiva deben aprobarse con arreglo a la Decisión 1999/468/CE del Consejo, de 28 de junio de 1999, por la que se establecen los procedimientos para el ejercicio de las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión (<sup>1</sup>).

HAN ADOPTADO LA PRESENTE DIRECTIVA:

#### Artículo 1

##### Objetivos

1. La presente Directiva tiene por objeto establecer un enfoque común destinado a evitar, prevenir o reducir con carácter prioritario los efectos nocivos, incluyendo las molestias,

de la exposición al ruido ambiental. Con este fin, se aplicarán progresivamente las medidas siguientes:

- a) la determinación de la exposición al ruido ambiental, mediante la elaboración de mapas de ruidos según métodos de evaluación comunes a los Estados miembros;
- b) poner a disposición de la población la información sobre el ruido ambiental y sus efectos;
- c) la adopción de planes de acción por los Estados miembros, tomando como base los resultados de los mapas de ruidos, con vistas a prevenir y reducir el ruido ambiental siempre que sea necesario y, en particular, cuando los niveles de exposición puedan tener efectos nocivos en la salud humana, y a mantener la calidad del entorno acústico cuando ésta sea satisfactoria.

2. Asimismo, la presente Directiva tiene por objeto sentar unas bases que permitan elaborar medidas comunitarias para reducir los ruidos emitidos por las principales fuentes, en particular vehículos e infraestructuras de ferrocarril y carretera, aeronaves, equipamiento industrial y de uso al aire libre y máquinas móviles. Con este fin, la Comisión deberá presentar al Parlamento Europeo y al Consejo, a más tardar el 18 de julio de 2006 las propuestas legislativas oportunas. Dichas propuestas deberían tener en cuenta los resultados del informe a que se refiere el apartado 1 del artículo 10.

#### Artículo 2

##### Ámbito de aplicación

1. La presente Directiva se aplicará al ruido ambiental al que estén expuestos los seres humanos en particular en zonas urbanizadas, en parques públicos u otras zonas tranquilas en una aglomeración, en zonas tranquilas en campo abierto, en las proximidades de centros escolares y en los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido.

2. La presente Directiva no se aplicará al ruido producido por la propia persona expuesta, por las actividades domésticas, por los vecinos, en el lugar de trabajo ni en el interior de medios de transporte, así como tampoco a los ruidos debidos a las actividades militares en zonas militares.

#### Artículo 3

##### Definiciones

A efectos de la presente Directiva se entenderá por:

- a) «ruido ambiental»: el 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 emplazamientos de actividades industriales como los descritos en el anexo I de la Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (<sup>2</sup>);
- b) «efectos nocivos»: los efectos negativos sobre la salud humana;

(<sup>1</sup>) DO L 184 de 17.7.1999, p. 23.

(<sup>2</sup>) DO L 257 de 10.10.1996, p. 26.

- c) «molestia»: el grado de molestia que provoca el ruido a la población, determinado mediante encuestas sobre el terreno;
- d) «indicador de ruido»: una magnitud física para describir el ruido ambiental, que tiene una relación con un efecto nocivo;
- e) «evaluación»: cualquier método que permita calcular, predecir, estimar o medir el valor de un indicador de ruido o el efecto o efectos nocivos correspondientes;
- f) « $L_{den}$ » (Indicador de ruido día-tarde-noche): el indicador de ruido asociado a la molestia global, que se describe en el anexo I;
- g) « $L_{day}$ » (Indicador de ruido diurno): el indicador de ruido asociado a la molestia durante el período diurno, que se describe en el anexo I;
- h) « $L_{evening}$ » (Indicador de ruido en período vespertino): el indicador de ruido asociado a la molestia durante el período vespertino, que se describe en el anexo I;
- i) « $L_{night}$ » (Indicador de ruido en período nocturno): el indicador de ruido correspondiente a la alteración del sueño, que se describe en el anexo I;
- j) «relación dosis-efecto»: la relación entre el valor de un indicador de ruido y un efecto nocivo;
- k) «aglomeración»: la porción de un territorio, delimitado por el Estado miembro, con más de 100 000 habitantes y con una densidad de población tal que el Estado miembro la considera zona urbanizada;
- l) «zona tranquila en una aglomeración»: un espacio, delimitado por la autoridad competente, que, por ejemplo, no está expuesto a un valor de  $L_{den}$  o de otro indicador de ruido apropiado superior a un determinado valor, que deberá determinar el Estado miembro, con respecto a cualquier fuente emisora de ruido;
- m) «zona tranquila en campo abierto»: un espacio, delimitado por la autoridad competente, no perturbado por ruido del tráfico, la industria o actividades recreativas;
- n) «gran eje viario»: cualquier carretera regional, nacional o internacional, especificada por el Estado miembro, con un tráfico superior a tres millones de vehículos por año;
- o) «gran eje ferroviario»: cualquier vía férrea, especificada por el Estado miembro, con un tráfico superior a 30 000 trenes por año;
- p) «gran aeropuerto»: cualquier aeropuerto civil, especificado por el Estado miembro, con más de 50 000 movimientos por año (siendo movimientos tanto los despegues como los aterrizajes), con exclusión de los que se efectúen únicamente a efectos de formación en aeronaves ligeras;
- q) «mapa de ruido»: la presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indicará el rebasamiento de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica;
- r) «mapa estratégico de ruido»: un mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona;
- s) «valor límite»: un valor de  $L_{den}$  o  $L_{night}$  o en su caso  $L_{day}$  y  $L_{evening}$ , determinado por el Estado miembro, que, de superarse, obliga a las autoridades competentes a prever o a aplicar medidas. Los valores límite pueden variar en función de la fuente emisora de ruido (ruido del tráfico rodado, ferroviario o aéreo, ruido industrial, etc.), del entorno o de la distinta vulnerabilidad al ruido de los grupos de población, y pueden ser distintos de una situación existente a una nueva situación (cuando cambia la fuente de ruido o el uso dado al entorno);
- t) «planes de acción»: los planes encaminados a afrontar las cuestiones relativas al ruido y a sus efectos, incluida la reducción del ruido si fuere necesario;
- u) «planificación acústica»: el control del ruido futuro mediante medidas planificadas, como la ordenación territorial, la ingeniería de sistemas de gestión del tráfico, la ordenación de la circulación, la reducción del ruido con medidas de aislamiento acústico y la lucha contra el ruido en su origen;
- v) «población»: una o más personas físicas o jurídicas y, con arreglo a la legislación o práctica nacionales, sus asociaciones, organizaciones o grupos.

#### Artículo 4

##### Aplicación y responsabilidades

1. Los Estados miembros designarán las autoridades y entidades competentes, en los niveles adecuados, responsables de la aplicación de la presente Directiva, en particular las autoridades responsables de:

- la elaboración y, en su caso, aprobación de los mapas de ruido y planes de acción para aglomeraciones urbanas, grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos;
- la recopilación de los mapas de ruido y planes de acción.

2. Los Estados miembros pondrán a disposición de la Comisión y de la población la información a que se refiere el apartado 1 a más tardar el 18 de julio de 2005.

#### Artículo 5

##### Indicadores de ruido y su aplicación

1. Los Estados miembros aplicarán los indicadores de ruido  $L_{den}$  y  $L_{night}$ , tal como se mencionan en el anexo I, en la preparación y la revisión de los mapas estratégicos de ruido, de conformidad con el artículo 7.

Hasta tanto se usen con carácter obligatorio métodos comunes de evaluación para la determinación de los indicadores  $L_{den}$  y  $L_{night}$ , los Estados miembros podrán utilizar a estos efectos los indicadores de ruido nacionales existentes y otros datos conexos, que deberán transformarse en los indicadores anteriormente citados. Dichos datos no podrán remontarse a más de tres años atrás.



2. Los Estados miembros podrán utilizar indicadores suplementarios en casos especiales como los enumerados en el punto 3 del anexo I.

3. Para la planificación acústica y la determinación de zonas de ruido, los Estados miembros podrán utilizar indicadores distintos de  $L_{den}$  y  $L_{night}$ .

4. Los Estados miembros facilitarán a la Comisión, a más tardar el 18 de julio de 2005, información de cualesquiera valores límite pertinentes vigentes en su territorio o en preparación, expresados en  $L_{den}$  y  $L_{night}$  y, en su caso,  $L_{day}$  y  $L_{evening}$ , correspondientes al ruido del tráfico rodado, ferroviario y aéreo y al ruido en los alrededores de los aeropuertos, así como al ruido existente en los lugares dedicados a actividades industriales, junto con explicaciones acerca de la aplicación de dichos valores límite.

#### Artículo 6

##### Métodos de evaluación

1. Los valores de  $L_{den}$  y  $L_{night}$  se determinarán por medio de los métodos de evaluación descritos en el anexo II.

2. Los métodos comunes de evaluación para la determinación de  $L_{den}$  y de  $L_{night}$  serán establecidos por la Comisión con arreglo al procedimiento citado en el apartado 2 del artículo 13, mediante la revisión del anexo II. Hasta tanto se adopten esos métodos, los Estados miembros podrán utilizar métodos de evaluación adaptados de conformidad con el anexo II y basados en los métodos que establezcan sus propias legislaciones. En este caso, deberán demostrar que esos métodos dan resultados equivalentes a los que se obtienen con los métodos que menciona el punto 2.2 del anexo II.

3. Los efectos nocivos se podrán evaluar según las relaciones dosis-efecto a las que se hace referencia en el anexo III.

#### Artículo 7

##### Elaboración de mapas estratégicos de ruido

1. Los Estados miembros garantizarán que a más tardar el 30 de junio de 2007 se hayan elaborado y, en su caso, aprobado por las autoridades competentes mapas estratégicos de ruido sobre la situación del año civil anterior, correspondientes a todas las aglomeraciones con más de 250 000 habitantes y a todos los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60 000 trenes al año, y grandes aeropuertos presentes en su territorio.

A más tardar el 30 de junio de 2005, y después cada cinco años, los Estados miembros comunicarán a la Comisión los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, los grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60 000 trenes al año, los grandes aeropuertos y las aglomeraciones de más de 250 000 habitantes presentes en su territorio.

2. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que, a más tardar el 30 de junio de 2012, y después cada cinco años, se hayan elaborado y, en su caso, aprobado por las autoridades competentes mapas estratégicos de ruido sobre la situación del año civil anterior, correspon-

dientes a todas las aglomeraciones urbanas y a todos los grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios presentes en su territorio.

A más tardar el 31 de diciembre de 2008, los Estados miembros comunicarán a la Comisión todas las aglomeraciones presentes en su territorio y todos los grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios presentes en su territorio.

3. Los mapas estratégicos de ruido cumplirán los requisitos mínimos establecidos en el anexo IV.

4. Los Estados miembros limítrofes cooperarán en la elaboración de mapas estratégicos de ruido de las zonas fronterizas.

5. Los mapas estratégicos de ruido se revisarán, y en caso necesario se modificarán, al menos cada cinco años a partir de la fecha de su elaboración.

#### Artículo 8

##### Planes de acción

1. Los Estados miembros garantizarán que, a más tardar el 18 de julio de 2008, las autoridades competentes hayan elaborado planes de acción encaminados a afrontar, en su territorio, las cuestiones relativas al ruido y a sus efectos, incluida la reducción del ruido, si fuese necesaria, con respecto a:

- los lugares próximos a grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, a grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60 000 trenes al año, y a grandes aeropuertos, y
- las aglomeraciones con más de 250 000 habitantes. Dichos planes tendrán por objeto también proteger las zonas tranquilas contra el aumento del ruido.

Las medidas concretas de los planes de acción quedarán a discreción de las autoridades competentes pero deberán afrontar en particular las prioridades que puedan determinarse como consecuencia de la superación de determinados valores límite o según otros criterios elegidos por los Estados miembros y deberán aplicarse, en particular, a las zonas más importantes establecidas de acuerdo con los mapas estratégicos de ruido.

2. Los Estados miembros garantizarán que, a más tardar el 18 de julio de 2013, las autoridades competentes hayan elaborado planes de acción, en particular para afrontar las prioridades que puedan determinarse como consecuencia de la superación de determinados valores límite o según otros criterios elegidos por los Estados miembros correspondientes a las aglomeraciones, a los grandes ejes viarios situados en su territorio, así como a los grandes ejes ferroviarios situados en su territorio.

3. Los Estados miembros comunicarán a la Comisión los otros criterios pertinentes contemplados en los apartados 1 y 2.

4. Los planes de acción cumplirán los requisitos mínimos establecidos en el anexo V.

5. Los planes de acción se revisarán, y en caso necesario se modificarán, cuando se produzca un cambio importante de la situación existente del ruido, y al menos cada cinco años a partir de la fecha de su aprobación.



6. Los Estados miembros limítrofes cooperarán en los planes de acción de las regiones fronterizas.

7. Los Estados miembros garantizarán que se consulte a la población sobre las propuestas de planes de acción, que se les ofrezca a tiempo la posibilidad efectiva de participar en la preparación y revisión de los planes de acción, que el resultado de dicha participación se tenga en cuenta y que se mantenga informados a la población sobre las decisiones adoptadas. Deberán establecerse plazos razonables que permitan a la población disponer del tiempo suficiente para intervenir en cada una de las fases.

Cuando la obligación de llevar a cabo un procedimiento de participación de la población se derive simultáneamente de la presente Directiva y de alguna otra norma comunitaria, los Estados miembros podrán facilitar procedimientos comunes con el fin de evitar las duplicaciones.

#### Artículo 9

##### Información a la población

1. Los Estados miembros velarán por que los mapas estratégicos de ruido que hayan realizado, y en su caso aprobado, y los planes de acción que hayan elaborado se pongan a disposición y se divulguen entre la población de acuerdo con la legislación comunitaria pertinente, en particular la Directiva 90/313/CEE del Consejo, de 7 de junio de 1990, sobre libertad de acceso a la información en materia de medio ambiente <sup>(1)</sup> y de conformidad con los anexos IV y V de la presente Directiva, incluso mediante las tecnologías de la información disponibles.

2. Esta información deberá ser clara, inteligible y fácilmente accesible y deberá incluir un resumen en el que se recogerán los puntos principales.

#### Artículo 10

##### Recogida y publicación de datos por los Estados miembros y la Comisión

1. A más tardar el 18 de enero de 2004, la Comisión presentará al Parlamento Europeo y al Consejo un informe en el que se refleje una revisión de las medidas comunitarias vigentes en relación con las fuentes de ruido ambiental.

2. Los Estados miembros velarán por que la información resultante de los mapas estratégicos de ruido y de los resúmenes de los planes de acción contemplados en el anexo VI de la presente Directiva se envíe a la Comisión a más tardar seis meses después de las fechas mencionadas respectivamente en los artículos 7 y 8.

3. La Comisión creará una base de datos con la información relativa a los mapas estratégicos de ruido con el fin de facilitar la compilación del informe contemplado en el artículo 11 y demás trabajos técnicos e informativos.

4. Cada cinco años, la Comisión publicará un informe de síntesis de los datos resultantes de los mapas estratégicos de

ruido y los planes de acción. El primer informe se presentará el 18 de julio de 2009.

#### Artículo 11

##### Revisión y presentación de informes

1. A más tardar el 18 de julio de 2009, la Comisión presentará al Parlamento Europeo y al Consejo un informe sobre la aplicación de la presente Directiva.

2. En el informe se evaluará en particular la necesidad de llevar a cabo otras acciones comunitarias en relación con el ruido ambiental y, si resulta conveniente, se propondrán estrategias de aplicación sobre aspectos tales como:

a) los objetivos a medio y largo plazo con respecto a la reducción del número de personas que sufren los efectos nocivos del ruido ambiental, teniendo particularmente en cuenta los diferentes climas y culturas;

b) las medidas adicionales de reducción del ruido ambiental emitido por determinadas fuentes, en particular máquinas de exterior, medios e infraestructuras de transporte y determinadas categorías de actividades industriales, que se basen en medidas que ya se estén aplicando o que se estén debatiendo para su adopción;

c) la protección de las zonas tranquilas en campo abierto.

3. El informe incluirá una revisión de la calidad acústica ambiental en la Comunidad basada en los datos indicados en el artículo 10, y tendrá en cuenta el progreso científico y técnico y demás información pertinente. La reducción de los efectos nocivos y la relación coste-eficacia serán los principales criterios de selección de las estrategias y medidas propuestas.

4. Cuando la Comisión haya recibido el primer conjunto de mapas estratégicos de ruido, volverá a considerar:

— la posibilidad de incluir una altura de medición de 1,5 metros en el punto 1 del anexo I respecto a las zonas que tengan casas de un piso,

— el límite más bajo respecto del número estimado de personas expuestas a los distintos rangos de  $L_{den}$  y de  $L_{night}$  en el anexo VI.

5. El informe se revisará cada cinco años o más a menudo cuando resulte oportuno. Deberá incluir una evaluación de la ejecución de la presente Directiva.

6. El informe irá acompañado, si procede, de propuestas para modificar la presente Directiva.

#### Artículo 12

##### Adaptación

La Comisión procederá, de conformidad con el procedimiento contemplado en el apartado 2 del artículo 13, a la adaptación al progreso técnico y científico del punto 3 del anexo I, de los anexos II y III.

<sup>(1)</sup> DO L 158 de 23.6.1990, p. 56.

*Artículo 13***Comité**

1. La Comisión estará asistida por el comité creado en virtud del artículo 18 de la Directiva 2000/14/CE.

2. En los casos en que se haga referencia al presente apartado, serán de aplicación los artículos 5 y 7 de la Decisión 1999/468/CE, observando lo dispuesto en su artículo 8.

El plazo contemplado en el apartado 6 del artículo 5 de la Decisión 1999/468/CE queda fijado en tres meses.

3. El Comité aprobará su Reglamento interno.

*Artículo 14***Incorporación a la legislación nacional**

1. Los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a lo establecido en la presente Directiva a más tardar el 18 de julio de 2004. Informarán inmediatamente de ello a la Comisión.

Cuando los Estados miembros adopten dichas disposiciones, éstas harán referencia a la presente Directiva o irán acompañadas de dicha referencia en su publicación oficial. Los Estados

miembros establecerán las modalidades de la mencionada referencia.

2. Los Estados miembros comunicarán a la Comisión el texto de las disposiciones de Derecho interno que adopten en el ámbito regulado por la presente Directiva.

*Artículo 15***Entrada en vigor**

La presente Directiva entrará en vigor el día de su publicación en el *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*.

*Artículo 16***Destinatarios**

Los destinatarios de la presente Directiva serán los Estados miembros.

Hecho en Luxemburgo, el 25 de junio de 2002.

*Por el Parlamento Europeo*

*El Presidente*

P. COX

*Por el Consejo*

*El Presidente*

J. MATAS I PALOU

## ANEXO I

## INDICADORES DE RUIDO

contemplados en el artículo 5

1. Definición del nivel día-tarde-noche  $L_{den}$ 

El nivel día-tarde-noche  $L_{den}$  en decibelios (dB) se determina aplicando la fórmula siguiente:

$$L_{den} = 101g \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

donde

- $L_{day}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año,
- $L_{evening}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos vespertinos de un año,
- $L_{night}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año,

donde

- al día le corresponden 12 horas, a la tarde 4 horas y a la noche 8 horas. Los Estados miembros pueden optar por reducir el período vespertino en una o dos horas y alargar los períodos diurno y/o nocturno en consecuencia, siempre que dicha decisión se aplique a todas las fuentes, y que faciliten a la Comisión información sobre la diferencia sistemática con respecto a la opción por defecto,
- el Estado miembro decidirá cuándo empieza el día (y, por consiguiente, cuándo empiezan la tarde y la noche) y esa decisión deberá aplicarse a todas las fuentes de ruido; los valores por defecto son 7.00-19.00, 19.00-23.00 y 23.00-7.00 (hora local),
- un año corresponde al año considerado para la emisión de sonido y a un año medio por lo que se refiere a las circunstancias meteorológicas,

y donde

- el sonido que se tiene en cuenta es el sonido incidente, es decir, no se considera el sonido reflejado en la fachada de una determinada vivienda (en general, ello supone una corrección de 3 dB en caso de medición).

La altura del punto de evaluación de  $L_{den}$  depende de la aplicación:

- cuando se efectúen cálculos para la elaboración de mapas estratégicos de ruido en relación con la exposición al ruido en el interior y en las proximidades de edificios, los puntos de evaluación se situarán a 4,0 m ± 0,2 m (3,8 m-4,2 m) de altura sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta; a tal efecto, la fachada más expuesta será el muro exterior más próximo situado frente a la fuente sonora; en los demás casos, podrán decidirse otras opciones,
- cuando se efectúen mediciones para la elaboración de mapas estratégicos de ruido en relación con la exposición al ruido en el interior y en las proximidades de edificios, podrán escogerse otras alturas, si bien éstas no deberán ser inferiores a 1,5 m sobre el nivel del suelo, y los resultados deberán corregirse de conformidad con una altura equivalente de 4 m,
- en las demás aplicaciones, como la planificación acústica y la determinación de zonas ruidosas, podrán elegirse otras alturas, si bien éstas nunca deberán ser inferiores a 1,5 m sobre el nivel del suelo; algunos ejemplos:
  - zonas rurales con casas de una planta,
  - la preparación de medidas locales para reducir el impacto sonoro en viviendas específicas,
  - un mapa de ruido detallado de una zona limitada, que ilustre la exposición al ruido de cada vivienda.

## 2. Definición del indicador de ruido en período nocturno

El indicador de ruido en período nocturno  $L_{night}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año.

Donde

- la noche dura 8 horas, según la definición del apartado 1,
- un año corresponde al año considerado para la emisión de sonido y a un año medio por lo que se refiere a las circunstancias meteorológicas, según la definición del apartado 1,
- el sonido que se tiene en cuenta es el sonido incidente, como se describe en el apartado 1,
- el punto de evaluación es el mismo que en el caso de  $L_{den}$ .



### 3. Indicadores de ruido suplementarios

En algunos casos, además de  $L_{day}$  y  $L_{night}$ , y cuando proceda  $L_{day}$  y  $L_{evening}$ , puede resultar conveniente utilizar indicadores de ruido especiales con los valores límite correspondientes. He aquí algunos ejemplos:

- la fuente emisora de ruido considerada sólo está activa durante una pequeña fracción de tiempo (por ejemplo, menos del 20 % del tiempo durante todos los períodos diurnos, vespertinos o nocturnos de un año),
  - el número de casos en que se emite ruido es, en uno o más de los períodos considerados, en promedio muy bajo (por ejemplo, menos de un caso por hora, entendiéndose por caso un ruido que dura menos de cinco minutos, por ejemplo el ruido del paso de un tren o de un avión),
  - el contenido en bajas frecuencias del ruido es grande,
  - $L_{amax}$  o SEL [nivel de exposición sonora (sound exposure level)] para la protección durante el período nocturno en caso de incrementos bruscos de ruido,
  - hay protección adicional durante el fin de semana o en un período concreto del año,
  - hay protección adicional durante el período diurno,
  - hay protección adicional durante el período vespertino,
  - se da una combinación de ruidos procedentes de fuentes distintas,
  - se trata de zonas tranquilas en campo abierto,
  - el ruido contiene componentes tonales fuertes,
  - el ruido tiene carácter impulsivo.
-

## ANEXO II

## MÉTODOS DE EVALUACIÓN PARA LOS INDICADORES DE RUIDO

contemplados en el artículo 6

## 1. Introducción

Los valores de  $L_{den}$  y  $L_{night}$  pueden determinarse bien mediante cálculos o mediante mediciones (en el punto de evaluación). Las predicciones sólo pueden obtenerse mediante cálculos.

En los puntos 2 y 3 del presente anexo se describen los métodos provisionales de cálculo y medición.

2. Métodos de cálculo provisionales de  $L_{den}$  y  $L_{night}$ 

## 2.1. Adaptación de los métodos nacionales de cálculo vigentes

Si un Estado miembro dispone de métodos de determinación de indicadores a largo plazo, podrá aplicarlos siempre y cuando los adapte a las definiciones de los indicadores que figuran en el anexo I. En la mayoría de los casos, será preciso añadir la tarde como otro período más que habrá que tener en cuenta, así como introducir la media a lo largo de un año. Puede resultar preciso, además, adaptar algunos de los métodos vigentes para excluir la reflexión de la fachada o incorporar el período nocturno y/o el punto de evaluación.

Debe tenerse especial cuidado a la hora de establecer la media anual. Las variaciones de la emisión y de la transmisión pueden contribuir a las variaciones que se registran a lo largo de un año.

## 2.2. Métodos de cálculo provisionales recomendados

Los métodos recomendados, para los Estados miembros que no cuentan con métodos nacionales de cálculo o para los que quieren cambiar a otro método de cálculo, son los siguientes:

RUIDO INDUSTRIAL: ISO 9613-2: «Acoustics — Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation».

Para este método pueden obtenerse datos adecuados sobre emisión de ruido (datos de entrada) mediante mediciones realizadas según alguno de los métodos siguientes:

- ISO 8297: 1994 «Acoustics — Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment — Engineering method».
- EN ISO 3744: 1995 «Acústica — Determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido utilizando presión sonora. Método de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflectante».
- EN ISO 3746: 1995 «Acústica — Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido a partir de presión sonora. Método de control en una superficie de medida envolvente sobre un plano reflectante».

RUIDO DE AERONAVES: ECAC.CEAC Doc. 29 «Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports», 1997. Entre los distintos métodos de modelización de trayectorias de vuelo, se utilizará la técnica de segmentación mencionada en la sección 7.5 del documento 29 de ECAC.CEAC.

RUIDO DEL TRÁFICO RODADO: el método nacional de cálculo francés «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)», mencionado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6» y en la norma francesa «XPS 31-133». Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, esos documentos se remiten al «Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980».

RUIDO DE TRENES: el método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado en «Reken — en Meetvoorschrift Railverkeerslawaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996».

Estos métodos se adaptarán a la definición de  $L_{den}$  y  $L_{night}$ . A más tardar el 1 de julio de 2003, la Comisión publicará orientaciones, de conformidad con el apartado 2 del artículo 13, sobre los métodos revisados y proporcionará datos de emisión correspondientes al ruido de aeronaves y del tráfico rodado y ferroviario sobre la base de los datos existentes.

3. Métodos provisionales de medición de  $L_{den}$  y  $L_{night}$ 

Si un Estado miembro desea utilizar su propio método de medición oficial, este deberá adaptarse a las definiciones de los indicadores del anexo I y cumplir los principios aplicables a las mediciones medias a largo plazo expuestos en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982.

Si un Estado miembro no tiene en vigor ningún método de medición o prefiere aplicar otro, es posible determinar un nuevo método sobre la base de la definición del indicador y los principios presentados en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982.

Los datos obtenidos frente a una fachada u otro elemento reflectante deberán corregirse para excluir el efecto reflectante del mismo (en general, esto implica una corrección de 3dB en caso de medición).

---

### ANEXO III

#### MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS NOCIVOS

contemplados en el apartado 3 del artículo 6

Las relaciones dosis-efecto se utilizarán para evaluar el efecto del ruido sobre la población. Las relaciones dosis-efecto introducidas por futuras revisiones del presente anexo de conformidad con el apartado 2 del artículo 13 se referirán en particular a lo siguiente:

- la relación entre las molestias y los valores de  $L_{den}$  por lo que se refiere al ruido del tráfico rodado, ferroviario, aéreo y de fuentes industriales,
- la relación entre las alteraciones del sueño y los valores de  $L_{night}$  por lo que se refiere al ruido del tráfico rodado, ferroviario, aéreo y de fuentes industriales.

En caso necesario, podrán presentarse relaciones dosis-efecto específicas para:

- viviendas con aislamiento especial contra el ruido, según la definición del anexo VI,
  - viviendas con fachada tranquila, según la definición del anexo VI,
  - distintos climas o culturas,
  - grupos de población vulnerables,
  - ruido industrial tonal,
  - ruido industrial impulsivo y otros casos especiales.
-



## ANEXO IV

## REQUISITOS MÍNIMOS SOBRE EL CARTOGRAFIADO ESTRATÉGICO DEL RUIDO

contemplados en el artículo 7

1. Un mapa estratégico de ruido es la representación de los datos relativos a alguno de los aspectos siguientes:
  - situación acústica existente, anterior o prevista expresada en función de un indicador de ruido,
  - rebasamiento de un valor límite,
  - número estimado de viviendas, colegios y hospitales en una zona dada que están expuestos a valores específicos de un indicador de ruido,
  - número estimado de personas situadas en una zona expuesta al ruido.
2. Los mapas estratégicos de ruido pueden presentarse al público en forma de:
  - gráficos,
  - datos numéricos en cuadros,
  - datos numéricos en formato electrónico.
3. Los mapas estratégicos de ruido para aglomeraciones harán especial hincapié en el ruido procedente de:
  - el tráfico rodado,
  - el tráfico ferroviario,
  - los aeropuertos,
  - lugares de actividad industrial, incluidos los puertos.
4. El cartografiado estratégico del ruido servirá de:
  - base para los datos que deben enviarse a la Comisión con arreglo al apartado 2 del artículo 10 y el anexo VI,
  - fuente de información destinada al público con arreglo al artículo 9,
  - fundamento de los planes de acción con arreglo al artículo 8.A cada una de estas funciones corresponde un tipo distinto de mapa estratégico de ruido.
5. En los puntos 1.5, 1.6, 2.5, 2.6 y 2.7 del anexo VI se establecen los requisitos mínimos para los mapas estratégicos de ruido en relación con los datos que deben enviarse a la Comisión.
6. Por lo que se refiere a la información a la población con arreglo al artículo 9 y a la elaboración de los planes de acción en virtud de su artículo 8, se debe proporcionar información adicional y más detallada, por ejemplo:
  - una representación gráfica,
  - mapas que indiquen los rebasamientos de un valor límite,
  - mapas de diferencias que comparen la situación vigente con posibles situaciones futuras,
  - mapas que presenten el valor de un indicador de ruido a una altura de evaluación distinta de 4 m, en caso necesario.

Los Estados miembros pueden establecer normas sobre el tipo y formato de esos mapas de ruido.

7. Se elaborarán mapas estratégicos de ruido de aplicación local o nacional correspondientes a una altura de evaluación de 4 m y a rangos de valores de  $L_{den}$  y  $L_{night}$  de 5 dB como establece el anexo VI.
8. Con respecto a las aglomeraciones urbanas, se elaborarán mapas estratégicos especiales sobre el ruido del tráfico rodado, del tráfico ferroviario, del tráfico aéreo y de la industria. Pueden elaborarse también mapas sobre otras fuentes.
9. La Comisión puede establecer orientaciones con indicaciones más amplias sobre los mapas de ruido, su elaboración, y los programas informáticos de cartografiado, de acuerdo con el apartado 2 del artículo 13.

## ANEXO V

**REQUISITOS MÍNIMOS DE LOS PLANES DE ACCIÓN**

contemplados en el artículo 8

1. Los planes de acción incluirán, como mínimo, los elementos siguientes:
    - descripción de la aglomeración, los principales ejes viarios, los principales ejes ferroviarios o principales aeropuertos y otras fuentes de ruido consideradas,
    - autoridad responsable,
    - contexto jurídico,
    - valores límite establecidos con arreglo al artículo 5,
    - resumen de los resultados de la labor de cartografiado del ruido,
    - evaluación del número estimado de personas expuestas al ruido, determinación de los problemas y las situaciones que deben mejorar,
    - relación de las consultas públicas organizadas con arreglo al apartado 7 del artículo 8,
    - medidas que ya se aplican para reducir el ruido y proyectos en preparación,
    - actuaciones previstas por las autoridades competentes para los próximos cinco años, incluidas medidas para proteger las zonas tranquilas,
    - estrategia a largo plazo,
    - información económica (si está disponible): presupuestos, evaluaciones coste-eficacia o costes-beneficios,
    - disposiciones previstas para evaluar la aplicación y los resultados del plan de acción.
  2. Algunas medidas que pueden prever las autoridades dentro de sus competencias son por ejemplo las siguientes:
    - regulación del tráfico,
    - ordenación del territorio,
    - aplicación de medidas técnicas en las fuentes emisoras,
    - selección de fuentes más silenciosas,
    - reducción de la transmisión de sonido,
    - medidas o incentivos reglamentarios o económicos.
  3. Los planes de acción recogerán estimaciones por lo que se refiere a la reducción del número de personas afectadas (que sufren molestias o alteraciones del sueño, etc.).
  4. La Comisión puede elaborar orientaciones para brindar indicaciones más amplias sobre los planes de acción, con arreglo al apartado 2 del artículo 13.
-

## ANEXO VI

## INFORMACIÓN QUE DEBE COMUNICARSE A LA COMISIÓN

contemplada en el artículo 10

La información que debe comunicarse a la Comisión es la siguiente:

**1. Sobre las aglomeraciones**

- 1.1. Breve descripción de la aglomeración: ubicación, dimensiones, número de habitantes.
- 1.2. Autoridad responsable.
- 1.3. Programas de lucha contra el ruido ejecutados en el pasado y medidas vigentes.
- 1.4. Métodos de medición o cálculo empleados.
- 1.5. Número estimado de personas (expresado en centenas) cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{den}$  en dB a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta: (55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75), distinguiendo entre el tráfico rodado, el tráfico ferroviario, el tráfico aéreo y las fuentes industriales. Las cifras se redondearán a la centena más próxima (por ejemplo: 5 200 = entre 5 150 y 5 249 personas; 100 = entre 50 y 149 personas; 0 = menos de 50 personas).

Además debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas, dentro de cada una de las mencionadas categorías, cuya vivienda dispone de:

- aislamiento especial contra el ruido correspondiente, es decir, aislamiento especial de un edificio contra uno o varios tipos de ruido ambiental, junto con instalaciones de ventilación o aire acondicionado que permiten mantener un alto grado de aislamiento contra el ruido ambiental,
- una fachada tranquila, es decir, la fachada de una vivienda donde el valor de  $L_{den}$  a una altura de cuatro metros sobre el nivel del suelo y a una distancia de dos metros de la fachada, para el ruido emitido por una fuente específica, es inferior en más de 20 dB al de la fachada con el valor más alto de  $L_{den}$ .

Se explicará también la contribución a esos resultados de los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos correspondientes a la definición del artículo 3.

- 1.6. El número total estimado de personas (expresado en centenas) cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{night}$  en dB a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta: (50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70), distinguiendo entre el tráfico rodado, ferroviario, aéreo y las fuentes industriales. Estos datos podrán evaluarse asimismo para el rango 45-49 antes de la fecha prevista en el apartado 1 del artículo 11.

Además, debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas, dentro de cada una de las mencionadas categorías, cuya vivienda dispone de:

- aislamiento especial contra el ruido correspondiente, según la definición del punto 1.5,
- una fachada tranquila, según la definición del punto 1.5.

Se explicará también la contribución a esos resultados de los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos.

- 1.7. En caso de presentación gráfica, los mapas estratégicos deberán presentar, como mínimo, las curvas de nivel de 60, 65, 70 y 75 dB.
- 1.8. Un resumen del plan de acción, de una extensión máxima de 10 páginas, que aborde los aspectos pertinentes a que se refiere el anexo V.

**2. Sobre los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos**

- 2.1. Descripción general del eje viario, del eje ferroviario o del aeropuerto: ubicación, dimensiones y datos sobre el tráfico.
- 2.2. Caracterización del entorno: aglomeraciones, pueblos, campo, etc., información sobre la utilización del suelo y sobre otras fuentes importantes de ruido.
- 2.3. Programas de lucha contra el ruido ejecutados en el pasado y medidas vigentes contra el ruido.
- 2.4. Métodos de medición o cálculo empleados.
- 2.5. El número total estimado de personas (expresado en centenas) fuera de las aglomeraciones cuya vivienda está expuesta a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{den}$  en dB a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo y en la fachada más expuesta: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75.

Además, debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas, dentro de cada una de las mencionadas categorías, cuya vivienda dispone de:

- aislamiento especial contra el ruido correspondiente, según la definición del punto 1.5,
- una fachada tranquila, según la definición del punto 1.5.



- 2.6. El número total estimado de personas (expresado en centenas) fuera de las aglomeraciones cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{\text{night}}$  en dB a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo y en la fachada más expuesta: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70. Estos datos podrán evaluarse asimismo para el rango 45-49 antes de la fecha prevista en el apartado 1 del artículo 11.

Además debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas dentro de esas categorías cuya vivienda dispone de:

- aislamiento especial contra el ruido correspondiente, según la definición del punto 1.5;
- una fachada tranquila, según la definición del punto 1.5.

- 2.7. La superficie total (en km<sup>2</sup>) expuesta a valores de  $L_{\text{den}}$  superiores a 55, 65 y 75 dB, respectivamente. Se indicará, además, el número total estimado de viviendas (en centenarios) y el número total estimado de personas (en centenarios) que viven en cada una de esas zonas. En esas cifras se incluirán las aglomeraciones.

Las curvas de nivel correspondientes a 55 dB y a 65 dB figurarán también en uno o varios mapas, que incluirán información sobre la ubicación de las ciudades, pueblos y aglomeraciones situadas dentro de esas curvas.

- 2.8. Un resumen del plan de acción, de una extensión no superior a 10 páginas, que aborde los aspectos pertinentes indicados en el anexo V.

### 3. Orientaciones

La Comisión, conforme al apartado 2 del artículo 13, podrá elaborar orientaciones para brindar indicaciones más amplias sobre la comunicación de toda esta información.

---

## I. Disposiciones generales

### JEFATURA DEL ESTADO

**20976** LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.

JUAN CARLOS I

REY DE ESPAÑA

A todos los que la presente vieren y entendieren.  
Saber: Que las Cortes Generales han aprobado y Yo vengo en sancionar la siguiente ley.

#### EXPOSICIÓN DE MOTIVOS

##### I

El ruido en su vertiente ambiental, no circunscrita a ámbitos específicos como el laboral, sino en tanto que inmisión sonora presente en el hábitat humano o en la naturaleza, no ha sido tradicionalmente objeto de atención preferente en la normativa protectora del medio ambiente. Tratamos del ruido en un sentido amplio, y éste es el alcance de la ley, comprensivo tanto del ruido propiamente dicho, perceptible en forma de sonido, como de las vibraciones: tanto uno como otras se incluyen en el concepto de «contaminación acústica» cuya prevención, vigilancia y reducción son objeto de esta ley.

En la legislación española, el mandato constitucional de proteger la salud (artículo 43 de la Constitución) y el medio ambiente (artículo 45 de la Constitución) engloban en su alcance la protección contra la contaminación acústica. Además, la protección constitucional frente a esta forma de contaminación también encuentra apoyo en algunos derechos fundamentales reconocidos por la Constitución, entre otros, el derecho a la intimidad personal y familiar, consagrado en el artículo 18.1.

Sin embargo, el ruido carecía hasta esta ley de una norma general reguladora de ámbito estatal, y su tratamiento normativo se desdoblaba, a grandes rasgos, entre las previsiones de la normativa civil en cuanto a relaciones de vecindad y causación de perjuicios, la normativa sobre limitación del ruido en el ambiente de trabajo, las disposiciones técnicas para la homologación de productos y las ordenanzas municipales que concierne al bienestar ciudadano o al planeamiento urbanístico.

##### II

La Unión Europea tomó conciencia, a partir del Libro Verde de la Comisión Europea sobre «Política Futura de Lucha Contra el Ruido», de la necesidad de aclarar y homogeneizar el entorno normativo del ruido, recono-

ciendo que con anterioridad «la escasa prioridad dada al ruido se debe en parte al hecho de que el ruido es fundamentalmente un problema local, que adopta formas muy variadas en diferentes partes de la Comunidad en cuanto a la aceptación del problema». Partiendo de este reconocimiento de la cuestión, sin embargo, el Libro Verde llega a la conclusión de que, además de los esfuerzos de los Estados miembros para homogeneizar e implantar controles adecuados sobre los productos generadores de ruido, la actuación coordinada de los Estados en otros ámbitos servirá también para acometer labores preventivas y reductoras del ruido en el ambiente.

En línea con este principio, los trabajos de la Unión Europea han conducido a la adopción de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental (la «Directiva sobre Ruido Ambiental»). La trasposición de esta Directiva ofrece una oportunidad idónea para dotar de mayor estructura y orden al panorama normativo español sobre el ruido, elaborando una ley que contenga los cimientos en que asentar el acervo normativo en materia de ruido que ya venía siendo generado anteriormente por las comunidades autónomas y entes locales.

La Directiva sobre Ruido Ambiental marca una nueva orientación respecto de las actuaciones normativas previas de la Unión Europea en materia de ruido. Con anterioridad, la reglamentación se había centrado sobre las fuentes del ruido. Las medidas tendentes a reducir el ruido en origen han venido dando sus frutos, pero los datos obtenidos muestran que, pese a la constante mejora del estado del arte en la fabricación de estas fuentes de ruido, el resultado beneficioso de estas medidas sobre el ruido ambiental se ha visto minorado por la combinación de otros factores que aún no han sido atajados.

Diariamente inciden sobre el ambiente múltiples focos de emisiones sonoras, con lo que se aprecia la necesidad de considerar el ruido ambiental como producto de múltiples emisiones que contribuyen a generar niveles de contaminación acústica poco recomendables desde el punto de vista sanitario, del bienestar y de la productividad. La Directiva sobre Ruido Ambiental define dicho ruido ambiental como «el 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 emplazamientos de actividades industriales como los descritos en el anexo I de la Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación».

En cuanto a los lugares en los que se padece el ruido, según la Directiva sobre Ruido Ambiental ésta se aplica «al ruido ambiental al que estén expuestos los seres humanos». Según la Directiva, esto se produce en particular en zonas urbanizadas, en parques públicos u otros



lugares tranquilos dentro de una aglomeración urbana, en zonas tranquilas en campo abierto, en las proximidades de centros escolares y en los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido, pero no únicamente en ellos.

### III

Partiendo de la delimitación de su ámbito objetivo que ha quedado apuntada, la Directiva sobre Ruido Ambiental se fija las siguientes finalidades:

- 1.<sup>a</sup> Determinar la exposición al ruido ambiental, mediante la elaboración de mapas de ruidos según métodos de evaluación comunes a los Estados miembros.
- 2.<sup>a</sup> Poner a disposición de la población la información sobre el ruido ambiental y sus efectos.
- 3.<sup>a</sup> Adoptar planes de acción por los Estados miembros tomando como base los resultados de los mapas de ruidos, con vistas a prevenir y reducir el ruido ambiental siempre que sea necesario y, en particular, cuando los niveles de exposición puedan tener efectos nocivos en la salud humana, y a mantener la calidad del entorno acústico cuando ésta sea satisfactoria.

La Directiva sobre Ruido Ambiental impone a los Estados miembros la obligación de designar las autoridades y entidades competentes para elaborar los mapas de ruido y planes de acción, así como para recopilar la información que se genere, la cual, a su vez, deberá ser transmitida por los Estados miembros a la Comisión y puesta a disposición de la población.

Estos propósitos son, de una parte, coherentes con la voluntad del legislador español, que deseaba dotar de un esquema básico y estatal a la normativa dispersa relacionada con el ruido que, en los niveles autonómico y local, pueda elaborarse antes o después de la promulgación de esta ley.

De otra parte, la Directiva sobre Ruido Ambiental pretende proporcionar la base para desarrollar y completar el conjunto de medidas comunitarias existente sobre el ruido emitido por determinadas fuentes específicas y para desarrollar medidas adicionales a corto, medio y largo plazo. Para ello, los datos sobre los niveles de ruido ambiental se deben recabar, cotejar y comunicar con arreglo a criterios comparables en los distintos Estados miembros; es necesario también establecer métodos comunes de evaluación del ruido ambiental y una definición de los valores límite en función de indicadores armonizados para calcular los niveles de ruido.

El alcance y contenido de esta ley es, sin embargo, más amplio que el de la Directiva que por medio de aquélla se traspone, ya que la ley no se agota en el establecimiento de los parámetros y medidas a las que alude la directiva respecto, únicamente, del ruido ambiental, sino que tiene objetivos más ambiciosos. Al pretender dotar de mayor cohesión a la ordenación de la contaminación acústica en el ámbito estatal en España, contiene múltiples disposiciones que no se limitan a la mera trasposición de la directiva y quieren promover activamente, a través de una adecuada distribución de competencias administrativas y del establecimiento de los mecanismos oportunos, la mejora de la calidad acústica de nuestro entorno. Frente al concepto de ruido ambiental que forja la directiva, y pese a que por razones de simplicidad el título de esta ley sea «Ley del Ruido», la contaminación acústica a la que se refiere el objeto de esta ley se define como la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen 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.

### IV

El capítulo I, «Disposiciones generales», contiene los preceptos que establecen el objeto, ámbito de aplicación y finalidad de la ley. Comienza la ley por enunciar el propósito genérico de prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, todo ello a fin de evitar daños para la salud, los bienes y el medio ambiente.

El ámbito de aplicación de la ley se delimita, desde el punto de vista subjetivo, por referencia a todos los emisores acústicos de cualquier índole, excluyéndose no obstante la contaminación acústica generada por algunos de ellos. Ha de tenerse en cuenta que, a los efectos de la ley, el concepto de emisor acústico se refiere a cualquier actividad, infraestructura, equipo, maquinaria o comportamiento que genere contaminación acústica.

En particular, interesa justificar la exclusión del alcance de la ley de la contaminación acústica originada en la práctica de actividades domésticas o las relaciones de vecindad, siempre y cuando no exceda los límites tolerables de conformidad con los usos locales. En la tradición jurídica española y de otros países de nuestro entorno más próximo, las relaciones de vecindad han venido aplicando a todo tipo de inmisiones, incluidas las sonoras, un criterio de razonabilidad que se vincula a las prácticas consuetudinarias del lugar. 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.

Por otra parte, se excluye también la actividad laboral en tanto que emisor acústico y respecto de la contaminación acústica producida por aquélla en el correspondiente lugar de trabajo, la cual seguirá rigiéndose por la normativa sectorial aplicable, constituida principalmente por la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, y su normativa de desarrollo, así como el Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

Siguiendo la técnica legislativa habitual de las disposiciones comunitarias (y no se olvide que esta norma cumple, entre otros, el objetivo de trasponer al derecho interno la Directiva sobre Ruido Ambiental), se incluyen en el artículo 3 una serie de definiciones de determinados conceptos que posteriormente aparecen a lo largo del texto, lo que redanda en un mayor grado de precisión y de seguridad jurídica a la hora de la aplicación concreta de la norma.

El capítulo I contiene también disposiciones relativas a la distribución competencial en materia de contaminación acústica. En cuanto a la competencia para la producción normativa, sin perjuicio de la competencia de las comunidades autónomas para desarrollar la legislación básica estatal en materia de medio ambiente, se menciona la competencia de los ayuntamientos para aprobar ordenanzas sobre ruido y para adaptar las existentes y el planeamiento urbanístico a las previsiones de la ley. Además, se especifican las competencias de las diferentes Administraciones públicas en relación con las distintas obligaciones que en la ley se imponen y se regula la información que dichas Administraciones han de poner a disposición del público.

### V

El capítulo II contiene las previsiones del proyecto sobre calidad acústica, definida como el grado de adecuación de las características acústicas de un espacio a las actividades que se realizan en su ámbito. El Gobier-



no ha de fijar los objetivos de calidad acústica aplicables a cada tipo de área acústica, de manera que se garantice, en todo el territorio del Estado español, un nivel mínimo de protección frente a la contaminación acústica. También se fijarán por el Gobierno los objetivos de calidad aplicables al espacio interior habitable de las edificaciones.

Las áreas acústicas son zonas del territorio que comparten idénticos objetivos de calidad acústica. Las comunidades autónomas gozan de competencias para fijar los tipos de áreas acústicas, clasificadas en atención al uso predominante del suelo, pero esta ley marca la tipología mínima de aquéllas, y el Gobierno deberá establecer reglamentariamente los criterios a emplear en su delimitación.

En relación con las áreas acústicas, interesa mencionar dos supuestos especiales que son, de una parte, las reservas de sonidos de origen natural, y, de otra parte, las zonas de servidumbre acústica. La peculiaridad que ambas comparten es que no tienen consideración de áreas acústicas, debido a que en ningún caso se establecerá para ellas objetivos de calidad acústica. En consecuencia, ambos tipos de espacios se excluirán del ámbito de las áreas acústicas en que se divida el territorio.

La representación gráfica de las áreas acústicas sobre el territorio dará lugar a la cartografía de los objetivos de calidad acústica. En la ley, los mapas resultantes de esta representación gráfica se conciben como instrumento importante para facilitar la aplicación de los valores límite de emisión e inmisión que ha de determinar el Gobierno. En cada área acústica, deberán respetarse los valores límite que hagan posible el cumplimiento de los correspondientes objetivos de calidad acústica.

No obstante lo anterior, la ley se dota de la necesaria flexibilidad al objeto de prevenir situaciones en las cuales, con carácter excepcional, pueda ser recomendable suspender la exigibilidad de los objetivos de calidad acústica, bien con ocasión de la celebración de determinados eventos, a solicitud de los titulares de algún emisor acústico en determinadas circunstancias o en situaciones de emergencia, y, en este último caso, sin ser precisa autorización alguna, siempre y cuando se cumplan los requisitos marcados por la ley y, en particular, la superación de los objetivos de calidad acústica sea necesaria.

Un supuesto peculiar, ya enunciado anteriormente, es el de las «zonas de servidumbre acústica», que se definen como los sectores del territorio situados en el entorno de las infraestructuras de transporte viario, ferroviario, aéreo, portuario o de otros equipamientos públicos que se determinen reglamentariamente.

Todas las mediciones y evaluaciones acústicas a que se refiere la ley asumen la aplicación de índices acústicos homogéneos en la totalidad del territorio español respecto de cada período del día. La ley cuenta entre sus objetivos principales la fijación de dichos índices homogéneos, a través de sus normas de desarrollo.

A su vez, los valores límite, tanto de los índices de inmisión como de los índices de emisión acústica, se determinarán por el Gobierno, si bien las comunidades autónomas y los ayuntamientos pueden establecer valores límite más rigurosos que los fijados por el Estado.

La cartografía sonora prevista en la ley se completa con los denominados mapas de ruido. Los mapas de ruido son un elemento previsto por la Directiva sobre Ruido Ambiental y encaminado a disponer de información uniforme sobre los niveles de contaminación acústica en los distintos puntos del territorio, aplicando criterios homogéneos de medición que permitan hacer comparables entre sí las magnitudes de ruido verificadas en cada lugar.

El calendario de elaboración de los mapas de ruido que se establece en la ley se corresponde plenamente

con las previsiones de la Directiva sobre Ruido Ambiental, sin perjuicio de que las comunidades autónomas puedan prever la aprobación de mapas de ruido adicionales, estableciendo los criterios al efecto. Los mapas de ruido tienen por finalidad la evaluación global de la exposición actual a la contaminación acústica de una determinada zona, de manera que se puedan hacer predicciones y adoptar planes de acción en relación con aquélla.

Los tipos, contenido y formato de los mapas de ruido serán determinados por el Gobierno reglamentariamente, así como las formas de su presentación al público. La combinación de los mapas de ruido, que muestran la situación acústica real y presente, con la cartografía de calidad acústica, que representa los objetivos de calidad acústica de cada área acústica en que se divida el territorio, así como las zonas de servidumbre acústica que se establezcan, sin duda será muy útil para presentar de manera clara y atractiva la información más importante para planificar las medidas de prevención y corrección de la contaminación acústica.

## VI

De este modo se alcanza el capítulo III de la ley, con la rúbrica «Prevención y corrección de la contaminación acústica». Si las previsiones del capítulo II iban destinadas a proporcionar información y criterios de actuación a las Administraciones públicas competentes, en este capítulo se enuncian ya los instrumentos de los que tales Administraciones pueden servirse para procurar el máximo cumplimiento de los objetivos de calidad acústica.

Las medidas se dividen, con carácter general, en dos grandes bloques: la acción preventiva y la acción correctora. Dentro de la acción preventiva caben las siguientes facetas:

a) La planificación territorial y planeamiento urbanístico, que deben tener en cuenta siempre los objetivos de calidad acústica de cada área acústica a la hora de acometer cualquier clasificación del suelo, aprobación de planeamiento o medidas semejantes.

b) La intervención administrativa sobre los emisores acústicos, que ha de producirse de modo que se asegure la adopción de las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica que puedan generar aquéllos y que no se supere ningún valor límite de emisión aplicable. Es importante destacar que esta intervención no supone en ningún caso la introducción de una nueva figura de autorización administrativa, sino que la evaluación de la repercusión acústica se integra en los procedimientos ya existentes de intervención administrativa, a saber, el otorgamiento de la autorización ambiental integrada, las actuaciones relativas a la evaluación de impacto ambiental y las actuaciones relativas a la licencia municipal regulada por el Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas o normativa autonómica aplicable en esta materia. También se debe señalar que los cambios en las mejores técnicas disponibles que puedan reducir significativamente los índices de emisión sin imponer costes excesivos pueden dar lugar a una revisión de los actos de intervención administrativa previamente acordados sin que de ello se derive indemnización para los afectados.

c) El autocontrol de las emisiones acústicas por los propios titulares de emisores acústicos.

d) La prohibición, salvo excepciones, de conceder licencias de construcción de edificaciones destinadas a viviendas, usos hospitalarios, educativos o culturales si los índices de inmisión incumplen los objetivos de calidad acústica que sean de aplicación a las correspondientes áreas acústicas.



e) La creación de «reservas de sonidos de origen natural», que podrán ser delimitadas por las comunidades autónomas y ser objeto de planes de conservación encaminados a preservar o mejorar sus condiciones acústicas.

La necesidad de acción correctora se hace patente de forma acusada en las zonas de protección acústica especial y en las zonas de situación acústica especial. Las primeras son áreas acústicas en las que se incumplen los objetivos aplicables de calidad acústica, aun observándose por los emisores acústicos los valores límite de emisión. Una vez declaradas, procede la elaboración de planes zonales para la mejora acústica progresiva del medio ambiente en aquéllas, hasta alcanzar los objetivos de calidad acústica correspondientes. No obstante, cuando los planes zonales hubieran fracasado en rectificar la situación, procede la declaración como zona de situación acústica especial, admitiendo la inviabilidad de que se cumplan en ella tales objetivos a corto plazo, pero previendo medidas correctoras encaminadas a mejorar los niveles de calidad acústica a largo plazo y asegurar su cumplimiento, en todo caso, en el ambiente interior.

La ley estipula, asimismo, unos instrumentos intermedios, que pueden ser tanto preventivos como correctores: los planes de acción en materia de contaminación acústica, que es, nuevamente, materia regulada en la Directiva sobre Ruido Ambiental. Los planes de acción deben corresponder, en cuanto a su alcance, a los ámbitos territoriales de los mapas de ruido, y tienen por objeto afrontar globalmente las cuestiones relativas a contaminación acústica, fijar acciones prioritarias para el caso de no cumplirse los objetivos de calidad acústica y prevenir el aumento de contaminación acústica en zonas que la padezcan en escasa medida.

## VII

En el capítulo IV de la ley, «Inspección y régimen sancionador», la tipificación de infracciones y sanciones se acomete, bajo la preceptiva reserva de ley, sin perjuicio de las competencias que disfrutaban tanto las comunidades autónomas como los propios ayuntamientos para establecer infracciones administrativas adicionales. El catálogo de infracciones en materia de contaminación acústica puede, en algún punto, duplicar la tipificación de una infracción ya prevista en alguna otra norma vigente; sin embargo, por razones de conveniencia y sistemática, se ha optado por no omitir la tipificación en esta ley de las infracciones que pudieran resultar, de este modo, redundantes, a fin de evitar la dispersión, y eventuales discordancias, en el tratamiento normativo de aquéllas. En aquellos supuestos donde unos mismos hechos fueran subsumibles en las normas sancionadoras previstas en esta ley y las establecidas en alguna otra norma que pudiera reputarse aplicable, habrán de aplicarse las normas de concurso que, en su caso, estuviesen establecidas en la otra norma o, en su defecto, las normas de concurso generales.

La atribución de la potestad sancionadora recae, como principio general, preferentemente sobre las autoridades locales, más próximas al fenómeno de contaminación acústica generado. La Administración General del Estado, en línea con este principio, únicamente ejercerá la potestad sancionadora en el ejercicio de sus competencias exclusivas.

En cuanto a las labores inspectoras que en este mismo capítulo se contemplan, la ley prevé que, de conformidad con lo preceptuado en el apartado 4 del artículo 20 de la Ley 39/1988, de 28 de diciembre, Reguladora de las Haciendas Locales, las entidades locales puedan establecer tasas para repercutir el coste de las inspecciones sobre el titular del correspondiente emisor acústico objeto de inspección.

## VIII

Esta ley se completa con un elenco de disposiciones adicionales y transitorias, así como con las oportunas disposiciones derogatorias.

Además del calendario de aplicación de la ley, las disposiciones adicionales contienen una serie de medidas que inciden sobre materias regidas por otras normas, como son la Ley de Ordenación de la Edificación, el Código Civil y la Ley del Impuesto de Sociedades, así como la habilitación al Gobierno para que por vía reglamentaria establezca ciertos requisitos de información.

El Código Técnico de la Edificación, previsto en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación deberá incluir un sistema de verificación acústica de las edificaciones. Esto se ve complementado por la afirmación expresa de que el incumplimiento de objetivos de calidad acústica en los espacios interiores podrá dar lugar a la obligación del vendedor de responder del saneamiento por vicios ocultos de los inmuebles vendidos. Ambas medidas han de resultar en una mayor protección del adquirente o del ocupante en cuanto a las características acústicas de los inmuebles, en particular los de uso residencial.

Por último, esta ley se dicta de conformidad con las competencias que al Estado otorga el artículo 149.1.16.<sup>a</sup> y 23.<sup>a</sup> de la Constitución, en materia de bases y coordinación de la sanidad y de protección del medio ambiente. Ello sin perjuicio de que la regulación sobre saneamiento y vicios ocultos en los inmuebles se fundamenta en el artículo 149.1.14.<sup>a</sup>, que las tasas que puedan establecer los entes locales para la prestación de servicios de inspección se basen en el artículo 149.1.14.<sup>a</sup> y que la regulación de servidumbres acústicas de infraestructuras estatales y el régimen especial de aeropuertos y equipamientos vinculados al sistema de navegación y transporte aéreo se dicte de conformidad con lo establecido en los párrafos 13.<sup>a</sup>, 20.<sup>a</sup>, 21.<sup>a</sup> y 24.<sup>a</sup> del apartado 1 del citado artículo 149.

## CAPÍTULO I

### Disposiciones generales

#### Artículo 1. Objeto y finalidad.

Esta ley tiene por objeto prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, para evitar y reducir los daños que de ésta pueden derivarse para la salud humana, los bienes o el medio ambiente.

#### Artículo 2. Ámbito de aplicación.

1. Están sujetos a las prescripciones de esta ley todos los emisores acústicos, ya sean de titularidad pública o privada, así como las edificaciones en su calidad de receptores acústicos.

2. No obstante lo dispuesto en el apartado anterior, quedan excluidos del ámbito de aplicación de esta ley los siguientes emisores acústicos:

a) Las actividades domésticas o los comportamientos de los vecinos, cuando la contaminación acústica producida por aquéllos se mantenga dentro de límites tolerables de conformidad con las ordenanzas municipales y los usos locales.

b) Las actividades militares, que se regirán por su legislación específica.



c) La actividad laboral, respecto de la contaminación acústica producida por ésta en el correspondiente lugar de trabajo, que se regirá por lo dispuesto en la legislación laboral.

### Artículo 3. *Definiciones.*

A los efectos de esta ley, se entenderá por:

a) Actividades: cualquier instalación, establecimiento o actividad, públicos o privados, de naturaleza industrial, comercial, de servicios o de almacenamiento.

b) Área acústica: ámbito territorial, delimitado por la Administración competente, que presenta el mismo objetivo de calidad acústica.

c) Calidad acústica: grado de adecuación de las características acústicas de un espacio a las actividades que se realizan en su ámbito.

d) Contaminación acústica: presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente.

e) Emisor acústico: cualquier actividad, infraestructura, equipo, maquinaria o comportamiento que genere contaminación acústica.

f) Evaluación acústica: el resultado de aplicar cualquier método que permita calcular, predecir, estimar o medir la calidad acústica y los efectos de la contaminación acústica.

g) Gran eje viario: cualquier carretera con un tráfico superior a 3 millones de vehículos por año.

h) Gran eje ferroviario: cualquier vía férrea con un tráfico superior a 30.000 trenes por año.

i) Gran aeropuerto: cualquier aeropuerto civil con más de 50.000 movimientos por año, considerando como movimientos tanto los despegues como los aterrizajes, con exclusión de los que se efectúen únicamente a efectos de formación en aeronaves ligeras.

j) Índice acústico: magnitud física para describir la contaminación acústica, que tiene relación con los efectos producidos por ésta.

k) Índice de emisión: índice acústico relativo a la contaminación acústica generada por un emisor.

l) Índice de inmisión: índice acústico relativo a la contaminación acústica existente en un lugar durante un tiempo determinado.

m) Objetivo de calidad acústica: conjunto de requisitos que, en relación con la contaminación acústica, deben cumplirse en un momento dado en un espacio determinado.

n) Planes de acción: los planes encaminados a afrontar las cuestiones relativas a ruido y a sus efectos, incluida la reducción del ruido si fuere necesario.

ñ) Valor límite de emisión: valor del índice de emisión que no debe ser sobrepasado, medido con arreglo a unas condiciones establecidas.

o) Valor límite de inmisión: valor del índice de inmisión que no debe ser sobrepasado en un lugar durante un determinado período de tiempo, medido con arreglo a unas condiciones establecidas.

p) Zonas de servidumbre acústica: sectores del territorio delimitados en los mapas de ruido, en los que las inmisiones podrán superar los objetivos de calidad acústica aplicables a las correspondientes áreas acústicas y donde se podrán establecer restricciones para determinados usos del suelo, actividades, instalaciones o edificaciones, con la finalidad de, al menos, cumplir los valores límites de inmisión establecidos para aquéllos.

q) Zonas tranquilas en las aglomeraciones: los espacios en los que no se supere un valor, a fijar por el Gobierno, de un determinado índice acústico.

r) Zonas tranquilas en campo abierto: los espacios no perturbados por ruido procedente del tráfico, las actividades industriales o las actividades deportivo-recreativas.

### Artículo 4. *Atribuciones competenciales.*

1. Serán de aplicación las reglas contenidas en los siguientes apartados de este artículo con el fin de atribuir la competencia para:

a) La elaboración, aprobación y revisión de los mapas de ruido y la correspondiente información al público.

b) La delimitación de las zonas de servidumbre acústica y las limitaciones derivadas de dicha servidumbre.

c) La delimitación del área o áreas acústicas integradas dentro del ámbito territorial de un mapa de ruido.

d) La suspensión provisional de los objetivos de calidad acústica aplicables en un área acústica.

e) La elaboración, aprobación y revisión del plan de acción en materia de contaminación acústica correspondiente a cada mapa de ruido y la correspondiente información al público.

f) La ejecución de las medidas previstas en el plan.

g) La declaración de un área acústica como zona de protección acústica especial, así como la elaboración, aprobación y ejecución del correspondiente plan zonal específico.

h) La declaración de un área acústica como zona de situación acústica especial, así como la adopción y ejecución de las correspondientes medidas correctoras específicas.

i) La delimitación de las zonas tranquilas en aglomeraciones y zonas tranquilas en campo abierto.

2. En relación con las infraestructuras viarias, ferroviarias, aeroportuarias y portuarias de competencia estatal, la competencia para la realización de las actividades enumeradas en el apartado anterior, con excepción de la aludida en su párrafo c), corresponderá a la Administración General del Estado.

3. En relación con las obras de interés público, de competencia estatal, la competencia para la realización de la actividad aludida en el párrafo d) del apartado 1 corresponderá a la Administración General del Estado.

4. En los restantes casos:

a) Se estará, en primer lugar, a lo que disponga la legislación autonómica.

b) En su defecto, la competencia corresponderá a la comunidad autónoma si el ámbito territorial del mapa de ruido de que se trate excede de un término municipal, y al ayuntamiento correspondiente en caso contrario.

### Artículo 5. *Información.*

1. Las Administraciones públicas competentes informarán al público sobre la contaminación acústica y, en particular, sobre los mapas de ruido y los planes de acción en materia de contaminación acústica. Será de aplicación a la información a la que se refiere el presente apartado la Ley 38/1995, de 12 de diciembre, sobre el derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente.

Sin perjuicio de lo previsto en el párrafo anterior, las Administraciones públicas competentes insertarán en los correspondientes periódicos oficiales anuncios en los que se informe de la aprobación de los mapas de ruido y de los planes de acción en materia de contaminación acústica, y en los que se indiquen las condiciones en las que su contenido íntegro será accesible a los ciudadanos.

2. Sobre la base de la información de la que disponga y de aquella que le haya sido facilitada por las



restantes Administraciones públicas, la Administración General del Estado creará un sistema básico de información sobre la contaminación acústica, en el que se integrarán los elementos más significativos de los sistemas de información existentes, que abarcará los índices de inmisión y de exposición de la población a la contaminación acústica, así como las mejores técnicas disponibles.

**Artículo 6. Ordenanzas municipales y planeamiento urbanístico.**

Corresponde a los ayuntamientos aprobar ordenanzas en relación con las materias objeto de esta ley. Asimismo, los ayuntamientos deberán adaptar las ordenanzas existentes y el planeamiento urbanístico a las disposiciones de esta ley y de sus normas de desarrollo.

**CAPÍTULO II**

**Calidad acústica**

**SECCIÓN 1.ª ÁREAS ACÚSTICAS**

**Artículo 7. Tipos de áreas acústicas.**

1. Las áreas acústicas se clasificarán, en atención al uso predominante del suelo, en los tipos que determinen las comunidades autónomas, las cuales habrán de prever, al menos, los siguientes:

- a) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.
- b) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.
- c) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.
- d) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en el párrafo anterior.
- e) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera de especial protección contra la contaminación acústica.
- f) Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen.
- g) Espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica.

2. El Gobierno aprobará reglamentariamente los criterios para la delimitación de los distintos tipos de áreas acústicas.

**Artículo 8. Fijación de objetivos de calidad acústica.**

1. El Gobierno definirá los objetivos de calidad acústica aplicables a los distintos tipos de áreas acústicas, referidos tanto a situaciones existentes como nuevas.
2. Para establecer los objetivos de calidad acústica se tendrán en cuenta los valores de los índices de inmisión y emisión, el grado de exposición de la población, la sensibilidad de la fauna y de sus hábitats, el patrimonio histórico expuesto y la viabilidad técnica y económica.
3. El Gobierno fijará objetivos de calidad aplicables al espacio interior habitable de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales.

**Artículo 9. Suspensión provisional de los objetivos de calidad acústica.**

1. Con motivo de la organización de actos de especial proyección oficial, cultural, religiosa o de naturaleza

análoga, las Administraciones públicas competentes podrán adoptar, en determinadas áreas acústicas, previa valoración de la incidencia acústica, las medidas necesarias que dejen en suspenso temporalmente el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica que sean de aplicación a aquéllas.

2. Asimismo, los titulares de emisores acústicos podrán solicitar de la Administración competente, por razones debidamente justificadas que habrán de acreditarse en el correspondiente estudio acústico, la suspensión provisional de los objetivos de calidad acústica aplicables a la totalidad o a parte de un área acústica. Sólo podrá acordarse la suspensión provisional solicitada, que podrá someterse a las condiciones que se estimen pertinentes, en el caso de que se acredite que las mejores técnicas disponibles no permiten el cumplimiento de los objetivos cuya suspensión se pretende.

3. Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de la posibilidad de rebasar ocasional y temporalmente los objetivos de calidad acústica, cuando sea necesario en situaciones de emergencia o como consecuencia de la prestación de servicios de prevención y extinción de incendios, sanitarios, de seguridad u otros de naturaleza análoga a los anteriores, para lo que no será necesaria autorización ninguna.

**Artículo 10. Zonas de servidumbre acústica.**

1. Los sectores del territorio afectados al funcionamiento o desarrollo de las infraestructuras de transporte viario, ferroviario, aéreo, portuario o de otros equipamientos públicos que se determinen reglamentariamente, así como los sectores de territorio situados en el entorno de tales infraestructuras, existentes o proyectadas, podrán quedar gravados por servidumbres acústicas.

2. Las zonas de servidumbre acústica se delimitarán en los mapas de ruido medido o calculado por la Administración competente para la aprobación de éstos, mediante la aplicación de los criterios técnicos que al efecto establezca el Gobierno.

**SECCIÓN 2.ª ÍNDICES ACÚSTICOS**

**Artículo 11. Determinación de los índices acústicos.**

1. A los efectos de esta ley, se emplearán índices acústicos homogéneos correspondientes a las 24 horas del día, al período diurno, al período vespertino y al período nocturno.
2. Las disposiciones reglamentarias de desarrollo de esta ley podrán prever otros índices aplicables a los supuestos específicos que al efecto se determinen.

**Artículo 12. Valores límite de inmisión y emisión.**

1. Los valores límite de emisión de los diferentes emisores acústicos, así como los valores límite de inmisión, serán determinados por el Gobierno.

Cuando, como consecuencia de importantes cambios en las mejoras técnicas disponibles, resulte posible reducir los valores límite sin que ello entrañe costes excesivos, el Gobierno procederá a tal reducción.

2. A los efectos de esta ley, los emisores acústicos se clasifican en:

- a) Vehículos automóviles.
- b) Ferrocarriles.
- c) Aeronaves.
- d) Infraestructuras viarias.
- e) Infraestructuras ferroviarias.
- f) Infraestructuras aeroportuarias.
- g) Maquinaria y equipos.
- h) Obras de construcción de edificios y de ingeniería civil.

- i) Actividades industriales.
- j) Actividades comerciales.
- k) Actividades deportivo-recreativas y de ocio.
- l) Infraestructuras portuarias.

3. El Gobierno podrá establecer valores límite aplicables a otras actividades, comportamientos y productos no contemplados en el apartado anterior.

4. El Gobierno fijará con carácter único para todo el territorio del Estado los valores límite de inmisión en el interior de los medios de transporte de competencia estatal.

5. Los titulares de emisores acústicos, cualquiera que sea su naturaleza, están obligados a respetar los correspondientes valores límite.

#### Artículo 13. *Evaluación acústica.*

El Gobierno regulará:

a) Los métodos de evaluación para la determinación de los valores de los índices acústicos aludidos en el artículo 12 y de los correspondientes efectos de la contaminación acústica.

b) El régimen de homologación de los instrumentos y procedimientos que se empleen en la evaluación y de las entidades a las que, en su caso, se encomiende ésta.

### SECCIÓN 3.ª MAPAS DE RUIDO

#### Artículo 14. *Identificación de los mapas de ruido.*

1. En los términos previstos en esta ley y en sus normas de desarrollo, las Administraciones competentes habrán de aprobar, previo trámite de información pública por un período mínimo de un mes, mapas de ruido correspondientes a:

a) Cada uno de los grandes ejes viarios, de los grandes ejes ferroviarios, de los grandes aeropuertos y de las aglomeraciones, entendiéndose por tales los municipios con una población superior a 100.000 habitantes y con una densidad de población superior a la que se determina reglamentariamente, de acuerdo con el calendario establecido en la disposición adicional primera, sin perjuicio de lo previsto en el apartado 2.

b) Las áreas acústicas en las que se compruebe el incumplimiento de los correspondientes objetivos de calidad acústica.

2. En relación con las aglomeraciones a las que se refiere el apartado 1, las comunidades autónomas podrán:

a) Delimitar como ámbito territorial propio de un mapa de ruido un área que, excediendo de un término municipal, supere los límites de población indicados en dicho precepto y tenga una densidad de población superior a la que se determine reglamentariamente.

b) Limitar el ámbito territorial propio de un mapa de ruido a la parte del término municipal que, superando los límites de población aludidos en el párrafo anterior, tenga una densidad de población superior a la que se determine reglamentariamente.

#### Artículo 15. *Fines y contenido de los mapas.*

1. Los mapas de ruido tendrán, entre otros, los siguientes objetivos:

a) Permitir la evaluación global de la exposición a la contaminación acústica de una determinada zona.

b) Permitir la realización de predicciones globales para dicha zona.

c) Posibilitar la adopción fundada de planes de acción en materia de contaminación acústica y, en general, de las medidas correctoras que sean adecuadas.

2. Los mapas de ruido delimitarán, mediante la aplicación de las normas que al efecto apruebe el Gobierno, su ámbito territorial, en el que se integrarán una o varias áreas acústicas, y contendrán información, entre otros, sobre los extremos siguientes:

a) Valor de los índices acústicos existentes o previstos en cada una de las áreas acústicas afectadas.

b) Valores límite y objetivos de calidad acústica aplicables a dichas áreas.

c) Superación o no por los valores existentes de los índices acústicos de los valores límite aplicables, y cumplimiento o no de los objetivos aplicables de calidad acústica.

d) Número estimado de personas, de viviendas, de colegios y de hospitales expuestos a la contaminación acústica en cada área acústica.

3. El Gobierno determinará reglamentariamente los tipos de mapas de contaminación acústica, el contenido mínimo de cada uno de ellos, su formato y las formas de su presentación al público.

#### Artículo 16. *Revisión de los mapas.*

Los mapas de ruido habrán de revisarse y, en su caso, modificarse cada cinco años a partir de la fecha de su aprobación.

## CAPÍTULO III

### Prevención y corrección de la contaminación acústica

#### SECCIÓN 1.ª PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

#### Artículo 17. *Planificación territorial.*

La planificación y el ejercicio de competencias estatales, generales o sectoriales, que incidan en la ordenación del territorio, la planificación general territorial, así como el planeamiento urbanístico, deberán tener en cuenta las previsiones establecidas en esta ley, en las normas dictadas en su desarrollo y en las actuaciones administrativas realizadas en ejecución de aquéllas.

#### Artículo 18. *Intervención administrativa sobre los emisores acústicos.*

1. Las Administraciones públicas competentes aplicarán, en relación con la contaminación acústica producida o susceptible de producirse por los emisores acústicos, las previsiones contenidas en esta ley y en sus normas de desarrollo en cualesquiera actuaciones previstas en la normativa ambiental aplicable y, en particular, en las siguientes:

a) En las actuaciones relativas al otorgamiento de la autorización ambiental integrada.

b) En las actuaciones relativas a la evaluación de impacto ambiental u otras figuras de evaluación ambiental previstas en la normativa autonómica.

c) En las actuaciones relativas a la licencia municipal de actividades clasificadas regulada en el Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas, o en la normativa autonómica que resulte de aplicación.

d) En el resto de autorizaciones, licencias y permisos que habiliten para el ejercicio de actividades o la ins-



talación y funcionamiento de equipos y máquinas susceptibles de producir contaminación acústica.

2. A efectos de lo previsto en el apartado anterior, las Administraciones públicas competentes asegurarán que:

a) Se adopten todas las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles, entendiendo como tales las tecnologías menos contaminantes en condiciones técnica y económicamente viables, tomando en consideración las características propias del emisor acústico de que se trate.

b) No se supere ningún valor límite aplicable sin perjuicio de lo dispuesto en materia de servidumbres acústicas.

3. El contenido de las autorizaciones, licencias u otras figuras de intervención aludidas en los apartados precedentes podrá revisarse por las Administraciones públicas competentes, sin que la revisión entrañe derecho indemnizatorio alguno, entre otros supuestos a efectos de adaptarlas a las reducciones de los valores límite acordadas conforme a lo previsto por el segundo párrafo del artículo 12.1.

4. Ninguna instalación, construcción, modificación, ampliación o traslado de cualquier tipo de emisor acústico podrá ser autorizado, aprobado o permitido su funcionamiento por la Administración competente, si se incumple lo previsto en esta ley y en sus normas de desarrollo en materia de contaminación acústica.

#### Artículo 19. *Autocontrol de las emisiones acústicas.*

Sin perjuicio de las potestades administrativas de inspección y sanción, la Administración competente podrá establecer, en los términos previstos en la correspondiente autorización, licencia u otra figura de intervención que sea aplicable, un sistema de autocontrol de las emisiones acústicas, debiendo los titulares de los correspondientes emisores acústicos informar acerca de aquél y de los resultados de su aplicación a la Administración competente.

#### Artículo 20. *Edificaciones.*

1. No podrán concederse nuevas licencias de construcción de edificaciones destinadas a viviendas, usos hospitalarios, educativos o culturales si los índices de inmisión medidos o calculados incumplen los objetivos de calidad acústica que sean de aplicación a las correspondientes áreas acústicas, excepto en las zonas de protección acústica especial y en las zonas de situación acústica especial, en las que únicamente se exigirá el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el espacio interior que les sean aplicables.

2. Los ayuntamientos, por razones excepcionales de interés público debidamente motivadas, podrán conceder licencias de construcción de las edificaciones aludidas en el apartado anterior aun cuando se incumplan los objetivos de calidad acústica en él mencionados, siempre que se satisfagan los objetivos establecidos para el espacio interior.

#### Artículo 21. *Reservas de sonidos de origen natural.*

Las comunidades autónomas podrán delimitar como reservas de sonidos de origen natural determinadas zonas en las que la contaminación acústica producida por la actividad humana no perturbe dichos sonidos. Asimismo, podrán establecerse planes de conservación de las condiciones acústicas de tales zonas o adoptarse medidas dirigidas a posibilitar la percepción de aquellos sonidos.

### SECCIÓN 2.<sup>a</sup> PLANES DE ACCIÓN EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

#### Artículo 22. *Identificación de los planes.*

En los términos previstos en esta ley y en sus normas de desarrollo, habrán de elaborarse y aprobarse, previo trámite de información pública por un período mínimo de un mes, planes de acción en materia de contaminación acústica correspondiente a los ámbitos territoriales de los mapas de ruido a los que se refiere el apartado 1 del artículo 14.

#### Artículo 23. *Fines y contenido de los planes.*

1. Los planes de acción en materia de contaminación acústica tendrán, entre otros, los siguientes objetivos:

a) Afrontar globalmente las cuestiones concernientes a la contaminación acústica en la correspondiente área o áreas acústicas.

b) Determinar las acciones prioritarias a realizar en caso de superación de los valores límite de emisión o inmisión o de incumplimiento de los objetivos de calidad acústica.

c) Proteger a las zonas tranquilas en las aglomeraciones y en campo abierto contra el aumento de la contaminación acústica.

2. El contenido mínimo de los planes de acción en materia de contaminación acústica será determinado por el Gobierno, debiendo en todo caso aquéllos precisar las actuaciones a realizar durante un período de cinco años para el cumplimiento de los objetivos establecidos en el apartado anterior. En caso de necesidad, el plan podrá incorporar la declaración de zonas de protección acústica especial.

#### Artículo 24. *Revisión de los planes.*

Los planes habrán de revisarse y, en su caso, modificarse previo trámite de información pública por un período mínimo de un mes, siempre que se produzca un cambio importante de la situación existente en materia de contaminación acústica y, en todo caso, cada cinco años a partir de la fecha de su aprobación.

### SECCIÓN 3.<sup>a</sup> CORRECCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

#### Artículo 25. *Zonas de Protección Acústica Especial.*

1. Las áreas acústicas en las que se incumplan los objetivos aplicables de calidad acústica, aun observándose por los emisores acústicos los valores límite aplicables, serán declaradas zonas de protección acústica especial por la Administración pública competente.

2. Desaparecidas las causas que provocaron la declaración, la Administración pública correspondiente declarará el cese del régimen aplicable a las zonas de protección acústica especial.

3. Las Administraciones públicas competentes elaborarán planes zonales específicos para la mejora acústica progresiva del medio ambiente en las zonas de protección acústica especial, hasta alcanzar los objetivos de calidad acústica que les sean de aplicación. Los planes contendrán las medidas correctoras que deban aplicarse a los emisores acústicos y a las vías de propagación, así como los responsables de su adopción, la cuantificación económica de aquéllas y, cuando sea posible, un proyecto de financiación.



4. Los planes zonales específicos podrán contener, entre otras, todas o algunas de las siguientes medidas:

a) Señalar zonas en las que se apliquen restricciones horarias o por razón del tipo de actividad a las obras a realizar en la vía pública o en edificaciones.

b) Señalar zonas o vías en las que no puedan circular determinadas clases de vehículos a motor o deban hacerlo con restricciones horarias o de velocidad.

c) No autorizar la puesta en marcha, ampliación, modificación o traslado de un emisor acústico que incremente los valores de los índices de inmisión existentes.

#### Artículo 26. Zonas de Situación Acústica Especial.

Si las medidas correctoras incluidas en los planes zonales específicos que se desarrollen en una zona de protección acústica especial no pudieran evitar el incumplimiento de los objetivos de calidad acústica, la Administración pública competente declarará el área acústica en cuestión como zona de situación acústica especial. En dicha zona se aplicarán medidas correctoras específicas dirigidas a que, a largo plazo, se mejore la calidad acústica y, en particular, a que no se incumplan los objetivos de calidad acústica correspondientes al espacio interior.

### CAPÍTULO IV

#### Inspección y régimen sancionador

##### Artículo 27. Inspección.

1. Los funcionarios que realicen labores de inspección en materia de contaminación acústica tendrán el carácter de agentes de la autoridad, a los efectos previstos en la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común y podrán acceder a cualquier lugar, instalación o dependencia, de titularidad pública o privada. En el supuesto de entradas domiciliarias se requerirá el previo consentimiento del titular o resolución judicial.

2. Los titulares de los emisores acústicos regulados por esta ley están obligados a prestar a las autoridades competentes toda la colaboración que sea necesaria, a fin de permitirles realizar los exámenes, controles, mediciones y labores de recogida de información que sean pertinentes para el desempeño de sus funciones.

##### Artículo 28. Infracciones.

1. Sin perjuicio de las infracciones que puedan establecer las comunidades autónomas y los ayuntamientos, las infracciones administrativas relacionadas con la contaminación acústica se clasifican en muy graves, graves y leves.

2. Son infracciones muy graves las siguientes:

a) La producción de contaminación acústica por encima de los valores límite establecidos en zonas de protección acústica especial y en zonas de situación acústica especial.

b) La superación de los valores límite que sean aplicables, cuando se haya producido un daño o deterioro grave para el medio ambiente o se haya puesto en peligro grave la seguridad o la salud de las personas.

c) El incumplimiento de las condiciones establecidas, en materia de contaminación acústica, en la autorización ambiental integrada, en la autorización o aprobación del proyecto sometido a evaluación de impacto ambiental, en la licencia de actividades clasificadas o en otras figuras de intervención administrativa, cuando se haya producido un daño o deterioro grave para el medio ambiente o se haya puesto en peligro grave la seguridad o la salud de las personas.

d) El incumplimiento de las normas que establezcan requisitos relativos a la protección de las edificaciones contra el ruido, cuando se haya puesto en peligro grave la seguridad o la salud de las personas.

e) El incumplimiento de las obligaciones derivadas de la adopción de medidas provisionales conforme al artículo 31.

3. Son infracciones graves las siguientes:

a) La superación de los valores límite que sean aplicables, cuando no se haya producido un daño o deterioro grave para el medio ambiente ni se haya puesto en peligro grave la seguridad o la salud de las personas.

b) El incumplimiento de las condiciones establecidas en materia de contaminación acústica, en la autorización ambiental integrada, en la autorización o aprobación del proyecto sometido a evaluación de impacto ambiental, en la licencia de actividades clasificadas o en otras figuras de intervención administrativa, cuando no se haya producido un daño o deterioro grave para el medio ambiente ni se haya puesto en peligro grave la seguridad o la salud de las personas.

c) La ocultación o alteración maliciosa de datos relativos a la contaminación acústica aportados a los expedientes administrativos encaminados a la obtención de autorizaciones o licencias relacionadas con el ejercicio de las actividades reguladas en esta ley.

d) El impedimento, el retraso o la obstrucción a la actividad inspectora o de control de las Administraciones públicas.

e) La no adopción de las medidas correctoras requeridas por la Administración competente en caso de incumplimiento de los objetivos de calidad acústica.

4. Son infracciones leves las siguientes:

a) La no comunicación a la Administración competente de los datos requeridos por ésta dentro de los plazos establecidos al efecto.

b) La instalación o comercialización de emisores acústicos sin acompañar la información sobre sus índices de emisión, cuando tal información sea exigible conforme a la normativa aplicable.

c) El incumplimiento de las prescripciones establecidas en esta ley, cuando no esté tipificado como infracción muy grave o grave.

5. Las ordenanzas locales podrán tipificar infracciones en relación con:

a) El ruido procedente de usuarios de la vía pública en determinadas circunstancias.

b) El ruido producido por las actividades domésticas o los vecinos, cuando exceda de los límites tolerables de conformidad con los usos locales.

##### Artículo 29. Sanciones.

1. Las infracciones a las que se refieren los apartados 2 a 4 del artículo anterior podrán dar lugar a la imposición de todas o algunas de las siguientes sanciones:

a) En el caso de infracciones muy graves:

1.º Multas desde 12.001 euros hasta 300.000 euros.

2.º Revocación de la autorización ambiental integrada, la autorización o aprobación del proyecto sometido a evaluación de impacto ambiental, la licencia de actividades clasificadas u otras figuras de intervención administrativa en las que se hayan establecido condiciones relativas a la contaminación acústica, o la suspensión de la vigencia de su vigencia por un período de tiempo comprendido entre un año y un día y cinco años.

3.º Clausura definitiva, total o parcial, de las instalaciones.

4.º Clausura temporal, total o parcial, de las instalaciones por un período no inferior a dos años ni superior a cinco.

5.º Publicación, a través de los medios que se consideren oportunos, de las sanciones impuestas, una vez que éstas hayan adquirido firmeza en vía administrativa o, en su caso, jurisdiccional, así como los nombres, apellidos o denominación o razón social de las personas físicas o jurídicas responsables y la índole y naturaleza de las infracciones.

6.º El precintado temporal o definitivo de equipos y máquinas.

7.º La prohibición temporal o definitiva del desarrollo de actividades.

b) En el caso de infracciones graves:

1.º Multas desde 601 euros hasta 12.000 euros.

2.º Suspensión de la vigencia de la autorización ambiental integrada, la autorización o aprobación del proyecto sometido a evaluación de impacto ambiental, la licencia de actividades clasificadas u otras figuras de intervención administrativa en las que se hayan establecido condiciones relativas a la contaminación acústica, por un período de tiempo comprendido entre un mes y un día y un año.

3.º Clausura temporal, total o parcial, de las instalaciones por un período máximo de dos años.

c) En el caso de infracciones leves, multas de hasta 600 euros.

2. Las ordenanzas locales podrán establecer como sanciones por la comisión de infracciones previstas por aquéllas las siguientes:

a) Multas.

b) Suspensión de la vigencia de las autorizaciones o licencias municipales en las que se hayan establecido condiciones relativas a la contaminación acústica, por un período de tiempo inferior a un mes.

3. Las sanciones se impondrán atendiendo a:

a) Las circunstancias del responsable.

b) La importancia del daño o deterioro causado.

c) El grado del daño o molestia causado a las personas, a los bienes o al medio ambiente.

d) La intencionalidad o negligencia.

e) La reincidencia y la participación.

#### Artículo 30. *Potestad sancionadora.*

1. La imposición de las sanciones corresponderá:

a) Con carácter general, a los ayuntamientos.

b) A las comunidades autónomas, en los supuestos de las infracciones siguientes:

1.º Artículo 28.2.c), cuando las condiciones incumplidas hayan sido establecidas por la comunidad autónoma.

2.º Artículo 28.2.e), cuando la medida provisional se haya adoptado por la comunidad autónoma.

3.º Artículo 28.3.b), cuando las condiciones incumplidas hayan sido establecidas por la comunidad autónoma.

4.º Artículo 28.3.c), cuando la competencia para otorgar la autorización o licencia corresponda a la comunidad autónoma.

5.º Artículo 28.3.d), cuando la Administración en cuestión sea la autonómica.

6.º Artículo 28.3.e), cuando la Administración requiriente sea la autonómica.

7.º Artículo 28.4.a), cuando la Administración requiriente sea la autonómica.

c) A la Administración General del Estado, en el ejercicio de sus competencias exclusivas.

#### Artículo 31. *Medidas provisionales.*

Una vez iniciado el procedimiento sancionador, el órgano competente para imponer la sanción podrá adoptar alguna o algunas de las siguientes medidas provisionales:

a) Precintado de aparatos, equipos o vehículos.

b) Clausura temporal, parcial o total, de las instalaciones o del establecimiento.

c) Suspensión temporal de la autorización ambiental integrada, la autorización o aprobación del proyecto sometido a evaluación de impacto ambiental, la licencia de actividades clasificadas u otras figuras de intervención administrativa en las que se hayan establecido condiciones relativas a la contaminación acústica.

d) Medidas de corrección, seguridad o control que impidan la continuidad en la producción del riesgo o del daño.

Disposición adicional primera. *Calendario de aplicación de esta ley.*

1. Los mapas de ruido habrán de estar aprobados:

a) Antes del día 30 de junio de 2007, los correspondientes a cada uno de los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, de los grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60.000 trenes al año, de los grandes aeropuertos y de las aglomeraciones con más de 250.000 habitantes.

b) Antes del día 30 de junio de 2012, los correspondientes a cada uno de los restantes grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y aglomeraciones.

2. Los planes de acción en materia de contaminación acústica habrán de estar aprobados:

a) Antes del día 18 de julio de 2008, los correspondientes a los ámbitos territoriales de los mapas de ruido a los que se refiere el párrafo a) del apartado anterior.

b) Antes del día 18 de julio de 2013, los correspondientes a los ámbitos territoriales de los mapas de ruido a los que se refiere el párrafo b) del apartado anterior.

Disposición adicional segunda. *Servidumbres acústicas de infraestructuras estatales.*

1. La actuación de la Administración General del Estado en la delimitación de las zonas de servidumbre acústica atribuidas a su competencia, y en la determinación de las limitaciones aplicables en las mismas, estará orientada, de acuerdo con los criterios que reglamentariamente se establezcan, a compatibilizar, en lo posible, las actividades consolidadas en tales zonas de servidumbre con las propias de las infraestructuras y equipamientos que las justifiquen, informándose tal actuación por los niveles de calidad acústica correspondientes a las zonas afectadas.

2. En relación con la delimitación de las zonas de servidumbre acústica de las infraestructuras nuevas de competencia estatal, se solicitará informe preceptivo de las Administraciones afectadas, y se realizará en todo caso el trámite de información pública. Asimismo, se solicitará informe preceptivo de la comunidad autónoma afectada en relación con la determinación de las limitaciones de aplicación en tal zona y con la aprobación de los planes de acción en materia de contaminación acústica de competencia estatal.



3. Cuando dentro de una zona de servidumbre acústica delimitada como consecuencia de la instalación de una nueva infraestructura o equipamiento de competencia estatal existan edificaciones preexistentes, en la declaración de impacto ambiental que se formule se especificarán las medidas que resulten económicamente proporcionadas tendentes a que se alcancen en el interior de tales edificaciones unos niveles de inmisión acústica compatibles con el uso característico de las mismas.

A los efectos de la aplicación de esta disposición, se entenderá que una edificación tiene carácter preexistente cuando la licencia de obras que la ampare sea anterior a la aprobación de la correspondiente servidumbre acústica, y que una infraestructura es nueva cuando su proyecto se haya aprobado con posterioridad a la entrada en vigor de esta ley.

**Disposición adicional tercera. Aeropuertos y equipamientos vinculados al sistema de navegación y transporte aéreo.**

En el caso de los aeropuertos y demás equipamientos vinculados al sistema de navegación y transporte aéreo, las previsiones de esta ley se entienden sin perjuicio de lo dispuesto por su regulación específica y, en especial, por la disposición adicional única de la Ley 48/1960, de 21 de julio, de Navegación Aérea, en la redacción establecida por el artículo 63.4 de la Ley 55/1999, de 29 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social, por lo que la competencia para la determinación de las servidumbres legales impuestas por razón de la navegación aérea, entre las que deben incluirse las acústicas, corresponderá a la Administración General del Estado a propuesta, en su caso, de la Administración competente sobre el aeropuerto.

**Disposición adicional cuarta. Código Técnico de la Edificación.**

El Código Técnico de la Edificación, previsto en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, deberá incluir un sistema de verificación acústica de las edificaciones.

**Disposición adicional quinta. Saneamiento por vicios o defectos ocultos.**

A efectos de lo dispuesto por los artículos 1484 y siguientes del Código Civil, se considerará concurrente un supuesto de vicios o defectos ocultos en los inmuebles vendidos determinante de la obligación de saneamiento del vendedor en el caso de que no se cumplan en aquéllos los objetivos de calidad en el espacio interior fijados conforme al artículo 8.3 de esta ley.

**Disposición adicional sexta. Tasas por la prestación de servicios de inspección.**

De conformidad con lo previsto en el apartado 4 del artículo 20 de la Ley 39/1988, de 28 de diciembre, Reguladora de las Haciendas Locales, las Entidades Locales podrán establecer tasas por la prestación de servicios de inspección que realicen para verificar el cumplimiento de lo dispuesto en esta ley.

**Disposición adicional séptima. Información al público sobre determinados emisores acústicos.**

El Gobierno podrá exigir reglamentariamente que la instalación o comercialización de determinados emisores acústicos se acompañe de información suficiente, que se determinará asimismo reglamentariamente, sobre los índices de emisión cuando aquéllos se utilicen en la forma y condiciones previstas en su diseño.

**Disposición adicional octava. Información a la Comisión Europea.**

De conformidad con lo dispuesto por el artículo 10 de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común, el Gobierno establecerá reglamentariamente el alcance de la información que habrá de ser facilitada por las comunidades autónomas a la Administración General del Estado, así como los plazos aplicables a tal efecto, con objeto de que ésta cumpla las obligaciones de información a la Comisión Europea impuestas al Reino de España por la Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. A tal fin, y en los términos que se prevean en la legislación autonómica, las corporaciones locales pondrán la información necesaria a disposición de las correspondientes comunidades autónomas para su remisión por éstas a la Administración General del Estado.

**Disposición adicional novena. Contratación pública.**

Las Administraciones públicas promoverán el uso de maquinaria, equipos y pavimentos de baja emisión acústica, especialmente al contratar las obras y suministros.

**Disposición adicional décima. Proyectos de infraestructura.**

1. Sin perjuicio de lo dispuesto en materia de servidumbres acústicas, las infraestructuras consideradas como emisores acústicos que por sus peculiaridades técnicas o de explotación no puedan ajustarse a los valores límite o a las normas de protección establecidos al amparo de esta ley podrán, a falta de alternativas técnica y económicamente viables, autorizarse excepcionalmente cuando su interés público así lo justifique.

2. En todo caso, la preceptiva declaración de impacto ambiental habrá de especificar en estos supuestos las medidas más eficaces de protección contra la contaminación acústica que puedan adoptarse con criterios de racionalidad económica.

**Disposición adicional undécima. Régimen de exclusión de limitaciones acústicas.**

Excepcionalmente, y mediante acuerdo motivado, el Consejo de Ministros podrá excluir de las limitaciones acústicas derivadas de esta ley a las infraestructuras estatales directamente afectadas a fines de seguridad pública.

**Disposición adicional duodécima. Áreas acústicas de uso predominantemente industrial.**

Reglamentariamente, en las áreas acústicas de uso predominantemente industrial se tendrán en cuenta las singularidades de las actividades industriales para el establecimiento de los objetivos de calidad, respetando en todo caso el principio de proporcionalidad económica. Ello sin menoscabo de que la contaminación acústica en el lugar de trabajo se rija por la normativa sectorial aplicable.

**Disposición transitoria primera. Emisores acústicos existentes.**

Los emisores acústicos existentes en la fecha de entrada en vigor de esta ley deberán adaptarse a lo dispuesto en la misma antes del día 30 de octubre de 2007.

**Disposición transitoria segunda. Planeamiento territorial vigente.**

El planeamiento territorial general vigente a la entrada en vigor de esta ley deberá adaptarse a sus previsiones en el plazo de cinco años desde la entrada en vigor de su Reglamento general de desarrollo.



Disposición transitoria tercera. *Zonas de servidumbre acústica.*

En tanto no se aprueben el mapa acústico o las servidumbres acústicas procedentes de cada una de las infraestructuras de competencia de la Administración General del Estado, se entenderá por zona de servidumbre acústica de las mismas el territorio incluido en el entorno de la infraestructura delimitado por los puntos del territorio, o curva isófona, en los que se midan los objetivos de calidad acústica que sean de aplicación a las áreas acústicas correspondientes.

Disposición derogatoria única. *Derogación normativa.*

Quedan derogadas cuantas disposiciones de igual o menor rango se opongan a lo dispuesto en esta ley.

Disposición final primera. *Fundamento constitucional y carácter básico.*

Esta ley se dicta al amparo de las competencias exclusivas que al Estado otorga el artículo 149.1.16.<sup>a</sup> y 23.<sup>a</sup> de la Constitución, en materia de bases y coordinación general de la sanidad y de legislación básica sobre protección del medio ambiente. Se exceptúan de lo anterior la disposición adicional quinta, que se dicta al amparo del artículo 149.1.8.<sup>a</sup>, la disposición adicional sexta, que se fundamenta en el artículo 149.1.14.<sup>a</sup> y los apartados 2 y 3 del artículo 4, las disposiciones adicionales segunda y tercera y la disposición transitoria tercera que se dictan de acuerdo con el artículo 149.1.13.<sup>a</sup>, 20.<sup>a</sup>, 21.<sup>a</sup> y 24.<sup>a</sup>

Disposición final segunda. *Desarrollo reglamentario.*

El Gobierno, en el ámbito de sus competencias, dictará las normas de desarrollo que requiera esta ley.

Disposición final tercera. *Actualización de sanciones.*

El Gobierno podrá, mediante real decreto, actualizar el importe de las sanciones pecuniarias tipificadas en el artículo 29.1, de acuerdo con la variación anual del Índice de Precios al Consumo.

Por tanto,

Mando a todos los españoles, particulares y autoridades, que guarden y hagan guardar esta ley.

Madrid, 17 de noviembre de 2003.

JUAN CARLOS R.

El Presidente del Gobierno,  
JOSÉ MARÍA AZNAR LÓPEZ

**20977** LEY 38/2003, de 17 de noviembre, General de Subvenciones.

JUAN CARLOS I

REY DE ESPAÑA

A todos los que la presente vieren y entendieren.  
Sabed: Que las Cortes Generales han aprobado y Yo vengo en sancionar la siguiente ley.

EXPOSICIÓN DE MOTIVOS

I

Una parte importante de la actividad financiera del sector público se canaliza a través de subvenciones, con

el objeto de dar respuesta, con medidas de apoyo financiero, a demandas sociales y económicas de personas y entidades públicas o privadas.

Desde la perspectiva económica, las subvenciones son una modalidad importante de gasto público y, por tanto, deben ajustarse a las directrices de la política presupuestaria. La política presupuestaria actual está orientada por los criterios de estabilidad y crecimiento económico pactados por los países de la Unión Europea, que, además, en España han encontrado expresión normativa en las leyes de estabilidad presupuestaria. Esta orientación de la política presupuestaria ha seguido un proceso de consolidación de las cuentas públicas hasta la eliminación del déficit público y se propone mantener, en lo sucesivo, el equilibrio presupuestario.

Este proceso de consolidación presupuestaria no sólo ha tenido unos efectos vigorizantes sobre nuestro crecimiento, sino que, además, ha fortalecido nuestros fundamentos económicos.

La Ley de Estabilidad Presupuestaria vino a otorgar seguridad jurídica y continuidad en la aplicación a los principios inspiradores de la consolidación presupuestaria, definiendo la envolvente de la actividad financiera del sector público e introduciendo cambios en el procedimiento presupuestario que han mejorado sustancialmente tanto la transparencia en la elaboración, ejecución y control del presupuesto como la asignación y gestión de los recursos presupuestarios en un horizonte plurianual orientado por los principios de eficacia, eficiencia y calidad de las finanzas públicas.

La austeridad en el gasto corriente, la mejor selección de las políticas públicas poniendo el énfasis en las prioridades de gasto, así como el incremento del control y de la evaluación, han reducido paulatinamente las necesidades de financiación del sector público y han ampliado las posibilidades financieras del sector privado, con efectos dinamizadores sobre la actividad, el crecimiento y desarrollo económico, y sobre la creación de empleo.

Definido el marco general del equilibrio presupuestario y, en particular, establecido un techo de gasto para el Estado —que le impide gastar más y le impele a gastar mejor—, es necesario descender a una esfera microeconómica para trasladar los principios rectores de la Ley de Estabilidad Presupuestaria a los distintos componentes del presupuesto.

La Ley General de Subvenciones tiene en cuenta esta orientación y supone un paso más en el proceso de perfeccionamiento y racionalización de nuestro sistema económico, incardinándose en el conjunto de medidas y reformas que se ha venido instrumentando desde que se iniciara el proceso de apertura y liberalización de la economía española.

En este sentido, cabe señalar que las reformas estructurales de los sectores más oligopolizados, las políticas para la estabilización macroeconómica y la modernización del sector público español —incluida la privatización parcial del sector público empresarial— han sido todas ellas medidas garantes de la eliminación de mercados cautivos, creando un entorno de libre, visible y sana competencia, con los grandes beneficios que ésta genera para todos los ciudadanos.

Uno de los principios que va a regir la nueva Ley General de Subvenciones, que como ya se ha señalado están inspirados en los de la Ley de Estabilidad Presupuestaria, es el de la transparencia. Con este objeto, las Administraciones deberán hacer públicas las subvenciones que concedan, y, a la vez, la ley establece la obligación de formar una base de datos de ámbito nacional que contendrá información relevante sobre todas las subvenciones concedidas.

Esta mayor transparencia, junto con la gran variedad de instrumentos que se articulan en la ley, redundará de

**20792** REAL DECRETO 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

La Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, tiene por objeto la regulación de la contaminación acústica para evitar y, en su caso, reducir, los daños que pueda provocar en la salud humana, los bienes o el medio ambiente. Se entiende por contaminación acústica la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, que impliquen molestia o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza o que causen efectos significativos en el medio ambiente.

Se incorporan en la ley las previsiones básicas de la Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, previsiones que ahora se desarrollan y se completa la incorporación de la norma comunitaria sobre ruido ambiental, cuya aplicación y vinculación para las administraciones competentes se ha producido también por el transcurso del plazo previsto para su incorporación total a la legislación nacional a través de su efecto directo.

Este real decreto tiene por objeto la evaluación y gestión del ruido ambiental, con la finalidad de prevenir, reducir o evitar los efectos nocivos, incluyendo las molestias, derivadas de la exposición al ruido ambiental, según el ámbito de aplicación de la directiva comunitaria que se incorpora. Por ello se desarrollan los conceptos de ruido ambiental y sus efectos y molestias sobre la población, junto a una serie de medidas que permiten la consecución del objeto previsto como son los mapas estratégicos de ruido, los planes de acción y la información a la población.

En consecuencia, supone un desarrollo parcial de la Ley del Ruido, ya que ésta abarca la contaminación acústica producida no solo por el ruido ambiental, sino también por las vibraciones y sus implicaciones en la salud, bienes materiales y medio ambiente, en tanto que este real decreto, sólo comprende la contaminación acústica derivada del ruido ambiental y la prevención y corrección, en su caso, de sus efectos en la población, en consonancia con la directiva comunitaria citada.

Para el cumplimiento de su objeto se regulan determinadas actuaciones como son la elaboración de mapas estratégicos de ruido para determinar la exposición de la población al ruido ambiental, la adopción de planes de acción para prevenir y reducir el ruido ambiental y, en particular, cuando los niveles de exposición puedan tener efectos nocivos en la salud humana, así como poner a disposición de la población la información sobre ruido ambiental y sus efectos y aquella de que dispongan las autoridades competentes en relación con el cartografiado acústico y planes de acción derivados, en cumplimiento del mismo.

A efectos de determinar las administraciones competentes en cada caso se estará a las atribuciones competenciales que efectúa el artículo 4 de la Ley del Ruido.

Establece los mapas estratégicos de ruido, en atención a la habilitación legal del artículo 15.3 de la Ley del Ruido. Sirven a la evaluación global de la exposición al ruido, en una determinada zona, o para realizar en ella predicciones globales. Los requisitos mínimos que deben cumplir los mapas estratégicos de ruido se detallan en el anexo IV. Igualmente determina esta norma los criterios para la delimitación territorial de las aglomeraciones, según se indica en el anexo VII. Desarrolla las previsiones legales relativas a los índices de ruido que deben considerarse en la preparación y revisión de los mapas estratégicos de ruido y que se detallan en el anexo I, así como los

métodos de evaluación para la determinación de tales índices y de sus efectos nocivos sobre la población, según se desarrollan en los anexos II y III, respectivamente.

En relación con los planes de acción frente a la contaminación por ruido ambiental, se establecen sus requisitos mínimos en el anexo V.

Al objeto del cumplimiento de las obligaciones establecidas en la Ley del Ruido y en la presente norma, del suministro de información a la Comisión Europea y a organismos internacionales, así como para la gestión adecuada de la información que conviene a la elaboración de los mapas estratégicos de ruido y planes de acción de las infraestructuras de competencia estatal, se crea un sistema básico de información de la contaminación acústica que radica en el Ministerio de Medio Ambiente. Para ello se constituye un centro de recepción, análisis y procesamiento de datos, que no implica la creación de un nuevo órgano administrativo, ni incremento alguno de gasto, y que será gestionado por los medios humanos y materiales de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. A tal fin se establece en el anexo VI la información que las autoridades competentes en esta materia deben suministrar al citado Departamento y las fechas de remisión de la misma.

En la elaboración de este real decreto han sido consultados los agentes económicos y sociales interesados, las comunidades autónomas y el Consejo Asesor de Medio Ambiente y se ha emitido el dictamen preceptivo de la Comisión Nacional de Administración Local.

En su virtud, a propuesta de las Ministras de Medio Ambiente y de Sanidad y Consumo, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 16 de diciembre de 2005,

#### DISPONGO:

##### Artículo 1. Objeto.

Este real decreto tiene por objeto desarrollar la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a evaluación y gestión del ruido ambiental, estableciendo un marco básico destinado a evitar, prevenir o reducir con carácter prioritario los efectos nocivos, incluyendo las molestias, de la exposición al ruido ambiental y completar la incorporación a nuestro ordenamiento jurídico de la Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

##### Artículo 2. Ámbito de aplicación.

1. Se aplicará al ruido ambiental al que estén expuestos los seres humanos, en particular, en zonas urbanizadas, en parques públicos u otras zonas tranquilas de una aglomeración, en zonas tranquilas en campo abierto, en las proximidades de centros escolares, en los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido.

2. No se aplicará al ruido producido por la propia persona expuesta, por las actividades domésticas, por los vecinos, en el lugar de trabajo ni en el interior de medios de transporte, así como tampoco a los ruidos debidos a las actividades militares en zonas militares, que se registrarán por su legislación específica.

##### Artículo 3. Definiciones.

A efectos de este Real decreto se entenderá por:

a) Aglomeración: la porción de un territorio, con más de 100.000 habitantes, delimitada por la administración competente aplicando los criterios básicos del anexo VII,



que es considerada zona urbanizada por dicha administración.

b) Efectos nocivos: los efectos negativos sobre la salud humana.

c) Índice de ruido: una magnitud física para describir el ruido ambiental, que tiene una relación con un efecto nocivo.

d)  $L_{den}$  (Índice de ruido día-tarde-noche): el índice de ruido asociado a la molestia global, que se describe en el anexo I.

e)  $L_d$  (Índice de ruido día): el índice de ruido asociado a la molestia durante el período día, que se describe en el anexo I. Equivalente al  $L_{day}$  (Indicador de ruido diurno).

f)  $L_e$  (Índice de ruido tarde): el índice de ruido asociado a la molestia durante el período tarde, que se describe en el anexo I. Equivalente al  $L_{evening}$  (Indicador de ruido en período vespertino).

g)  $L_n$  (Índice de ruido noche): el índice de ruido correspondiente a la alteración del sueño, que se describe en el anexo I. Equivalente al  $L_{night}$  (Indicador de ruido en período nocturno).

h) Mapa de ruido: la presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un índice de ruido, en la que se indicará la superación de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un índice de ruido en una zona específica.

i) Mapa estratégico de ruido: un mapa de ruido diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona.

j) Molestia: el grado de perturbación que provoca el ruido a la población, determinado mediante encuestas sobre el terreno.

k) Planificación acústica: el control del ruido futuro mediante medidas planificadas, como la ordenación territorial, la ingeniería de sistemas de gestión del tráfico, la ordenación de la circulación, la reducción del ruido con medidas de aislamiento acústico y la lucha contra el ruido en su origen.

l) Población: cualquier persona física o jurídica, así como sus asociaciones u organizaciones constituidas con arreglo a la normativa que les sea de aplicación.

m) Relación dosis-efecto: la relación entre el valor de un índice de ruido y un efecto nocivo.

n) Ruido ambiental: el 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 emplazamientos de actividades industriales como los descritos en el anexo I de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

ñ) Valor límite: un valor de  $L_{den}$  o  $L_{nr}$  o en su caso  $L_d$  y  $L_{nr}$  que no deber ser sobrepasado y que, de superarse, obliga a las autoridades competentes a prever o a aplicar medidas tendentes a evitar tal superación. Los valores límite pueden variar en función de la fuente emisora de ruido (ruido del tráfico rodado, ferroviario o aéreo, ruido industrial, etc.), del entorno o de la distinta vulnerabilidad al ruido de los grupos de población; pueden ser distintos de una situación existente a una nueva situación (cuando cambia la fuente de ruido o el uso dado al entorno).

o) Zona tranquila en una aglomeración: un espacio, delimitado por la autoridad competente, que no está expuesto a un valor de  $L_{den}$  o de otro índice de ruido apropiado, con respecto a cualquier fuente emisora de ruido, superior a un determinado valor que deberá ser fijado por el Gobierno.

#### Artículo 4. Información al público.

1. A la entrada en vigor de este real decreto, las administraciones competentes, de acuerdo con lo establecido en el artículo 4 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, en cumplimiento del plazo establecido en el artículo 4.2 de la Directiva 2002/49/CE, del Parlamento y del Consejo, habrán puesto a disposición del público la información que permita identificar a las autoridades responsables de:

a) la elaboración y aprobación de los mapas estratégicos de ruido y planes de acción para aglomeraciones urbanas, grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos;

b) la recopilación de los mapas estratégicos de ruido y planes de acción.

2. Las administraciones competentes velarán por que los mapas estratégicos de ruido que hayan realizado y aprobado, y los planes de acción que hayan elaborado, se pongan a disposición y se divulguen entre la población de acuerdo con la legislación vigente sobre derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente y de conformidad con los anexos IV y V del presente real decreto. Para ello se utilizarán las tecnologías de la información disponibles que resulten más adecuadas.

3. Esta información deberá ser clara, inteligible y fácilmente accesible y deberá incluir un resumen en el que se recogerán los principales contenidos.

#### Artículo 5. Índices de ruido y su aplicación.

1. Se aplicarán los índices de ruido  $L_{den}$  y  $L_{nr}$ , tal como se mencionan en el anexo I, en la preparación y la revisión de los mapas estratégicos de ruido, de conformidad con los artículos 8 y 9.

2. Hasta tanto se usen con carácter obligatorio métodos comunes de evaluación para la determinación de los índices  $L_{den}$  y  $L_{nr}$ , se podrán utilizar a estos efectos los índices de ruido existentes y otros datos conexos, que deberán transformarse, justificando técnicamente las bases de la transformación, en los índices anteriormente citados. A estos efectos sólo se utilizarán datos correspondientes a los tres años inmediatos anteriores a la fecha de la determinación de estos índices de ruido.

3. Para la evaluación del ruido ambiental en casos especiales como los enumerados en el punto 2 del anexo I, se podrán utilizar índices suplementarios.

4. Para la planificación acústica y la determinación de zonas de ruido, se podrán utilizar índices distintos de  $L_{den}$  y  $L_{nr}$ .

#### Artículo 6. Métodos de evaluación de los índices de ruido ambiental.

1. Los valores de  $L_{den}$  y  $L_{nr}$  se determinarán por medio de los métodos de evaluación descritos en el anexo II.

2. Hasta tanto se adopten métodos homogéneos en el marco de la Unión Europea se podrán utilizar métodos de evaluación distintos de los anteriores, adaptados de conformidad con el anexo II. En este caso, se deberá demostrar que esos métodos dan resultados equivalentes a los que se obtienen con los métodos que menciona el punto 2, del anexo II.

#### Artículo 7. Métodos de evaluación de los efectos nocivos.

Los efectos nocivos se podrán evaluar según las relaciones dosis-efecto a las que se hace referencia en el anexo III.



**Artículo 8. Identificación y elaboración de mapas estratégicos de ruido.**

1. Las administraciones competentes para la aprobación de mapas de ruido habrán identificado, a la entrada en vigor de este real decreto, en cumplimiento del plazo establecido en el artículo 7 de la Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, la relación de los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, los grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60.000 trenes al año, los grandes aeropuertos, y las aglomeraciones de más de 250.000 habitantes, y su delimitación territorial, presentes en su territorio. Asimismo cumplirán esta obligación antes del 30 de junio de 2010 y cada cinco años desde dicha fecha.

Asimismo, antes del 31 de octubre de 2008, tendrán identificados todos los grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios, así como todas las aglomeraciones, y su delimitación territorial, existentes en su territorio.

2. En los términos previstos en el artículo 14.1, de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, las administraciones competentes elaborarán y aprobarán, de acuerdo con los requisitos mínimos establecidos en el anexo IV, mapas estratégicos de ruido correspondientes a cada uno de los grandes ejes viarios, de los grandes ejes ferroviarios, de los grandes aeropuertos y de las aglomeraciones, con arreglo al calendario siguiente:

a) Antes del 30 de junio de 2007 se habrán elaborado y aprobado por las autoridades competentes, mapas estratégicos de ruido sobre la situación del año natural anterior, correspondientes a todas las aglomeraciones con más de 250.000 habitantes y a todos los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60.000 trenes al año, y grandes aeropuertos existentes en su territorio.

b) Antes del 30 de junio de 2012, y después cada cinco años, se han de elaborar y aprobar por las autoridades competentes, mapas estratégicos de ruido sobre la situación al año natural anterior, correspondientes a todas las aglomeraciones urbanas y a todos los grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios existentes en su territorio.

**Artículo 9. Delimitación del ámbito territorial de los mapas estratégicos de ruido.**

De acuerdo con el artículo 15.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, para la delimitación del ámbito territorial de los mapas estratégicos de ruido se aplicarán los criterios siguientes:

a) Mapas estratégicos de ruido de las aglomeraciones;

1.º El ámbito territorial del mapa estratégico de ruido de una aglomeración comprende el sector de territorio que delimita la aglomeración, por aplicación de los criterios establecidos en el anexo VII.

2.º En la elaboración de estos mapas estratégicos de ruido, por la administración competente, se tendrán en cuenta los emisores de ruido externos al ámbito territorial de la aglomeración que tengan una incidencia significativa en el ruido ambiental de la misma.

b) Grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos;

El ámbito territorial de los mapas estratégicos de ruido deberá extenderse, como mínimo, hasta los puntos del territorio en el entorno de los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos, donde se alcancen, debido a la emisión de niveles de ruido propios, valores  $L_{den}$  de 55 dB, y valores  $L_n$  de 50 dB(A).

**Artículo 10. Planes de acción.**

1. Antes del 18 de julio de 2008, las administraciones competentes tendrán elaborados, de acuerdo con los requisitos mínimos establecidos en el anexo V, planes de acción dirigidos a solucionar en su territorio las cuestiones relativas al ruido y sus efectos, y en su caso, a su reducción, para:

a) los lugares próximos a grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, a grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60.000 trenes al año, y a grandes aeropuertos.

b) las aglomeraciones con más de 250.000 habitantes, cuyos planes tendrán también por objeto proteger las zonas tranquilas contra el aumento del ruido.

Las administraciones competentes establecerán en los planes de acción, las medidas concretas que consideren oportunas, que determinarán las acciones prioritarias que se deban realizar en caso de superación de los valores límite, o de aquellos otros criterios elegidos por dichas administraciones. Estas medidas deberán aplicarse, en todo caso, a las zonas relevantes establecidas por los mapas estratégicos de ruido.

2. Asimismo, antes del 18 de julio de 2013, las administraciones competentes tendrán elaborados, de acuerdo con los requisitos mínimos establecidos en el anexo V, los planes de acción correspondientes a las aglomeraciones, a los grandes ejes viarios, y a los grandes ejes ferroviarios situados en su territorio, y determinarán las acciones prioritarias que se deban realizar en caso de superación de los valores límite, o de aquellos otros criterios elegidos por dichas administraciones.

**Artículo 11. Colaboración en la elaboración de mapas estratégicos de ruido y planes de acción.**

1. Cuando en la elaboración de los mapas estratégicos de ruido para aglomeraciones, grandes ejes viarios, ferroviarios y aeropuertos, concurren distintas administraciones públicas, por incidir emisores acústicos diversos en el mismo espacio, las autoridades responsables colaborarán en la elaboración de los respectivos mapas, con el fin de garantizar su homogeneidad y coherencia.

2. Igualmente, en supuestos de concurrencia competencial como los descritos en el apartado 1, por razones de eficacia y eficiencia en la actuación pública, las administraciones públicas concurrentes colaborarán en la elaboración de sus correspondientes planes de acción para evitar duplicidades innecesarias. Asimismo, promoverán la celebración de convenios y acuerdos voluntarios de colaboración para el desarrollo de estos planes, cuando las circunstancias así lo aconsejen, de acuerdo con lo establecido en artículo 4 de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común.

**Artículo 12. Mapas estratégicos de ruido limítrofes.**

1. En los supuestos de elaboración de mapas estratégicos de ruido que afecten a zonas fronterizas con otro Estado miembro, la administración pública competente remitirá el borrador de mapa estratégico al Ministerio de Medio Ambiente para su envío al Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación. Este departamento lo comunicará al Estado miembro afectado con el fin de que emita su parecer al respecto. La administración pública competente tomará en consideración las observaciones realizadas por el Estado miembro consultado en la elaboración del mapa estratégico.

Cuando un Estado miembro de la Unión Europea comunique la elaboración de mapas de ruido que puedan afectar a zonas situadas en territorio español, el Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación lo pondrá en conocimiento del Ministerio de Medio Ambiente y de la administración pública competente afectada, que podrá emitir un informe al respecto. El Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación dará traslado del mismo a dicho Estado.

2. En los supuestos de elaboración por parte de una comunidad autónoma de mapas estratégicos de ruido que afecten a una zona limítrofe con otra comunidad autónoma, la administración pública responsable de su elaboración solicitará informe de la comunidad autónoma afectada.

#### Artículo 13. Seguimiento.

Con el fin de que los resultados obtenidos en los procesos de evaluación del ruido ambiental sean homogéneos y comparables, las administraciones competentes velarán por la implantación de sistemas de control que aseguren la correcta aplicación de los métodos y procedimientos de evaluación establecidos en este real decreto.

#### Artículo 14. Información a la Comisión Europea.

1. De acuerdo con la disposición adicional octava de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, con el objeto de que la Administración General del Estado cumpla las obligaciones de información a la Comisión Europea impuestas al Reino de España por la Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, las administraciones públicas competentes, deben comunicar al Ministerio de Medio Ambiente:

Antes del 30 de junio de 2010 y cada cinco años desde dicha fecha, la relación de los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, los grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60.000 trenes al año, los grandes aeropuertos, y las aglomeraciones de más de 250.000 habitantes, y su delimitación territorial, presentes en su territorio.

Antes del 31 de octubre de 2008, la relación de todos los grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios, así como todas las aglomeraciones, y su delimitación territorial, existentes en su territorio.

Antes de tres meses después de las fechas mencionadas respectivamente en los artículos 8 y 10, la información resultante de los mapas estratégicos de ruido y de los resúmenes de los planes de acción contemplados en el anexo VI.

2. El Ministerio de Medio Ambiente colaborará con las comunidades autónomas para que la información a que se refiere este artículo sea recogida y tenga un tratamiento homogéneo, con el fin de facilitar el cumplimiento correcto y ágil de la obligación de información a la Comisión Europea.

#### Disposición adicional única. Creación de un sistema básico de información sobre contaminación acústica.

1. En aplicación del artículo 5.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, se crea en la Administración General del Estado un sistema básico de información sobre contaminación acústica, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente.

2. Este sistema básico constituye la base de datos necesaria para la organización de la información relativa a la contaminación acústica, y en particular, la referente a

los mapas estratégicos de ruido y planes de acción, con el fin de poder gestionarla de forma adecuada para dar cumplimiento a las obligaciones del Ministerio de Medio Ambiente, en particular a los compromisos de remisión periódica de información sobre evaluación del ruido ambiental a la Comisión Europea y a otros organismos internacionales.

3. El sistema básico de información sobre contaminación acústica estará constituido por un Centro de recepción, análisis y procesado de datos, radicado en la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente.

4. Al Centro de recepción, análisis, y procesado de datos corresponderá:

a) Notificar a las autoridades competentes, con la periodicidad que se establece en este real decreto, el envío de comunicaciones a que se refiere el artículo 14.1 de este real decreto.

b) Establecer formatos homogéneos y organizar la información para comunicación a la Comisión Europea, de conformidad con los criterios establecidos por ésta.

c) Recopilar, la información referente a las autoridades competentes en la elaboración de mapas estratégicos de ruido y planes de acción.

d) Recopilar la información referente a mapas estratégicos de ruido y planes de acción.

e) Elaboración y gestión de un sistema telemático de información al público sobre la contaminación acústica.

f) Elaboración y publicación de estudios sobre contaminación acústica, y de guías de buenas prácticas para la evaluación y gestión de la contaminación acústica.

#### Disposición final primera. Título competencial.

El presente real decreto tiene carácter de legislación básica al amparo del artículo 149.1.16.ª y 23.ª de la Constitución, que atribuye al Estado competencia exclusiva en materia de bases y coordinación general de la sanidad y legislación básica sobre protección del medio ambiente.

#### Disposición final segunda. Habilitación para el desarrollo reglamentario.

1. Se habilita a los Ministros de Sanidad y Consumo y de Medio Ambiente para dictar conjunta o separadamente, según las materias de que se trate, y en el ámbito de sus respectivas competencias, cuantas disposiciones sean necesarias para el desarrollo y aplicación de este real decreto.

2. Se faculta a los Ministros de Sanidad y Consumo y de Medio Ambiente para, en los términos del apartado anterior, introducir en los anexos de este real decreto, cuantas modificaciones fuesen precisas para adaptarlos a lo dispuesto en la normativa comunitaria.

#### Disposición final tercera. Entrada en vigor.

El presente real decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid, el 16 de diciembre de 2005.

JUAN CARLOS R.

La Vicepresidenta Primera del Gobierno  
y Ministra de la Presidencia,  
MARÍA TERESA FERNÁNDEZ DE LA VEGA SANZ



## ANEXO I

## Índices de ruido

## 1. Definición de índices de ruido

- a) Definición del índice de ruido día-tarde-noche,

$L_{den}$ . El índice de ruido día-tarde-noche,  $L_{den}$ , se expresa en decibelios (dB), y se determina mediante la expresión siguiente:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_t+3}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right)$$

Donde:

$L_d$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos día de un año.

$L_t$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos tarde de un año.

$L_n$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos noche de un año.

Donde:

Al día le corresponden 12 horas, a la tarde 4 horas y a la noche 8 horas. La administración competente puede optar por reducir el período tarde en una o dos horas y alargar los períodos día y/o noche en consecuencia, siempre que dicha decisión se aplique a todas las fuentes, y que facilite al Ministerio de Medio Ambiente información sobre la diferencia sistemática con respecto a la opción por defecto. En el caso de la modificación de los períodos temporales, esta modificación debe reflejarse en la expresión que determina el  $L_{den}$ .

Los valores horarios de comienzo y fin de los distintos períodos son 7.00-19.00, 19.00-23.00 y 23.00-7.00, hora local. La administración competente podrá modificar la hora de comienzo del período día y, por consiguiente, cuándo empiezan la tarde y la noche. La decisión de modificación deberá aplicarse a todas las fuentes de ruido.

Un año corresponde al año considerado para la emisión de sonido y a un año medio por lo que se refiere a las circunstancias meteorológicas.

Y donde:

El sonido que se tiene en cuenta es el sonido incidente, es decir, no se considera el sonido reflejado en la fachada de una determinada vivienda.

- b) Definición del índice de ruido en período nocturno,  $L_n$ .

El índice de ruido en período nocturno  $L_n$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año.

Donde:

La noche dura 8 horas, según la definición del apartado 1.

Un año corresponde al año considerado para la emisión de sonido y a un año medio por lo que se refiere a las circunstancias meteorológicas, según la definición del apartado 1.

El sonido que se tiene en cuenta es el sonido incidente, como se describe en el apartado 1.

## 2. Índices de ruido suplementarios

En algunos casos, además de  $L_{den}$  y  $L_n$ , y cuando proceda  $L_d$  y  $L_{sr}$ , puede resultar conveniente utilizar índices de ruido especiales con los valores límite correspondientes. He aquí algunos ejemplos:

La fuente emisora de ruido considerada sólo está activa durante una pequeña fracción de tiempo (por ejemplo, menos del 20 % del tiempo durante todos los períodos diurnos, vespertinos o nocturnos de un año).

El número de casos en que se emite ruido es, en uno o más de los períodos considerados, en promedio muy bajo (por ejemplo, menos de un caso por hora, entendiéndose por caso un ruido que dura menos de cinco minutos, por ejemplo, el ruido del paso de un tren o de un avión).

$L_{Amax}$  o SEL (nivel de exposición sonora) para la protección durante el período nocturno en caso de incrementos bruscos de ruido.

Hay protección adicional durante el fin de semana o en un período concreto del año.

Hay protección adicional durante el período diurno.

Hay protección adicional durante el período vespertino.

Se da una combinación de ruidos procedentes de fuentes distintas.

Se trata de zonas tranquilas en campo abierto.

El ruido contiene componentes tonales emergentes.

El contenido en bajas frecuencias del ruido es grande.

El ruido tiene carácter impulsivo.

## 3. Altura del punto de evaluación de los índices de ruido

La altura del punto de evaluación de los índices de ruido depende de su aplicación:

- a) Elaboración de mapas estratégicos de ruido:

Cuando se efectúen cálculos para la elaboración de mapas estratégicos de ruido en relación con la exposición al ruido en el interior y en las proximidades de edificios, los puntos de evaluación se situarán a 4,0 m  $\pm$  0,2 m (3,8 m-4,2 m) de altura sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta; a tal efecto, la fachada más expuesta será el muro exterior más próximo situado frente a la fuente sonora; en los demás casos, podrán decidirse otras opciones.

Cuando se efectúen mediciones para la elaboración de mapas estratégicos de ruido en relación con la exposición al ruido en el interior y en las proximidades de edificios, podrán escogerse otras alturas, si bien éstas no deberán ser inferiores a 1,5 m sobre el nivel del suelo, y los resultados deberán corregirse de conformidad con una altura equivalente de 4 m. En estos casos se justificarán técnicamente los criterios de corrección aplicados.

- b) Otras aplicaciones:

En las demás aplicaciones, como la planificación acústica y la determinación de zonas ruidosas, podrán elegirse otras alturas, si bien éstas nunca deberán ser inferiores a 1,5 m sobre el nivel del suelo; algunos ejemplos:

- Zonas rurales con casas de una planta.
- La preparación de medidas locales para reducir el impacto sonoro en viviendas específicas.
- Un mapa de ruido detallado de una zona limitada, que ilustre la exposición al ruido de cada vivienda.



## ANEXO II

### Métodos de evaluación para los índices de ruido

#### 1. Introducción

Los valores de  $L_{den}$  y  $L_{nr}$  pueden determinarse bien mediante cálculos o mediante mediciones (en el punto de evaluación). Las predicciones sólo pueden obtenerse mediante cálculos.

En los puntos 2 y 3 del presente anexo se describen los métodos de cálculo y medición de  $L_{den}$  y  $L_n$ .

#### 2. Métodos de cálculo del $L_{den}$ y $L_n$ .

Los métodos de cálculo recomendados para la evaluación de los índices de ruido  $L_{den}$  y  $L_{nr}$  son los siguientes:

Ruido industrial: ISO 9613-2: «Acústica-Atenuación del sonido cuando se propaga en el ambiente exterior, Parte 2: Método general de cálculo».

Para la aplicación del método establecido en esta norma, pueden obtenerse datos adecuados sobre emisión de ruido (datos de entrada) mediante mediciones realizadas según alguno de los métodos descritos en las normas siguientes:

ISO 8297: 1994 «Acústica-Determinación de los niveles de potencia sonora de plantas industriales multifuente para la evaluación de niveles de presión sonora en el medio ambiente-Método de ingeniería».

EN ISO 3744: 1995 «Acústica-Determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido utilizando presión sonora. Método de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflectante».

EN ISO 3746: 1995 «Acústica-Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido a partir de presión sonora. Método de control en una superficie de medida envolvente sobre un plano reflectante».

Ruido de aeronaves: ECAC.CEAC Doc. 29 «Informe sobre el método estándar de cálculo de niveles de ruido en el entorno de aeropuertos civiles», 1997. Entre los distintos métodos de modelización de trayectorias de vuelo, se utilizará la técnica de segmentación mencionada en la sección 7.5 del documento 29 de ECAC.CEAC.

Ruido del tráfico rodado: el método nacional de cálculo francés «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB)», mencionado en la «Resolución de 5 de mayo de 1995, relativa al ruido de las infraestructuras viarias, Diario Oficial de 10 de mayo de 1995, artículo 6» y en la norma francesa «XPS 31-133». Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, esos documentos se remiten a la «Guía del ruido de los transportes terrestres, apartado previsión de niveles sonoros, CETUR 1980».

Ruido de trenes: El método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado como «Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaï'96» («Guías para el cálculo y medida del ruido del transporte ferroviario 1996»), por el Ministerio de Vivienda, Planificación Territorial, 20 de noviembre 1996.

Para la adaptación de estos métodos a las definiciones de  $L_{den}$  y  $L_{nr}$ , se tendrán en cuenta la recomendación de la Comisión, de 6 de agosto de 2003, relativa a orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, el procedente de aeronaves, el del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes.

#### 3. Métodos de medición del $L_{den}$ y $L_n$ .

1. Si una administración competente desea utilizar su propio método de medición, éste deberá adaptarse a las definiciones de los índices del anexo I y cumplir los principios aplicables a las mediciones medias a

largo plazo, expuestos en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982.

2. Si una administración competente no tiene en vigor ningún método de medición o prefiere aplicar otro, es posible determinar un nuevo método sobre la base de la definición del índice y los principios presentados en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982.

3. Los datos obtenidos frente a una fachada u otro elemento reflectante deberán corregirse para excluir el efecto reflectante del mismo.

## ANEXO III

### Métodos de evaluación de los efectos nocivos

Las relaciones dosis-efecto se utilizarán para evaluar el efecto del ruido sobre la población. Las relaciones dosis-efecto que se establezcan para la adaptación de este anexo a la normativa comunitaria se referirán en particular a lo siguiente:

La relación entre las molestias y los valores de  $L_{den}$  por lo que se refiere al ruido del tráfico rodado, ferroviario, aéreo y de fuentes industriales.

La relación entre las alteraciones del sueño y los valores de  $L_n$  por lo que se refiere al ruido del tráfico rodado, ferroviario, aéreo y de fuentes industriales.

En caso necesario, podrán presentarse relaciones dosis-efecto específicas para:

Viviendas con aislamiento especial contra el ruido, según la definición del anexo VI.

Viviendas con fachada tranquila, según la definición del anexo VI.

Distintos climas o culturas.

Grupos de población vulnerables.

Ruido industrial tonal.

Ruido industrial impulsivo y otros casos especiales.

## ANEXO IV

### Requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido

1. Un mapa estratégico de ruido es la representación de los datos relativos a alguno de los aspectos siguientes:

Situación acústica existente, anterior o prevista expresada en función de un índice de ruido.

Superación de un valor límite.

Número estimado de viviendas, colegios y hospitales en una zona dada que están expuestos a valores específicos de un índice de ruido.

Número estimado de personas situadas en una zona expuesta al ruido.

2. Los mapas estratégicos de ruido pueden presentarse al público en forma de:

Gráficos.

Datos numéricos en cuadros.

Datos numéricos en formato electrónico.

3. Los mapas estratégicos de ruido para aglomeraciones harán especial hincapié en el ruido procedente de:

El tráfico rodado.

El tráfico ferroviario.

Los aeropuertos.

Lugares de actividad industrial, incluidos los puertos.

4. El cartografiado estratégico del ruido servirá de:

Base para los datos que deben enviarse al Ministerio de Medio Ambiente con arreglo al artículo 14 y el anexo VI.

Fuente de información destinada al público con arreglo al artículo 4, apartados 2 y 3.

Fundamento de los planes de acción con arreglo al artículo 10.

A cada una de estas funciones corresponde un tipo distinto de mapa estratégico de ruido.

5. En los puntos 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 2.1, 2.2, 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7 del anexo VI se establecen los requisitos mínimos para los mapas estratégicos de ruido en relación con los datos que deben enviarse al Ministerio de Medio Ambiente.

6. Por lo que se refiere a la información a la población con arreglo al artículo 4 y a la elaboración de los planes de acción en virtud del artículo 10, se debe proporcionar información adicional y más detallada, por ejemplo:

Una representación gráfica.

Mapas que indiquen las superaciones de un valor límite.

Mapas de diferencias que comparen la situación vigente con posibles situaciones futuras.

Mapas que presenten el valor de un índice de ruido a una altura de evaluación distinta de 4 m, en caso necesario.

7. Se elaborarán mapas estratégicos de ruido de aplicación local o nacional correspondientes a una altura de evaluación de 4 m sobre el nivel del suelo y a rangos de valores de  $L_{den}$  y  $L_n$  de 5 dB como establece el anexo VI.

8. Con respecto a las aglomeraciones urbanas, se elaborarán mapas estratégicos especiales sobre el ruido del tráfico rodado, del tráfico ferroviario, del tráfico aéreo y de la industria. Pueden elaborarse también mapas sobre las fuentes emisoras que establece el artículo 12, apartado 2, de la Ley del Ruido.

9. Para la realización de mapas de ruido se tendrán en cuenta las orientaciones sobre la elaboración de los mismos, contenidas en el documento de buenas prácticas publicado por la Comisión.

10. En la elaboración de los mapas estratégicos de ruido se utilizará cartografía digital compatible con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Todos los planos, mapas, datos y resultados de población expuesta deberán estar convenientemente georreferenciados, y presentar un formato válido para su tratamiento en el sistema básico de información sobre contaminación acústica al que hace referencia la disposición adicional de este real decreto.

## ANEXO V

### Requisitos mínimos de los planes de acción

1. Los planes de acción incluirán, como mínimo, los elementos siguientes:

Descripción de la aglomeración, los principales ejes viarios, los principales ejes ferroviarios o principales aeropuertos y otras fuentes de ruido consideradas.

Autoridad responsable.

Contexto jurídico.

Valores límite establecidos con arreglo al artículo 5.4 de la Directiva 2002/49/CE.

Resumen de los resultados de la labor de cartografiado del ruido.

Evaluación del número estimado de personas expuestas al ruido, determinación de los problemas y las situaciones que deben mejorar.

Relación de las alegaciones u observaciones recibidas en el trámite de información pública de acuerdo con el artículo 22 de la Ley del Ruido.

Medidas que ya se aplican para reducir el ruido y proyectos en preparación.

Actuaciones previstas por las autoridades competentes para los próximos cinco años, incluidas medidas para proteger las zonas tranquilas.

Estrategia a largo plazo.

Información económica (si está disponible): presupuestos, evaluaciones coste-eficacia o costes-beneficios. Disposiciones previstas para evaluar la aplicación y los resultados del plan de acción.

2. Algunas medidas que pueden prever las autoridades dentro de sus competencias son, por ejemplo, las siguientes:

Regulación del tráfico.

Ordenación del territorio.

Aplicación de medidas técnicas en las fuentes emisoras.

Selección de fuentes más silenciosas.

Reducción de la transmisión de sonido.

Medidas o incentivos reglamentarios o económicos.

3. Los planes de acción recogerán estimaciones por lo que se refiere a la reducción del número de personas afectadas (que sufren molestias o alteraciones del sueño).

## ANEXO VI

### Información que debe comunicarse al Ministerio de Medio Ambiente

La información que debe comunicarse al Ministerio de Medio Ambiente es la siguiente:

1. Sobre las aglomeraciones.

1.1 Breve descripción de la aglomeración: ubicación, dimensiones, número de habitantes.

1.2 Autoridad responsable.

1.3 Programas de lucha contra el ruido ejecutados en el pasado y medidas vigentes.

1.4 Métodos de medición o cálculo empleados.

1.5 Número estimado de personas, expresado en centenas, cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{den}$  en dB, a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta:

55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75

Distinguiendo entre el tráfico rodado, el tráfico ferroviario, el tráfico aéreo y las fuentes industriales. Las cifras se redondearán a la centena más próxima.

Además debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas, dentro de cada una de las mencionadas categorías, cuya vivienda dispone de:

Aislamiento especial contra el ruido correspondiente, es decir, aislamiento especial de un edificio contra uno o varios tipos de ruido ambiental, junto con instalaciones de ventilación o aire acondicionado que permiten mantener un alto grado de aislamiento contra el ruido ambiental.

Una fachada tranquila, es decir, la fachada de una vivienda donde el valor de  $L_{den}$  a una altura de cuatro metros sobre el nivel del suelo y a una distancia de dos metros de la fachada, para el ruido emitido por una fuente específica, es inferior en más de 20 dB al de la fachada con el valor más alto de  $L_{den}$ .

Se explicará también la contribución a esos resultados de los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos correspondientes a la definición del artículo 3 de la Ley del Ruido.

1.6 El número total estimado de personas, expresado en centenas, cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_n$  en dB(A), a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta:

50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70

Distinguiendo entre el tráfico rodado, ferroviario, aéreo y las fuentes industriales. Estos datos podrán eva-



luarse asimismo para el rango 45-49 antes del 18 de julio de 2009.

Además, debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas, dentro de cada una de las mencionadas categorías, cuya vivienda dispone de:

Aislamiento especial contra el ruido correspondiente, según la definición del punto 1.5.

Una fachada tranquila, según la definición del punto 1.5.

Se explicará también la contribución a esos resultados de los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos.

1.7 En caso de presentación gráfica, los mapas estratégicos de ruido deberán presentar, como mínimo, las curvas de nivel de:

60, 65, 70 y 75 dB.

1.8 Un resumen del plan de acción, de una extensión máxima de 10 páginas, que aborde los aspectos pertinentes a que se refiere el anexo V.

2. Sobre los grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos.

2.1 Descripción general del eje viario, del eje ferroviario o del aeropuerto: ubicación, dimensiones y datos sobre el tráfico.

2.2 Caracterización del entorno: aglomeraciones, pueblos, campo, etc., información sobre la utilización del suelo y sobre otras fuentes importantes de ruido.

2.3 Programas de lucha contra el ruido ejecutados en el pasado y medidas vigentes contra el ruido.

2.4 Métodos de medición o cálculo empleados.

2.5 El número total estimado de personas, expresado en centenas, fuera de las aglomeraciones cuya vivienda está expuesta a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_{den}$  en dB, a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo y en la fachada más expuesta:

55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75.

Además, debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas, dentro de cada una de las mencionadas categorías, cuya vivienda dispone de:

Aislamiento especial contra el ruido correspondiente, según la definición del punto 1.5.

Una fachada tranquila, según la definición del punto 1.5.

2.6 El número total estimado de personas, expresado en centenas, fuera de las aglomeraciones cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de  $L_n$  en dB(A), a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo y en la fachada más expuesta: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70. Estos datos podrán evaluarse asimismo para el rango 45-49, antes del 18 de julio de 2009.

Además, debería indicarse, si el dato se conoce y es pertinente, el número de personas dentro de esas categorías cuya vivienda dispone de:

Aislamiento especial contra el ruido correspondiente, según la definición del punto 1.5.

Una fachada tranquila, según la definición del punto 1.5.

2.7 La superficie total, en km<sup>2</sup>, expuesta a valores de  $L_{den}$  superiores a 55, 65 y 75 dB, respectivamente.

Se indicará, además, el número total estimado de viviendas, en centenarios, y el número total estimado de personas, en centenarios, que viven en cada una de esas zonas. En esas cifras se incluirán las aglomeraciones.

Las curvas de nivel correspondientes a 55 dB y a 65 dB figurarán también en uno o varios mapas, que incluirán

información sobre la ubicación de las ciudades, pueblos y aglomeraciones situadas dentro de esas curvas.

2.8 Un resumen del plan de acción, de una extensión no superior a 10 páginas, que aborde los aspectos pertinentes indicados en el anexo V.

## ANEXO VII

### Criterios para la delimitación de una aglomeración

#### 1. Determinación de la aglomeración

a) La entidad territorial básica sobre la que se definirá una aglomeración será el municipio. No obstante, el ámbito territorial de la aglomeración podrá ser inferior al del municipio, por aplicación de los criterios que se describen en el apartado d).

b) A los efectos de la obligación de elaborar mapas estratégicos del ruido, se tendrá en cuenta única y exclusivamente el número de habitantes que integran la aglomeración. Este número será el de los habitantes de derecho con arreglo al último censo realizado antes del año en que corresponda la comunicación al Ministerio de Medio Ambiente de la relación de aglomeraciones sobre las que deben realizarse este tipo de mapas.

Si con objeto de mejorar la protección de la población en algún lugar o zona en la que se produjesen variaciones estacionales de importancia que hiciesen aconsejable tener en cuenta la población transeúnte, la comunidad autónoma competente podrá incluir esta aglomeración urbana dentro de la relación, teniendo en cuenta la población de hecho o cualquier método por el que se valore la población transeúnte, advirtiendo esta circunstancia que será tenida en cuenta para la confección del mapa estratégico de ruido correspondiente.

c) Las comunidades autónomas podrán establecer, por aplicación de los criterios que se describen en el apartado d), aglomeraciones de ámbito supramunicipal.

d) Para determinar los sectores del territorio que constituyen una aglomeración se aplicarán, al menos, los criterios de densidad de población y proximidad siguientes:

Se considerarán todos aquellos sectores del territorio cuya densidad de población sea igual o superior a 3.000 personas por km<sup>2</sup>.

Para la estimación de la densidad de población se utilizará preferentemente los datos de población y extensión territorial de las correspondientes secciones censales.

Si existen dos o más sectores del territorio en los que, además de verificarse la condición del punto anterior, se verifica que la distancia horizontal entre sus dos puntos más próximos sea igual o inferior a 500 m.

Si la suma de los habitantes comprendidos en los sectores del territorio que cumplen con los requisitos de los puntos anteriores es mayor de 100.000, estos sectores del territorio constituyen una aglomeración.

e) El tamaño, en número de habitantes, de la aglomeración será la suma total de los habitantes comprendidos en los sectores del territorio que constituyen la aglomeración, por aplicación de los criterios descritos en el apartado d).

#### 2. Delimitación del ámbito territorial de la aglomeración.

El ámbito territorial de una aglomeración se delimitará trazando la línea poligonal cerrada que comprende a todos los sectores del territorio que conforman la aglomeración



## MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA

**18397** *REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.*

La Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental marca una nueva orientación respecto de la concepción de la contaminación acústica en la normativa de la Unión Europea. Con anterioridad, la reglamentación comunitaria se había centrado en las fuentes del ruido, pero la comprobación de que diariamente inciden sobre el ambiente múltiples focos de emisiones sonoras, ha hecho necesario un nuevo enfoque del ruido ambiental para considerarlo como un producto derivado de múltiples emisiones que contribuyen a generar niveles de contaminación acústica inadecuados desde el punto de vista ambiental y sanitario.

La Directiva 2002/49/CE define el ruido ambiental como «el 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 emplazamientos de actividades industriales como los descritos en el anexo I de la Directiva 96/71/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación».

La Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, que incorpora parcialmente al derecho interno las previsiones de la citada Directiva, regula la contaminación acústica con un alcance y un contenido más amplio que el de la propia Directiva, ya que, además de establecer 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. Asimismo, 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.

Así, en la citada Ley, se define la contaminación acústica como «la presencia en el ambiente de ruido o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los ori-

gine, 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».

Posteriormente, el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, completó la transposición de la Directiva 2002/49/CE y precisó los 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 consecuencia, el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, ha supuesto un desarrollo parcial de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, ya que ésta abarca la contaminación acústica producida no sólo por el ruido ambiental, sino también por las vibraciones y sus implicaciones en la salud, bienes materiales y medio ambiente, en tanto que el citado real decreto, sólo comprende la contaminación acústica derivada del ruido ambiental y la prevención y corrección, en su caso, de sus efectos en la población.

Por ello el presente real decreto tiene como principal finalidad completar el desarrollo de la citada Ley. Así, se definen índices de ruido y de vibraciones, sus aplicaciones, efectos y molestias sobre la población y su repercusión en el medio ambiente; se delimitan los distintos tipos de áreas y servidumbres acústicas definidas en el artículo 10 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre; se establecen los objetivos de calidad acústica para cada área, incluyéndose el espacio interior de determinadas edificaciones; se regulan los emisores acústicos fijándose valores límite de emisión o de inmisión así como los procedimientos y los métodos de evaluación de ruidos y vibraciones.

En este sentido, el capítulo I, «Disposiciones generales», contiene los preceptos que establecen el objeto de esta norma y una serie de definiciones que permitan alcanzar un mayor grado de precisión y seguridad jurídica a la hora de aplicar esta disposición de carácter marcadamente técnico.

El capítulo II establece los índices para la evaluación del ruido y de las vibraciones, en los distintos periodos temporales de evaluación, de los objetivos de calidad acústica en áreas acústicas o en el espacio interior de edificaciones y de los valores límite que deben cumplir los

emisores acústicos. En el anexo I se incluye la definición de cada uno de ellos.

En el capítulo III se desarrolla, por una parte, la delimitación de las áreas acústicas atendiendo al uso predominante del suelo, en los tipos que determinen las comunidades autónomas y, por otra, la regulación de las servidumbres acústicas. Además se prevé que los instrumentos de planificación territorial y urbanística incluyan la zonificación acústica y se establecen objetivos de calidad acústica aplicables a las distintas áreas acústicas y al espacio interior habitable de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales. En el anexo II se fijan los valores de los índices acústicos que no deben superarse para el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en áreas urbanizadas existentes.

El capítulo IV regula el control de las emisiones de los diferentes emisores acústicos, incluidos los vehículos a motor, para los que se prevé, además, un régimen específico de comprobación de sus emisiones acústicas a vehículo parado. Asimismo, se fijan en el anexo III los valores límite de inmisión de ruido aplicable a las infraestructuras nuevas viarias, ferroviarias y aeroportuarias, así como a las infraestructuras portuarias y a actividades. La disposición adicional segunda establece las actividades e infraestructuras que tienen la consideración de nuevas.

De este modo, se pondera de forma equilibrada el tratamiento de las infraestructuras preexistentes y nuevas, pues aun cuando las obligaciones establecidas en las declaraciones de impacto ambiental de las infraestructuras preexistentes han supuesto un nivel de protección acústica adecuado, el progreso del conocimiento científico y del desarrollo tecnológico hace posible y razonable alcanzar un nivel más ambicioso de protección contra el ruido a la hora de proyectar y acometer la construcción de nuevas infraestructuras.

Asimismo, para atender los costes derivados de la aplicación de este Real Decreto a las infraestructuras de competencia estatal, en la disposición final tercera se prevé la adopción de las medidas presupuestarias necesarias para que los Ministerios responsables de su aplicación puedan afrontarlas sin menoscabo de la ejecución de los planes que tengan establecidos.

El capítulo V regula las condiciones de uso respecto de los objetivos de calidad acústica de los métodos de evaluación de la contaminación acústica, así como el régimen de uso de los equipos de medida y procedimientos que se empleen en dicha evaluación. El anexo IV fija los métodos de evaluación para los índices acústicos definidos en este real decreto.

Por último, la regulación de mapas de contaminación acústica se contiene en el capítulo VI, en aplicación de la habilitación prevista en el artículo 15.3 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

En la elaboración de este real decreto han sido consultados los agentes económicos y sociales interesados, las comunidades autónomas y el Consejo Asesor de Medio Ambiente.

Los títulos competenciales que amparan al Estado para regular la materia contenida en este real decreto son las reglas 16.ª y 23.ª del artículo 149.1. de la Constitución, en materia de bases y coordinación general de la sanidad y de legislación básica sobre protección del medio ambiente. Ello sin perjuicio de que la regulación de servidumbres acústicas de las infraestructuras estatales y el régimen especial de aeropuertos y equipamientos vinculados al sistema de navegación y transporte aéreo se dicte de conformidad con lo establecido en los párrafos 20.ª, 21.ª y 24.ª del apartado 1 del citado artículo 149.

En su virtud, a propuesta de los Ministros de Medio Ambiente y de Sanidad y Consumo, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 19 de octubre de 2007,

DISPONGO:

## CAPÍTULO I

### Disposiciones generales

#### Artículo 1. Objeto y finalidad.

Este real decreto tiene por objeto establecer las normas necesarias para el desarrollo y ejecución de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

#### Artículo 2. Definiciones.

A efectos de lo establecido en este real decreto, además de lo dispuesto en el artículo 3 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, y en el artículo 3 del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, se entenderá por:

a) Área urbanizada: superficie del territorio que reúna los requisitos establecidos en la legislación urbanística aplicable para ser clasificada como suelo urbano o urbanizado y siempre que se encuentre ya integrada, de manera legal y efectiva, en la red de dotaciones y servicios propios de los núcleos de población. Se entenderá que así ocurre cuando las parcelas, estando o no edificadas, cuenten con las dotaciones y los servicios requeridos por la legislación urbanística o puedan llegar a contar con ellos sin otras obras que las de conexión a las instalaciones en funcionamiento.

b) Área urbanizada existente: la superficie del territorio que sea área urbanizada antes de la entrada en vigor de este real decreto.

c) Ciclomotor: tienen la condición de ciclomotores los vehículos que se definen como tales en el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo, por el que se aprobó el texto articulado de la Ley sobre el tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial.

d) Efectos nocivos: los efectos negativos sobre la salud humana o sobre el medio ambiente.

e) Índice de vibración: índice acústico para describir la vibración, que tiene relación con los efectos nocivos producidos por ésta.

f)  $L_{Aeq,T}$ : (Índice de ruido del periodo temporal T): el índice de ruido asociado a la molestia, o a los efectos nocivos, durante un periodo de tiempo T, que se describe en el anexo I.

g)  $L_{Amax}$ : (Índice de ruido máximo): el índice de ruido asociado a la molestia, o a los efectos nocivos, producidos por sucesos sonoros individuales, que se describe en el anexo I.

h)  $L_{aw}$ : (Índice de vibración): el índice de vibración asociado a la molestia, o a los efectos nocivos, producidos por vibraciones, que se describe en el anexo I.

i)  $L_{Aeq,T}$ : (Índice de ruido corregido del periodo temporal T): el índice de ruido asociado a la molestia, o a los efectos nocivos por la presencia en el ruido de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y ruido de carácter impulsivo, durante un periodo de tiempo T, que se describe en el anexo I.

j)  $L_{k,x}$ : (Índice de ruido corregido a largo plazo del periodo temporal de evaluación «x»): el índice de ruido corregido asociado a la molestia, o a los efectos nocivos a largo plazo, en el periodo temporal de evaluación «x», que se describe en el anexo I.

k) Molestia: el grado de perturbación que provoca el ruido o las vibraciones a la población, determinado mediante encuestas sobre el terreno.

l) Nuevo desarrollo urbanístico: superficie del territorio en situación de suelo rural para la que los instru-



mentos de ordenación territorial y urbanística prevén o permiten su paso a la situación de suelo urbanizado, mediante las correspondientes actuaciones de urbanización, así como la de suelo ya urbanizado que esté sometido a actuaciones de reforma o renovación de la urbanización.

m) Valor límite: un valor de un índice acústico que no debe ser sobrepasado y que de superarse, obliga a las autoridades competentes a prever o a aplicar medidas tendientes a evitar tal superación. Los valores límite pueden variar en función del emisor acústico, (ruido del tráfico rodado, ferroviario o aéreo, ruido industrial, etc.), del entorno o de la distinta vulnerabilidad a la contaminación acústica de los grupos de población; pueden ser distintos de una situación existente a una nueva situación (cuando cambia el emisor acústico, o el uso dado al entorno).

n) Vehículo de motor: vehículo provisto de motor para su propulsión definido en el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

o) Vibración: perturbación producida por un emisor acústico que provoca la oscilación periódica de los cuerpos sobre su posición de equilibrio.

p) Objetivo de calidad acústica: conjunto de requisitos que, en relación con la contaminación acústica, deben cumplirse en un momento dado en un espacio determinado, incluyendo los valores límite de inmisión o de emisión.

## CAPÍTULO II

### Índices Acústicos

#### Artículo 3. *Índices acústicos.*

1. A efectos del desarrollo del artículo 11 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, referente a la determinación de índices acústicos, se establecen:

a) Para la evaluación del ruido, además de los establecidos en el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, los siguientes índices:

$L_{Amax,T}$  para evaluar niveles sonoros máximos durante el periodo temporal de evaluación.

$L_{Aeq,T}$  para evaluar niveles sonoros en un intervalo temporal T.

$L_{Kex,T}$  para evaluar niveles sonoros en un intervalo temporal T, con correcciones de nivel por componentes tonales emergentes, por componentes de baja frecuencia o por ruido de carácter impulsivo.

$L_{Kex}$  para evaluar la molestia y los niveles sonoros, con correcciones de nivel por componentes tonales emergentes, por componentes de baja frecuencia o por ruido de carácter impulsivo, promediados a largo plazo, en el periodo temporal de evaluación «x».

b) Para la evaluación de los niveles de vibración se aplicará el índice de vibración siguiente:

$L_{bw}$  para evaluar la molestia y los niveles de vibración máximos, durante el periodo temporal de evaluación, en el espacio interior de edificios.

#### Artículo 4. *Aplicación de los índices acústicos.*

1. Se aplicarán los índices de ruido  $L_p$ ,  $L_n$  y  $L_n$ , tal como se definen en el anexo I, del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, evaluados de conformidad con lo establecido en el anexo IV, para la verificación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica aplicables a las áreas acústicas y al espacio interior de los edificios, así como, para la evaluación de los niveles sonoros producidos por las infraestructuras, a efectos de la delimitación de las servidumbres acústicas.

2. En la evaluación del ruido, para verificar el cumplimiento de los valores límite aplicables a los emisores acústicos, que se establecen en los artículos 23 y 24, se aplicarán los índices acústicos que figuran en las correspondientes tablas del anexo III, tal como se definen en el anexo I del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, y en el anexo I de este real decreto respectivamente, evaluados de conformidad con lo establecido en el anexo IV.

3. En la evaluación de las vibraciones para verificar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior de las edificaciones, y lo establecido en el artículo 26, se aplicará el índice acústico  $L_{bw}$ , tal como se define en el anexo I, evaluado de conformidad con lo establecido en el anexo IV.

## CAPÍTULO III

### Zonificación acústica. Objetivos de calidad acústica

#### SECCIÓN 1.ª ZONIFICACIÓN ACÚSTICA

#### Artículo 5. *Delimitación de los distintos tipos de áreas acústicas.*

1. A los efectos del desarrollo del artículo 7.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, en la planificación territorial y en los instrumentos de planeamiento urbanístico, tanto a nivel general como de desarrollo, se incluirá la zonificación acústica del territorio en áreas acústicas de acuerdo con las previstas en la citada Ley.

Las áreas acústicas se clasificarán, en atención al uso predominante del suelo, en los tipos que determinen las comunidades autónomas, las cuales habrán de prever, al menos, los siguientes:

a) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.

b) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.

c) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.

d) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en el párrafo anterior.

e) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera de especial protección contra la contaminación acústica.

f) Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen.

g) Espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica.

Al proceder a la zonificación acústica de un territorio, en áreas acústicas, se deberá tener en cuenta la existencia en el mismo de zonas de servidumbre acústica y de reservas de sonido de origen natural establecidas de acuerdo con las previsiones de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, y de este real decreto.

La delimitación territorial de las áreas acústicas y su clasificación se basará en los usos actuales o previstos del suelo. Por tanto, la zonificación acústica de un término municipal únicamente afectará, excepto en lo referente a las áreas acústicas de los tipos f) y g), a las áreas urbanizadas y a los nuevos desarrollos urbanísticos.

2. Para el establecimiento y delimitación de un sector del territorio como de un tipo de área acústica determinada, se tendrán en cuenta los criterios y directrices que se describen en el anexo V.

3. Ningún punto del territorio podrá pertenecer simultáneamente a dos tipos de área acústica diferentes.

4. La zonificación del territorio en áreas acústicas debe mantener la compatibilidad, a efectos de calidad



acústica, entre las distintas áreas acústicas y entre estas y las zonas de servidumbre acústica y reservas de sonido de origen natural, debiendo adoptarse, en su caso, las acciones necesarias para lograr tal compatibilidad.

Si concurren, o son admisibles, dos o más usos del suelo para una determinada área acústica, se clasificará ésta con arreglo al uso predominante, determinándose este por aplicación de los criterios fijados en el apartado 1, del anexo V.

La delimitación de la extensión geográfica de un área acústica estará definida gráficamente por los límites geográficos marcados en un plano de la zona a escala mínima 1/5.000, o por las coordenadas geográficas o UTM de todos los vértices y se realizará en un formato geocodificado de intercambio válido.

5. Hasta tanto se establezca la zonificación acústica de un término municipal, las áreas acústicas vendrán delimitadas por el uso característico de la zona.

#### Artículo 6. *Revisión de las áreas de acústicas.*

La delimitación de las áreas acústicas queda sujeta a revisión periódica, que deberá realizarse, como máximo, cada diez años desde la fecha de su aprobación.

#### Artículo 7. *Servidumbre acústica.*

1. A los efectos de la aplicación de este real decreto se consideran servidumbres acústicas las destinadas a conseguir la compatibilidad del funcionamiento o desarrollo de las infraestructuras de transporte viario, ferroviario, aéreo y portuario, con los usos del suelo, actividades, instalaciones o edificaciones implantadas, o que puedan implantarse, en la zona de afección por el ruido originado en dichas infraestructuras.

2. Podrán quedar gravados por servidumbres acústicas los sectores del territorio afectados al funcionamiento o desarrollo de las infraestructuras de transporte viario, ferroviario, aéreo, y portuario, así como los sectores de territorio situados en el entorno de tales infraestructuras, existentes o proyectadas.

3. En los sectores del territorio gravados por servidumbres acústicas las inmisiones podrán superar los objetivos de calidad acústica aplicables a las correspondientes áreas acústicas.

4. En los sectores del territorio gravados por servidumbres acústicas se podrán establecer limitaciones para determinados usos del suelo, actividades, instalaciones o edificaciones, con la finalidad de, al menos, cumplir los valores límites de inmisión establecidos para aquéllos.

5. La delimitación de los sectores del territorio gravados por servidumbres acústicas y la determinación de las limitaciones aplicables en los mismos, estará orientada a compatibilizar, en lo posible, las actividades existentes o futuras en esos sectores del territorio con las propias de las infraestructuras, y tendrán en cuenta los objetivos de calidad acústica correspondientes a las zonas afectadas.

6. En relación con la delimitación de las zonas de servidumbre acústica de las infraestructuras nuevas de competencia estatal, se solicitará informe preceptivo de las administraciones afectadas, y se realizará en todo caso el trámite de información pública y se tomarán en consideración las sugerencias recibidas. Asimismo, se solicitará informe preceptivo de la administración afectada en relación con la determinación de las limitaciones de aplicación de tal zona, a que hace referencia el apartado 4.

#### Artículo 8. *Delimitación de zonas de servidumbre acústica.*

Las zonas de servidumbre acústica se delimitarán por la administración competente para la aprobación de mapas de ruido de infraestructuras, mediante la aplicación de los criterios técnicos siguientes:

a) Se elaborará y aprobará el mapa de ruido de la infraestructura de acuerdo con las especificaciones siguientes:

1.º Se evaluarán los niveles sonoros producidos por la infraestructura utilizando los índices de ruido  $L_{dr}$ ,  $L_e$  y  $L_n$ , tal como se definen en el anexo I del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre.

2.º Para la evaluación de los índices de ruido anteriores se aplicará el correspondiente método de evaluación tal como se describe en el anexo IV.

3.º El método de evaluación de los índices de ruido por medición solo podrá utilizarse cuando no se prevean cambios significativos de las condiciones de funcionamiento de la infraestructura, registradas en el momento en que se efectúe la delimitación, que modifiquen la zona de afección.

4.º Para el cálculo de la emisión acústica se considera la situación, actual o prevista a futuro, de funcionamiento de la infraestructura, que origine la mayor afección acústica en su entorno.

5.º Para cada uno de los índices de ruido se calcularán las curvas de nivel de ruido correspondientes a los valores límite que figuran en la tabla A1, del anexo III.

6.º Para el cálculo de las curvas de nivel de ruido se tendrá en cuenta la situación de los receptores más expuestos al ruido. El cálculo se referenciará con carácter general a 4 m de altura sobre el nivel del suelo.

7.º Representación gráfica de las curvas de nivel de ruido calculadas de acuerdo con el apartado anterior.

b) La zona de servidumbre acústica comprenderá el territorio incluido en el entorno de la infraestructura delimitado por la curva de nivel del índice acústico que, representando el nivel sonoro generado por esta, esté mas alejada de la infraestructura, correspondiente al valor límite del área acústica del tipo a), sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial, que figura en la tabla A1, del anexo III.

#### Artículo 9. *Delimitación de las zonas de servidumbre acústica en los mapas de ruido.*

Las zonas de servidumbre acústica, establecidas por aplicación de los criterios del artículo anterior se delimitarán en los mapas de ruido elaborados por las administraciones competentes en la elaboración de los mismos. Asimismo, estas zonas se incluirán en los instrumentos de planeamiento territorial o urbanístico de los nuevos desarrollos urbanísticos.

#### Artículo 10. *Delimitación de las zonas de servidumbre acústica en áreas urbanizadas existentes.*

1. Cuando se delimite una zona de servidumbre acústica en un área urbanizada existente, se elaborará simultáneamente el correspondiente plan de acción en materia de contaminación acústica.

2. El plan de acción en materia de contaminación acústica contendrá las medidas correctoras que deban aplicarse a los emisores acústicos vinculados al funcionamiento de la infraestructura, atendiendo a su grado de participación en el estado de la situación, y a las vías de propagación, así como los responsables de su adopción, la cuantificación económica de cada una de aquellas y, cuando sea posible, un proyecto de financiación.

3. Cuando dentro de una zona de servidumbre acústica delimitada como consecuencia de la instalación de una nueva infraestructura o equipamiento existan edificaciones preexistentes, en la declaración de impacto ambiental que se formule se especificarán las medidas que resulten económicamente proporcionadas, tomando en consideración las mejores técnicas disponibles tendentes a que se alcancen en el interior de tales edificaciones unos niveles de inmisión acústica compatibles con el uso característico de las mismas.

**Artículo 11. Servidumbres acústicas y planeamiento territorial y urbanístico.**

1. El planeamiento territorial y urbanístico incluirá entre sus determinaciones las que resulten necesarias para conseguir la efectividad de las servidumbres acústicas en los ámbitos territoriales de ordenación afectados por ellas. En caso de que dicho planeamiento incluya la adopción de medidas correctoras eficaces que disminuyan los niveles sonoros en el entorno de la infraestructura, la zona de servidumbre acústica podrá ser modificada por el órgano que la delimitó. Cuando estas medidas correctoras pierdan eficacia o desaparezcan, la zona de servidumbre se restituirá a su estado inicial.

2. Con el fin de conseguir la efectividad de las servidumbres acústicas, los instrumentos de planeamiento territorial y urbanístico que ordenen físicamente ámbitos afectados por las mismas deberán ser remitidos con anterioridad a su aprobación inicial revisión o modificación sustancial, al órgano sustantivo competente de la infraestructura, para que emita informe preceptivo. Esta regla será aplicable tanto a los nuevos instrumentos como a las modificaciones y revisiones de los ya existentes.

3. Los titulares de las infraestructuras para cuyo servicio se establecen las servidumbres acústicas podrán instar en la vía procedente su aplicación, sin perjuicio de que el incumplimiento sea imputable en cada caso al responsable del mismo.

**Artículo 12. Zonas de servidumbres acústicas. Plazo de vigencia.**

1. Las zonas de servidumbre acústica mantendrán su vigencia por tiempo indefinido.

2. Se deberá revisar la delimitación de las servidumbres acústicas cuando se produzcan modificaciones sustanciales en las infraestructuras, que originen variaciones significativas de los niveles sonoros en el entorno de las mismas.

3. En el proceso de revisión de las zonas de servidumbre acústica, en el que se podrán revisar las limitaciones asociadas a la misma, se aplicará el procedimiento establecido en los artículos anteriores.

**Artículo 13. Zonificación acústica y planeamiento.**

1. Todas las figuras de planeamiento incluirán de forma explícita la delimitación correspondiente a la zonificación acústica de la superficie de actuación. Cuando la delimitación en áreas acústicas esté incluida en el planeamiento general se utilizará esta delimitación.

2. Las sucesivas modificaciones, revisiones y adaptaciones del planeamiento general que contengan modificaciones en los usos del suelo conllevarán la necesidad de revisar la zonificación acústica en el correspondiente ámbito territorial.

3. Igualmente será necesario realizar la oportuna delimitación de las áreas acústicas cuando, con motivo de la tramitación de planes urbanísticos de desarrollo, se establezcan los usos pormenorizados del suelo.

4. La delimitación por tipo de área acústica de las distintas superficies del territorio, que aplicando los criterios del artículo 5, estén afectadas por la zonificación acústica, deberá estar terminada, con carácter general, antes de cinco años, a partir de la fecha de entrada en vigor de este real decreto, y en las aglomeraciones de más de 250.000 habitantes antes del 1 de enero de 2008.

5. Las comunidades autónomas velarán por el cumplimiento de lo establecido en el párrafo anterior dentro de los plazos fijados, arbitrando las medidas necesarias para ello. La adecuación del planeamiento a lo establecido en este real decreto se realizará en la forma y con el procedimiento que disponga la normativa autonómica.

**SECCIÓN 2.ª OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA**

**Artículo 14. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas acústicas.**

1. En las áreas urbanizadas existentes se establece como objetivo de calidad acústica para ruido el que resulte de la aplicación de los siguientes criterios:

a) Si en el área acústica se supera el correspondiente valor de alguno de los índices de inmisión de ruido establecidos en la tabla A, del anexo II, su objetivo de calidad acústica será alcanzar dicho valor.

En estas áreas acústicas las administraciones competentes deberán adoptar las medidas necesarias para la mejora acústica progresiva del medio ambiente hasta alcanzar el objetivo de calidad fijado, mediante la aplicación de planes zonales específicos a los que se refiere el artículo 25.3 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

b) En caso contrario, el objetivo de calidad acústica será la no superación del valor de la tabla A, del anexo II, que le sea de aplicación.

2. Para el resto de las áreas urbanizadas se establece como objetivo de calidad acústica para ruido la no superación del valor que le sea de aplicación a la tabla A del anexo II, disminuido en 5 decibelios.

3. Los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a los espacios naturales delimitados, de conformidad con lo establecido en el artículo 7.1 la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, como área acústica tipo g), por requerir una especial protección contra la contaminación acústica, se establecerán para cada caso en particular, atendiendo a aquellas necesidades específicas de los mismos que justifiquen su calificación.

4. Como objetivo de calidad acústica aplicable a las zonas tranquilas en las aglomeraciones y en campo abierto, se establece el mantener en dichas zonas los niveles sonoros por debajo de los valores de los índices de inmisión de ruido establecidos en la tabla A, del anexo II, disminuido en 5 decibelios, tratando de preservar la mejor calidad acústica que sea compatible con el desarrollo sostenible.

**Artículo 15. Cumplimiento de los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas acústicas.**

Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica establecidos en el artículo 14, cuando, para cada uno de los índices de inmisión de ruido,  $L_{eq}$ ,  $L_{rn}$  o  $L_{nr}$ , los valores evaluados conforme a los procedimientos establecidos en el anexo IV, cumplen, en el periodo de un año, que:

a) Ningún valor supera los valores fijados en la correspondiente tabla A, del anexo II.

b) El 97 % de todos los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados en la correspondiente tabla A, del anexo II.



**Artículo 16. Objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior.**

1. Sin perjuicio de lo establecido en el apartado 2, se establece como objetivos de calidad acústica para el ruido y para las vibraciones, la no superación en el espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales, de los correspondientes valores de los índices de inmisión de ruido y de vibraciones establecidos, respectivamente, en las tablas B y C, del anexo II. Estos valores tendrán la consideración de valores límite.

2. Cuando en el espacio interior de las edificaciones a que se refiere el apartado anterior, localizadas en áreas urbanizadas existentes, se superen los valores límite, se les aplicará como el objetivo de calidad acústica alcanzar los valores de los índices de inmisión de ruido y de vibraciones establecidos, respectivamente, en las tablas B y C, del anexo II.

**Artículo 17. Cumplimiento de los objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior.**

1. Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica establecidos en el artículo 16, cuando:

a) Para cada uno de los índices de inmisión de ruido,  $L_{p,r}$ ,  $L_{p,v}$  o  $L_{w,r}$ , los valores evaluados conforme a los procedimientos establecidos en el anexo IV, cumplan, para el período de un año, que:

i) Ningún valor supera los valores fijados en la correspondiente tabla B, del anexo II.

ii) El 97 % de todos los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados en la correspondiente tabla B, del anexo II.

b) Los valores del índice de vibraciones  $L_{wv}$ , evaluados conforme a los procedimientos establecidos en el anexo IV, cumplan lo siguiente:

i) Vibraciones estacionarias:

Ningún valor del índice supera los valores fijados en la tabla C, del anexo II.

ii) Vibraciones transitorias.

Los valores fijados en la tabla C, del anexo II podrán superarse para un número de eventos determinado de conformidad con el procedimiento siguiente:

1.º Se consideran los dos períodos temporales de evaluación siguientes: período día, comprendido entre las 07:00-23:00 horas y período noche, comprendido entre las 23:00-07:00 horas.

2.º En el período nocturno no se permite ningún exceso.

3.º En ningún caso se permiten excesos superiores a 5 dB.

4.º El conjunto de superaciones no debe ser mayor de 9. A estos efectos cada evento cuyo exceso no supere los 3 dB será contabilizado como 1 y si los supera como 3.

2. Se considerará que, una edificación es conforme con las exigencias acústicas derivadas de la aplicación de objetivos de calidad acústica al espacio interior de las edificaciones, a que se refiere el artículo 20, y la disposición adicional quinta de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, cuando al aplicar el sistema de verificación acústica de las edificaciones, establecido conforme a la disposición adicional cuarta de dicha Ley, se cumplan las exigencias acústicas básicas impuestas por el Código Técnico de la Edificación, aprobado mediante Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

**CAPÍTULO IV**

**Emisores acústicos. Valores límite de emisión e inmisión**

**Artículo 18. Emisión de ruido de los vehículos de motor y ciclomotores.**

1. Los vehículos de motor y ciclomotores en circulación deberán corresponder a tipos previamente homologados en lo que se refiere a niveles sonoros de emisión admisibles, de acuerdo con la reglamentación vigente, por aplicación del Real Decreto 2028/1986, de 6 de junio, por el que se dictan normas para la aplicación de determinadas directivas comunitarias, relativas a la homologación de tipos de vehículos automóviles, y del Decreto 1439/1972, de 25 de mayo, de homologación de vehículos automóviles en lo que se refiere al ruido por ellos producido.

2. Sin perjuicio de lo establecido en la disposición adicional primera, el valor límite del nivel de emisión sonora de un vehículo de motor o ciclomotor en circulación se obtiene sumando 4 dB(A) al nivel de emisión sonora que figura en la ficha de homologación del vehículo, correspondiente al ensayo a vehículo parado, evaluado de conformidad con el método de medición establecido en el procedimiento de homologación aplicable al vehículo, de acuerdo con la reglamentación vigente.

3. Todos los conductores de vehículos de motor y ciclomotores quedan obligados a colaborar en las pruebas de control de emisiones sonoras que sean requeridas por la autoridad competente, para comprobar posibles incumplimientos de los límites de emisión sonora.

**Artículo 19. Emisión de ruido de los vehículos de motor destinados a servicios de urgencias.**

1. Los vehículos de motor destinados a servicios de urgencias deberán disponer de un mecanismo de regulación de la intensidad sonora de los dispositivos acústicos que la reduzca a unos niveles comprendidos entre 70 y 90 dB(A), medidos a tres metros de distancia y en la dirección de máxima emisión, durante el período nocturno, cuando circulen por zonas habitadas.

2. Los vehículos destinados a servicio de urgencias disponen de un año, a partir de la entrada en vigor de este real decreto, para instalar el mecanismo a que se refiere el apartado anterior.

**Artículo 20. Emisión de ruido de embarcaciones de recreo y motos náuticas.**

Las embarcaciones de recreo con motores intraborda o mixtos sin escape integrado, las motos náuticas, los motores fueraborda y los motores mixtos con escape integrado deberán diseñarse, construirse y montarse de manera que las emisiones sonoras no superen los valores límite de emisión sonora que se establecen en el Real Decreto 2127/2004, de 29 de octubre, por el que se regulan los requisitos de seguridad de las embarcaciones de recreo, de las motos náuticas, de sus componentes y de las emisiones de escape y sonoras de sus motores.

**Artículo 21. Emisión de ruido de las aeronaves subsónicas civiles.**

1. Los aviones de reacción subsónicos civiles cuya masa máxima al despegue sea igual o superior a 34.000 Kg. o cuya capacidad interior certificada para el tipo de avión de que se trate sea superior a 19 pasajeros, excluidos los asientos reservados a la tripulación, sólo podrán ser utilizados en los aeropuertos civiles españoles cuando previamente hayan obtenido una certificación acústica correspondiente a las normas enunciadas en el anexo 16



al Convenio de Aviación Civil Internacional, segunda edición (1988), volumen I, segunda parte, capítulo 3.

2. Se exceptúa del cumplimiento del apartado anterior las excepciones a que hace referencia el Real Decreto 1422/1992, de 27 de noviembre, sobre limitación del uso de los aviones de reacción subsónicos civiles.

#### Artículo 22. *Emisión de ruido de las máquinas de uso al aire libre.*

La maquinaria utilizada en actividades al aire libre en general, y en las obras públicas y en la construcción en particular, debe ajustarse a las prescripciones establecidas en la legislación vigente referente a emisiones sonoras de maquinaria de uso al aire libre, y en particular, cuando les sea de aplicación, a lo establecido en el Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre, y las normas complementarias.

#### Artículo 23. *Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias.*

1. Las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias o aeroportuarias deberán adoptar las medidas necesarias para que no transmitan al medio ambiente exterior de las correspondientes áreas acústicas, niveles de ruido superiores a los valores límite de inmisión establecidos en la tabla A1, del anexo III, evaluados conforme a los procedimientos del anexo IV.

2. Así mismo, las nuevas infraestructuras ferroviarias o aeroportuarias no podrán transmitir al medio ambiente exterior de las correspondientes áreas acústicas niveles de ruido superiores a los establecidos como valores límite de inmisión máximos en la tabla A2, del anexo III, evaluados conforme a los procedimientos del anexo IV.

3. De igual manera, las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias o aeroportuarias deberán adoptar las medidas necesarias para evitar que, por efectos aditivos derivados directa o indirectamente de su funcionamiento, se superen los objetivos de calidad acústica para ruido establecidos en los artículos 14 y 16.

4. Lo dispuesto en este artículo se aplicará únicamente fuera de las zonas de servidumbre acústica.

#### Artículo 24. *Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras portuarias y a nuevas actividades.*

1. Toda nueva instalación, establecimiento o actividad portuaria, industrial, comercial, de almacenamiento, deportivo-recreativa o de ocio deberá adoptar las medidas necesarias para que no transmita al medio ambiente exterior de las correspondientes áreas acústicas niveles de ruido superiores a los establecidos como valores límite en la tabla B1, del anexo III, evaluados conforme a los procedimientos del anexo IV.

No obstante, serán de aplicación los valores límite previstos en el artículo 23 al tráfico portuario, así como al tráfico rodado y ferroviario que tenga lugar en las infraestructuras portuarias.

2. De igual manera, cuando por efectos aditivos derivados, directa o indirectamente, del funcionamiento o ejercicio de una instalación, establecimiento o actividad de las relacionadas en el apartado anterior, se superen los objetivos de calidad acústica para ruido establecidos en los artículos 14 y 16, esa actividad deberá adoptar las medidas necesarias para que tal superación no se produzca.

3. Ninguna instalación, establecimiento, actividad industrial, comercial, de almacenamiento, deportivo-

recreativo o de ocio podrá transmitir a los locales colindantes en función del uso de éstos, niveles de ruido superiores a los establecidos en la tabla B2, del anexo III, evaluados de conformidad con los procedimientos del anexo IV. A estos efectos, se considerará que dos locales son colindantes, cuando en ningún momento se produce la transmisión de ruido entre el emisor y el receptor a través del medio ambiente exterior.

4. Los niveles de ruido anteriores se aplicarán, asimismo, a otros establecimientos abiertos al público no mencionados anteriormente, atendiendo a razones de analogía funcional o de equivalente necesidad de protección acústica.

5. En edificios de uso exclusivo comercial, oficinas o industrial, los límites exigibles de transmisión interior entre locales afectos a diferentes titulares, serán los establecidos en función del uso del edificio. A los usos que, en virtud de determinadas normas zonales, puedan ser compatibles en esos edificios, les serán de aplicación los límites de transmisión a interiores correspondientes al uso del edificio.

#### Artículo 25. *Cumplimiento de los valores límite de inmisión de ruido aplicables a los emisores acústicos.*

1. En el caso de mediciones o de la aplicación de otros procedimientos de evaluación apropiados, se considerará que se respetan los valores límite de inmisión de ruido establecidos en los artículos 23 y 24, cuando los valores de los índices acústicos evaluados conforme a los procedimientos establecidos en el anexo IV, cumplan, para el periodo de un año, que:

a) Infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias, del artículo 23.

i) Ningún valor promedio del año supera los valores fijados en la tabla A1, del anexo III.

ii) Ningún valor diario supera en 3 dB los valores fijados en la tabla A1, del anexo III.

iii) El 97 % de todos los valores diarios no superan los valores fijados en la tabla A2, del anexo III.

b) Infraestructuras portuarias y actividades, del artículo 24.

i) Ningún valor promedio del año supera los valores fijados en la correspondiente tabla B1 o B2, del anexo III.

ii) Ningún valor diario supera en 3 dB los valores fijados en la correspondiente tabla B1 o B2, del anexo III.

iii) Ningún valor medido del índice  $L_{\text{Keq,T}}$  supera en 5 dB los valores fijados en la correspondiente tabla B1 o B2, del anexo III.

2. A los efectos de la inspección de actividades, a que se refiere el artículo 27 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, se considerará que una actividad, en funcionamiento, cumple los valores límite de inmisión de ruido establecidos en el artículo 24, cuando los valores de los índices acústicos evaluados conforme a los procedimientos establecidos en el anexo IV, cumplan lo especificado en los apartados b. ii) y b. iii), del párrafo 1.

#### Artículo 26. *Valores límite de vibración aplicables a los emisores acústicos.*

Los nuevos emisores acústicos, de los relacionados en el artículo 12.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, deberán adoptar las medidas necesarias para no transmitir al espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales, vibraciones que contribuyan a superar los objetivos de calidad acústica para vibraciones que les sean de aplicación de acuerdo con el artículo 16, evaluadas conforme al procedimiento establecido en el anexo IV.

## CAPÍTULO V

**Procedimientos y métodos de evaluación de la contaminación acústica**

**Artículo 27. Métodos de evaluación de los índices acústicos.**

Los valores de los índices acústicos establecidos en este real decreto se determinarán de conformidad con los métodos de evaluación descritos en los apartados A y B, del anexo IV.

**Artículo 28. Métodos de cálculo del  $L_{d,r}$ ,  $L_e$  y  $L_n$ .**

1. Los valores de los índices de ruido  $L_{d,r}$ ,  $L_e$  y  $L_n$  se podrán determinar aplicando los métodos de cálculo descritos en el punto 2, del apartado A, del anexo IV.

2. Hasta tanto se adopten métodos de cálculo homogéneos en el marco de la Unión Europea, se podrán utilizar métodos de evaluación distintos de los anteriores, adaptados de conformidad con el anexo IV. En este caso, se deberá demostrar que esos métodos dan resultados equivalentes a los que se obtienen con los métodos a que se refiere el punto 2, del apartado A, del anexo IV.

**Artículo 29. Métodos de evaluación de los efectos nocivos.**

Los efectos nocivos se podrán evaluar según las relaciones dosis-efecto a las que se hace referencia en el anexo III del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre.

**Artículo 30. Instrumentos de medida.**

1. Los instrumentos de medida y calibradores utilizados para la evaluación del ruido deberán cumplir las disposiciones establecidas en la Orden del Ministerio de Fomento, de 25 de septiembre de 2007, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos.

2. En los trabajos de evaluación del ruido por medición, derivados de la aplicación de este real decreto, se deberán utilizar instrumentos de medida y calibradores que cumplan los requisitos establecidos en la Orden del Ministerio de Fomento, de 25 de septiembre de 2007, a que se refiere el apartado anterior, para los de tipo 1/clase 1.

3. Los instrumentos de medida utilizados para todas aquellas evaluaciones de ruido, en las que sea necesario el uso de filtros de banda de octava o 1/3 de octava, deberán cumplir lo exigido para el grado de precisión tipo 1/clase 1 en las normas UNE-EN 61260:1997 «Filtros de banda de octava y de bandas de una fracción de octava» y UNE-EN 61260/A1:2002 «Filtros de banda de octava y de bandas de una fracción de octava».

4. En la evaluación de las vibraciones por medición se deberán emplear instrumentos de medida que cumplan las exigencias establecidas en la norma UNE-EN ISO 8041:2006. «Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida».

**Artículo 31. Entidades que realizan la evaluación.**

Con el fin de que los resultados obtenidos en los procesos de evaluación de la contaminación acústica sean homogéneos y comparables, las administraciones competentes velarán por que las entidades encargadas de la realización de tales evaluaciones tengan la capacidad técnica adecuada. Asimismo, velarán por la implantación de sistemas de control que aseguren la correcta aplicación de los métodos y procedimientos de evaluación establecidos en este real decreto, para la realización de evaluaciones acústicas.

## CAPÍTULO VI

**Evaluación de la contaminación acústica. Mapas de ruido**

**Artículo 32. Elaboración de mapas de ruido.**

1. En desarrollo del artículo 15.3 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, se establecen los tipos de mapas de ruido siguientes:

a) Mapas estratégicos de ruido, que se elaborarán y aprobarán por las administraciones competentes para cada uno de los grandes ejes viarios, de los grandes ejes ferroviarios, de los grandes aeropuertos y de las aglomeraciones.

b) Mapas de ruido no estratégicos, que se elaborarán por las administraciones competentes, al menos, para las áreas acústicas en las que se compruebe el incumplimiento de los objetivos de calidad acústica.

2. Los mapas estratégicos de ruido a que se refiere el apartado 1,a), se elaborarán de acuerdo con las especificaciones establecidas en este Real Decreto y en el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre.

**Artículo 33. Delimitación del ámbito territorial y contenido de los mapas de ruido no estratégicos.**

1. Para la delimitación del ámbito territorial y contenido de los mapas de ruido no estratégicos que se elaboren en aplicación del apartado b), del artículo 14.1 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, que correspondan a áreas acústicas en las que se compruebe el incumplimiento de los objetivos de calidad acústica, se aplicarán los criterios que establezca la administración competente para la elaboración y aprobación de estos tipos de mapas de ruido.

2. En el caso de que no se disponga de criterios específicos de delimitación del ámbito territorial para los mapas de ruido no estratégicos se aplicarán los establecidos en el artículo 9 del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre.

3. Sin perjuicio de normas más específicas que se pudieran establecer, los mapas de ruido no estratégicos cumplirán los requisitos mínimos establecidos en el anexo IV del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre.

**Disposición adicional primera. Determinación del nivel de emisión sonora a vehículo parado.**

En el caso de que la correspondiente ficha de características de un vehículo, debido a su antigüedad u otras razones, no indique el nivel de emisión sonora para el ensayo a vehículo parado, o que este valor, no haya sido fijado reglamentariamente por el Ministerio competente en la homologación y la Inspección Técnica de Vehículos, dicho nivel de emisión sonora se determinará, a efectos de la obtención del valor límite a que se refiere el artículo 18.2, de la forma siguiente:

a) Si se trata de un ciclomotor, el nivel de emisión sonora será de 87 dB(A).

b) Para los vehículos de motor, la inspección técnica deberá dictaminar que el vehículo se encuentra en perfecto estado de mantenimiento. En estas condiciones, se determinará el nivel de emisión sonora para el ensayo a vehículo parado siguiendo el procedimiento reglamentariamente establecido. El nivel de emisión sonora así obtenido será, a partir de este momento, el que se considerará para determinar el valor límite de emisión aplicable al vehículo.



**Disposición adicional segunda. Actividades e infraestructuras nuevas.**

1. A los efectos de lo previsto en este Real Decreto tendrán la consideración de actividades nuevas aquéllas que inicien la tramitación de las actuaciones de intervención administrativa previstas en los párrafos a), b) y c) del art. 18.1 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, con posterioridad a la entrada en vigor de este Real Decreto.

2. Asimismo, lo dispuesto en este Real Decreto para las infraestructuras nuevas será de aplicación, teniendo en cuenta lo dispuesto en la disposición adicional tercera, a aquellas de competencia de la Administración General del Estado, cuya tramitación de la declaración de impacto ambiental se inicie con posterioridad a la entrada en vigor de este Real Decreto. A estos efectos, se entenderá como inicio de la tramitación la recepción por el órgano ambiental del documento inicial del proyecto, procedente del órgano sustantivo, conforme a lo dispuesto en la legislación en materia de evaluación de impacto ambiental.

3. Las actividades e infraestructuras nuevas se someterán a los valores límite de inmisión establecidos en el Anexo III, teniendo en cuenta lo dispuesto en el artículo 10 en caso de tratarse de una zona de servidumbre acústica de una infraestructura.

**Disposición adicional tercera. Infraestructuras de competencia estatal.**

1. Las competencias que se atribuyen a la Administración General del Estado en el artículo 4.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en relación con las infraestructuras viarias, ferroviarias, portuarias y aeroportuarias de competencia estatal, corresponderán al Ministerio de Fomento.

2. A efectos de la Disposición adicional segunda de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, y de este Real Decreto, tendrán la consideración de nuevas infraestructuras de competencia estatal:

a) La construcción de un nuevo trazado en el caso de las carreteras o ferrocarriles, que requiera declaración de impacto ambiental.

b) Las obras de modificación de una infraestructura preexistente sujetas a declaración de impacto ambiental, que supongan, al menos, la duplicación de la capacidad operativa de la infraestructura correspondiente, entendiéndose por tal:

–En el caso de un aeropuerto, cuando las obras de modificación del mismo permitan duplicar el número máximo de operaciones por hora de aeronaves;

–en el caso de una carretera, cuando las obras de modificación permitan la duplicación de la máxima intensidad de vehículos que pueden pasar por ese tramo de carretera. La intensidad se expresará en vehículos por hora;

–en el caso de un puerto, cuando se duplique la superficie del suelo destinada al tráfico portuario;

–en el caso de una infraestructura ferroviaria, cuando la obra de modificación permita duplicar la capacidad de adjudicación de la infraestructura preexistente.

3. A los efectos de la aplicación del art. 14.1.a) en relación con las infraestructuras de competencia estatal, los planes zonales específicos se referirán únicamente a los planes de acción previstos en el artículo 10 que elabore y apruebe la Administración General del Estado.

4. Los objetivos ambientales de los planes de acción a los que se refiere el apartado anterior aplicables a las infraestructuras estatales preexistentes, se alcanzarán antes del 31 de diciembre de 2020, en los términos y de

acuerdo con los principios establecidos en el primer párrafo del apartado 3 de la disposición adicional segunda de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido.

**Disposición adicional cuarta. Infraestructuras de competencia autonómica y local.**

En lo relativo a las infraestructuras de competencia autonómica o local, las Comunidades Autónomas determinarán los plazos y condiciones de aplicación de:

–Los objetivos de calidad acústica establecidos en el artículo 14.1, en relación con el Anexo II, para las infraestructuras preexistentes.

–Los valores límite de inmisión establecidos en el artículo 23, en relación con el Anexo III, para las nuevas infraestructuras.

**Disposición adicional quinta. Prevención de riesgos laborales.**

En materia de protección de la salud y seguridad de los trabajadores, se estará a lo dispuesto en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, y su normativa de desarrollo y, específicamente, en el Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas, y en el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, respecto a la protección de los trabajadores frente a los riesgos que en ellos se contemplan.

**Disposición transitoria primera. Zonas de servidumbre acústica.**

En tanto no se apruebe el mapa acústico o las servidumbres acústicas procedentes de cada una de las infraestructuras de competencia de la Administración General del Estado, se entenderá por zona de servidumbre acústica de las mismas a efectos de lo dispuesto en este Real Decreto y, especialmente, de sus artículos 10 y 23, el territorio incluido en el entorno de la infraestructura delimitado por los puntos del territorio, o curva isófona en los que se midan los objetivos de calidad acústica que sean de aplicación a las áreas acústicas correspondientes.

**Disposición transitoria segunda. Uso de instrumentos de medida del ruido del tipo 2/clase 2.**

1. Durante un periodo de siete años, a partir de la fecha de publicación de este real decreto, se podrán utilizar en los trabajos de evaluación del ruido por medición, derivados de la aplicación de este real decreto, instrumentos de medida que cumplan los requisitos establecidos en la Orden del Ministerio de Fomento, de 25 de septiembre de 2007, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos, para los de tipo 2/clase 2.

2. Se exceptúa de la aplicación del apartado anterior, a los trabajos de evaluación del ruido por medición que sirvan de base para la imposición de sanciones administrativas o en los procesos judiciales. En estos casos se utilizarán instrumentos de medida que cumplan los requisitos establecidos por la Orden citada en el apartado anterior, para los de tipo 1 / clase 1.



Disposición final primera. *Modificación del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.*

El Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, queda modificado como sigue:

Uno. El apartado b) del artículo 3, queda redactado del siguiente modo:

«b) Efectos nocivos: los efectos negativos sobre la salud humana o sobre el medio ambiente.»

Dos. El apartado j) del artículo 3 queda redactado del siguiente modo:

«j) Molestia: el grado de perturbación que provoca el ruido o las vibraciones a la población, determinado mediante encuestas sobre el terreno.»

Tres. Se sustituye el Anexo III del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental por el siguiente:

### «ANEXO III

#### Métodos de evaluación de los efectos nocivos

1. Las relaciones dosis-efecto se utilizarán para evaluar el efecto del ruido sobre la población.

2. Las relaciones dosis-efecto que se establezcan para la adaptación de este anexo a la normativa comunitaria se referirán en particular a lo siguiente:

–la relación entre las molestias y los valores de  $L_{den}$  por lo que se refiere al ruido del tráfico rodado, ferroviario, aéreo y de fuentes industriales,

–La relación entre las alteraciones del sueño y los valores de  $L_n$  por lo que se refiere al ruido del tráfico rodado, ferroviario, aéreo y de fuentes industriales.

3. En caso necesario, podrán presentarse relaciones dosis-efecto específicas para:

–Viviendas con aislamiento especial contra el ruido, según la definición del anexo VI,

–viviendas con fachada tranquila, según la definición del anexo VI,

–distintos climas o culturas,

–grupos de población vulnerables,

–ruido industrial tonal,

–ruido industrial impulsivo y otros casos especiales.

4. En tanto no se establezcan en la normativa comunitaria procedimientos comunes para determi-

nar el grado de molestia, basados en las relaciones dosis-efectos del ruido sobre la población, se considerarán como valores admisibles de referencia en relación con las molestias y alteraciones del sueño, los que se determinen reglamentariamente.

Disposición final segunda. *Título competencial.*

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1.16.ª y 23.ª de la Constitución, que atribuye al Estado la competencia exclusiva en materia de bases y coordinación general de la sanidad y de legislación básica sobre protección del medio ambiente. Ello sin perjuicio de que la regulación de servidumbres acústicas de las infraestructuras estatales y el régimen especial de aeropuertos y equipamientos vinculados al sistema de navegación y transporte aéreo se dicte de conformidad con lo establecido en los párrafos 20.ª, 21.ª y 24.ª del apartado 1 del citado artículo 149.

Disposición final tercera. *Financiación.*

Por los Ministerios competentes se adoptarán las medidas presupuestarias necesarias para la aplicación de este Real Decreto sobre las infraestructuras de competencia estatal.

Disposición final cuarta. *Habilitación para el desarrollo reglamentario.*

1. Se habilita a los titulares de los Ministerios de Sanidad y Consumo, de Medio Ambiente, de Fomento, de Vivienda y de Industria, Turismo y Comercio para dictar conjunta o separadamente, según las materias de que se trate, y en el ámbito de sus respectivas competencias, cuantas disposiciones sean necesarias para el desarrollo y aplicación de este real decreto.

2. Se faculta a los titulares de los Ministerios de Sanidad y Consumo y de Medio Ambiente para introducir en los anexos de este real decreto, cuantas modificaciones fuesen precisas para adaptarlos a lo dispuesto en la normativa comunitaria.

Disposición final quinta. *Entrada en vigor.*

El presente real decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid, el 19 de octubre de 2007.

JUAN CARLOS R.

La Vicepresidenta Primera del Gobierno  
y Ministra de la Presidencia,  
MARÍA TERESA FERNÁNDEZ DE LA VEGA SANZ

## ANEXO I

### A. Índices de ruido

#### 1. Periodos temporales de evaluación.

Se establecen los tres periodos temporales de evaluación diarios siguientes:

- 1º) Periodo día (*d*): al periodo día le corresponden 12 horas;
- 2º) Periodo tarde (*e*): al periodo tarde le corresponden 4 horas;
- 3º) Periodo noche (*n*): al periodo noche le corresponden 8 horas.

La administración competente puede optar por reducir el período tarde en una o dos horas y alargar los períodos día y/o noche en consecuencia, siempre que dicha decisión se aplique a todas las fuentes, y que facilite al Ministerio de Medio Ambiente información sobre la diferencia sistemática con respecto a la opción por defecto. En el caso de la modificación de los periodos temporales de evaluación, esta modificación debe reflejarse en la expresión que determina los índices de ruido.

b) Los valores horarios de comienzo y fin de los distintos periodos temporales de evaluación son: periodo día de 7.00 a 19.00; periodo tarde de 19.00 a 23.00 y periodo noche de 23.00 a 7.00, hora local.

La administración competente podrá modificar la hora de comienzo del periodo día y, por consiguiente, cuándo empiezan los periodos tarde y noche. La decisión de modificación deberá aplicarse a todas las fuentes de ruido.

c) A efectos de calcular los promedios a largo plazo, un año corresponde al año considerado para la emisión de sonido y a un año medio por lo que se refiere a las circunstancias meteorológicas.

#### 2. Definición de los índices de ruido.

##### a) Índice de ruido continuo equivalente $L_{Aeq,T}$ .

El índice de ruido  $L_{Aeq,T}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en decibelios, determinado sobre un intervalo temporal de *T* segundos, definido en la norma ISO 1996-1: 1987.

Donde:

- Si  $T = d$ ,  $L_{Aeq,d}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el período día;
- Si  $T = e$ ,  $L_{Aeq,e}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el período tarde;
- Si  $T = n$ ,  $L_{Aeq,n}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el período noche;

##### b) Definición del Índice de ruido máximo $L_{Amax}$ .

El índice de ruido  $L_{Amax}$  es el mas alto nivel de presión sonora ponderado A, en decibelios, con constante de integración fast,  $L_{AFmax}$  definido en la norma ISO 1996-1:2003, registrado en el periodo temporal de evaluación.

##### c) Definición del Índice de ruido continuo equivalente corregido $L_{K_{eq},T}$ .

El índice de ruido  $L_{K_{eq},T}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, ( $L_{Aeq,T}$ ), corregido por la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y ruido de carácter impulsivo, de conformidad con la expresión siguiente:

$$L_{K_{eq},T} = L_{Aeq,T} + K_t + K_f + K_i$$

Donde:

- $K_t$  es el parámetro de corrección asociado al índice  $L_{K_{eq},T}$  para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes tonales emergentes, calculado por aplicación de la metodología descrita en el anexo IV;
- $K_f$  es el parámetro de corrección asociado al índice  $L_{K_{eq},T}$  para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes de baja frecuencia, calculado por aplicación de la metodología descrita en el anexo IV;
- $K_i$  es el parámetro de corrección asociado al índice  $L_{K_{eq},T}$  para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de ruido de carácter impulsivo, calculado por aplicación de la metodología descrita en el anexo IV;
- Si  $T = d$ ,  $L_{K_{eq},d}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, corregido, determinado en el período día;

- Si  $T = e$ ,  $L_{K_{eq,e}}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, corregido, determinado en el período tarde;
- Si  $T = n$ ,  $L_{K_{eq,n}}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, corregido, determinado en el período noche;

d) Definición del Índice de ruido continuo equivalente corregido promedio a largo plazo  $L_{K,x}$ .

El índice de ruido  $L_{K,x}$  es el nivel sonoro promedio a largo plazo, dado por la expresión que sigue, determinado a lo largo de todos los períodos temporales de evaluación "x" de un año.

$$L_{K,x} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{K_{eq,x,i}})} \right)$$

Donde:  $n$  es el número de muestras del período temporal de evaluación "x", en un año ( $L_{K_{eq,x,i}}$ ) es el nivel sonoro corregido, determinado en el período temporal de evaluación "x" de la i-ésima muestra.

3. Altura del punto de evaluación de los índices de ruido.

a) Para la selección de la altura del punto de evaluación podrán elegirse distintas alturas, si bien éstas nunca deberán ser inferiores a 1,5 m sobre el nivel del suelo, en aplicaciones, tales como:

- 1º la planificación acústica,
- 2º la determinación de zonas ruidosas,
- 3º la evaluación acústica en zonas rurales con casas de una planta,
- 4º la preparación de medidas locales para reducir el impacto sonoro en viviendas específicas y
- 5º la elaboración de un mapa de ruido detallado de una zona limitada, que ilustre la exposición al ruido de cada vivienda.

b) Cuando se efectúen mediciones en el interior de los edificios, las posiciones preferentes del punto de evaluación estarán al menos a 1 m de las paredes u otras superficies, a entre 1,2 m y 1,5 m sobre el piso, y aproximadamente a 1,5 m de las ventanas. Cuando estas posiciones no sean posibles las mediciones se realizarán en el centro del recinto.

4. Evaluación del ruido en el ambiente exterior.

En la evaluación de los niveles sonoros en el ambiente exterior mediante índices de ruido, el sonido que se tiene en cuenta es el sonido incidente, es decir, no se considera el sonido reflejado en el propio paramento vertical.

## B. Índices de vibración

Definición del índice de vibración  $L_{av}$ .

El índice de vibración,  $L_{av}$  en decibelios (dB), se determina aplicando la fórmula siguiente:

$$L_{av} = 20 \lg \frac{a_w}{a_0}$$

Siendo:

- $a_w$ : el máximo del valor eficaz (RMS) de la señal de aceleración, con ponderación en frecuencia  $w_m$ , en el tiempo  $t$ ,  $a_w(t)$ , en  $m/s^2$ .
- $a_0$ : la aceleración de referencia ( $a_0 = 10^{-6} m/s^2$ ).

Donde:

- La ponderación en frecuencia se realiza según la curva de atenuación  $w_m$  definida en la norma ISO 2631-2:2003: Vibraciones mecánicas y choque – evaluación de la exposición de las personas a las vibraciones globales del cuerpo – Parte 2 Vibraciones en edificios 1 – 80 Hz.
- El valor eficaz  $a_w(t)$  se obtiene mediante promediado exponencial con constante de tiempo 1s (slow). Se considerará el valor máximo de la medición  $a_w$ . Este parámetro está definido en la norma ISO 2631-1:1997 como MTVV (Maximum Transient Vibration Value), dentro del método de evaluación denominado "running RMS".



**ANEXO II****Objetivos de calidad acústica****Tabla A. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes.**

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		$L_d$	$L_e$	$L_n$
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1)	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

(1) En estos sectores del territorio se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a), del artículo 18.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

Nota: Los objetivos de calidad aplicables a las áreas acústicas están referenciados a una altura de 4 m.

**Tabla B.- Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales. (1)**

Uso del edificio	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		$L_d$	$L_e$	$L_n$
Vivienda o uso residencial	Estancias	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Hospitalario	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

(1) Los valores de la tabla B, se refieren a los valores del índice de inmisión resultantes del conjunto de emisores acústicos que inciden en el interior del recinto (instalaciones del propio edificio, actividades que se desarrollan en el propio edificio o colindantes, ruido ambiental transmitido al interior).

Nota: Los objetivos de calidad aplicables en el espacio interior están referenciados a una altura de entre 1,2 m y 1,5 m.

**Tabla C. Objetivos de calidad acústica para vibraciones aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales.**

Uso del edificio	Índice de vibración $L_{av}$
Vivienda o uso residencial	75
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72

A los efectos de lo establecido en el punto 4 del Anexo III del Real decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, se considerarán como valores admisibles de referencia, en relación con las molestias y alteraciones del sueño, los que se establecen en las tablas de este y el siguiente anexo.

### A N E X O III

#### Emisores acústicos. Valores límite de inmisión

**Tabla A1. Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias.**

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		$L_d$	$L_e$	$L_n$
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	55	55	45
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	60	60	50
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	65	65	55
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	68	68	58
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	70	70	60

**Tabla A2. Valores límite de inmisión máximos de ruido aplicables a infraestructuras ferroviarias y aeroportuarias.**

Tipo de área acústica		Índice de ruido $L_{Amax}$
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	80
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	85
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	88
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	90
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	90

**Tabla B1. Valores límite de inmisión de ruido aplicables a infraestructuras portuarias y a actividades.**

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		$L_{K,d}$	$L_{K,e}$	$L_{K,n}$
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	50	50	40
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	55	55	45
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	60	60	50
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	63	63	53
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	65	65	55

**Tabla B2. Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades.**

Uso del local colindante	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		$L_{K,d}$	$L_{K,e}$	$L_{K,n}$
Residencial	Zonas de estancias	40	40	30
	Dormitorios	35	35	25
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	35	35	35
	Oficinas	40	40	40
Sanitario	Zonas de estancia	40	40	30
	Dormitorios	35	35	25
Educativo o cultural	Aulas	35	35	35
	Salas de lectura	30	30	30

**ANEXO IV****Métodos y procedimientos de evaluación para los índices acústicos****A. Métodos de evaluación para los índices de ruido**

## 1. Introducción.

Los valores de los índices acústicos establecidos por este real decreto pueden determinarse bien mediante cálculos o mediante mediciones (en el punto de evaluación). Las predicciones sólo pueden obtenerse mediante cálculos.

A los efectos de la inspección de actividades por las administraciones públicas competentes, la valoración de los índices acústicos se determinará únicamente mediante mediciones.



## 2. Métodos de cálculo de los índices $L_d$ , $L_o$ y $L_n$ .

Los métodos de cálculo recomendados para la evaluación de los índices de ruido  $L_d$ ,  $L_o$  y  $L_n$ , son los establecidos en el apartado 2, del anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre.

## 3. Métodos y procedimientos de medición de ruido.

### 3.1. Adaptación de los métodos de medida.

Las administraciones competentes que opten por la evaluación de los índices de ruido mediante la medición in situ deberán adaptar los métodos de medida utilizados a las definiciones de los índices de ruido del anexo I, y cumplir los principios, aplicables a las mediciones para evaluar niveles de ruido en determinados periodos temporales de evaluación y para promedios a largo plazo, según corresponda, expuestos en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982.

### 3.2. Corrección por reflexiones.

Los niveles de ruido obtenidos en la medición frente a una fachada u otro elemento reflectante deberán corregirse para excluir el efecto reflectante del mismo.

### 3.3. Corrección por componentes tonales ( $K_t$ ), impulsivas ( $K_i$ ) y bajas frecuencias ( $K_f$ ).

Cuando en el proceso de medición de un ruido se detecte la presencia de componentes tonales emergentes, o componentes de baja frecuencia, o sonidos de alto nivel de presión sonora y corta duración debidos a la presencia de componentes impulsivos, o de cualquier combinación de ellos, se procederá a realizar una la evaluación detallada del ruido introduciendo las correcciones adecuadas.

El valor máximo de la corrección resultante de la suma  $K_t + K_i + K_f$  no será superior a 9 dB.

En la evaluación detallada del ruido, se tomarán como procedimientos de referencia los siguientes:

#### *Presencia de componentes tonales emergentes:*

Para la evaluación detallada del ruido por presencia de componentes tonales emergentes se tomará como procedimiento de referencia el siguiente:

- Se realizará el análisis espectral del ruido en 1/3 de octava, sin filtro de ponderación.
- Se calculará la diferencia:

$$L_t = L_f - L_s$$

Donde:

$L_f$ , es el nivel de presión sonora de la banda  $f$ , que contiene el tono emergente.

$L_s$ , es la media aritmética de los dos niveles siguientes, el de la banda situada inmediatamente por encima de  $f$  y el de la banda situada inmediatamente por debajo de  $f$ .

- Se determinará la presencia o la ausencia de componentes tonales y el valor del parámetro de corrección  $K_t$  aplicando la tabla siguiente:

Banda de frecuencia 1/3 de octava	$L_t$ en dB	Componente tonal $K_t$ en dB
De 20 a 125 Hz	Si $L_t < 8$	0
	Si $8 \leq L_t \leq 12$	3
	Si $L_t > 12$	6
De 160 a 400 Hz	Si $L_t < 5$	0
	Si $5 \leq L_t \leq 8$	3
	Si $L_t > 8$	6
De 500 a 10000 Hz	Si $L_t < 3$	0
	Si $3 \leq L_t \leq 5$	3
	Si $L_t > 5$	6

- En el supuesto de la presencia de más de una componente tonal emergente se adoptará como valor del parámetro  $K_t$ , el mayor de los correspondientes a cada una de ellas.

#### *Presencia de componentes de baja frecuencia:*

Para la evaluación detallada del ruido por presencia de componentes de baja frecuencia se tomará como procedimiento de referencia el siguiente:

a) Se medirá, preferiblemente de forma simultánea, los niveles de presión sonora con las ponderaciones frecuenciales A y C.

b) Se calculará la diferencia entre los valores obtenidos, debidamente corregidos por ruido de fondo:

$$Lf = L_{Ceq,Tl} - L_{Aeq,Tl}$$

c) Se determina la presencia o la ausencia de componentes de baja frecuencia y el valor del parámetro de corrección  $K_f$  aplicando la tabla siguiente:

$Lf$ en dB	Componente de baja frecuencia $K_f$ en dB
Si $Lf \leq 10$	0
Si $10 > Lf \leq 15$	3
Si $Lf > 15$	6

#### Presencia de componentes impulsivos.

Para la evaluación detallada del ruido por presencia de componentes impulsivos se tomará como procedimiento de referencia el siguiente:

a) Se medirá, preferiblemente de forma simultánea, los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en una determinada fase de ruido de duración  $T_l$  segundos, en la cual se percibe el ruido impulsivo,  $L_{Aeq,Tl}$ , y con la constante temporal impulso (I) del equipo de medida,  $L_{Aleg,Tl}$

b) Se calculará la diferencia entre los valores obtenidos, debidamente corregidos por ruido de fondo:

$$Li = L_{Aleg,Tl} - L_{Aeq,Tl}$$

c) Se determinará la presencia o la ausencia de componente impulsiva y el valor del parámetro de corrección  $K_i$  aplicando la tabla siguiente:

$Li$ en dB	Componente impulsiva $K_i$ en dB
Si $Li \leq 10$	0
Si $10 > Li \leq 15$	3
Si $Li > 15$	6

#### 3.4. Procedimientos de medición.

Los procedimientos de medición in situ utilizados para la evaluación de los índices de ruido que establece este real decreto se adecuarán a las prescripciones siguientes:

a) Las mediciones se pueden realizar en continuo durante el periodo temporal de evaluación completo, o aplicando métodos de muestreo del nivel de presión sonora en intervalos temporales de medida seleccionados dentro del periodo temporal de evaluación.

b) Cuando en la medición se apliquen métodos de muestreo del nivel de presión sonora, para cada periodo temporal de evaluación, día, tarde, noche, se seleccionarán, atendiendo a las características del ruido que se esté evaluando, el intervalo temporal de cada medida  $T_i$ , el número de medidas a realizar  $n$  y los intervalos temporales entre medidas, de forma que el resultado de la medida sea representativo de la valoración del índice que se está evaluando en el periodo temporal de evaluación.

c) Para la determinación de los niveles sonoros promedios a largo plazo se deben obtener suficientes muestras independientes para obtener una estimación representativa del nivel sonoro promediado de largo plazo.

d) Las mediciones en el espacio interior de los edificios se realizarán con puertas y ventanas cerradas, y las posiciones preferentes del punto de evaluación cumplirán las especificaciones del apartado 3.b), del anexo I A, realizando como mínimo tres posiciones. Cuando estas posiciones no sean posibles las mediciones se realizarán en el centro del recinto.

e) Atendiendo a la finalidad, la evaluación por medición de los índices de ruido que se establecen en este real decreto se adecuará además de lo indicado en los apartados anteriores a las normas específicas de los apartados siguientes:

##### 3.4.1. Evaluación de los índices de ruido referentes a objetivos de calidad acústica en áreas acústicas.

a) Se realizará una evaluación preliminar mediante mediciones en continuo durante al menos 24 horas, correspondientes a los episodios acústicamente más significativos, atendiendo a la fuente sonora que tenga mayor contribución en los ambientes sonoros del área acústica.

b) Se determinará el número de puntos necesarios para la caracterización acústica de la zona atendiendo a las dimensiones del área acústica, y a la variación espacial de los niveles sonoros.

c) El micrófono se situará preferentemente a 4 metros sobre el nivel del suelo, fijado a un elemento portante estable y separado al menos 1,20 metros de cualquier fachada o paramento que pueda introducir distorsiones por reflexiones en la medida. Para la medición se podrán escoger otras alturas, si bien éstas no deberán ser inferiores a 1,5 m sobre el nivel del suelo, y los resultados deberán corregirse de conformidad con una altura equivalente de 4 m. En estos casos se justificarán técnicamente los criterios de corrección aplicados.

3.4.2. Evaluación de los índices de ruido referentes a los niveles sonoros producidos por los emisores acústicos.

a) Infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias.

- Se deberán realizar al menos 3 series de mediciones del  $L_{Aeq,Ti}$ , con tres mediciones en cada serie, de una duración mínima de 5 minutos ( $Ti = 300$  segundos), con intervalos temporales mínimos de 5 minutos, entre cada una de las series.
- La evaluación del nivel sonoro en el periodo temporal de evaluación se determinará a partir de los valores de los índices  $L_{Aeq,Ti}$  de cada una de las medidas realizadas, aplicando la siguiente expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{Aeq,Ti}} \right)$$

Donde:

$T$ , es el tiempo en segundos correspondiente al periodo temporal de evaluación considerado.

$Ti$ , intervalo de tiempo de la medida  $i$ .

$n$ , es el número de mediciones del conjunto de las series de mediciones realizadas en el periodo de tiempo de referencia  $T$ .

El valor del nivel sonoro resultante, se redondeará incrementándolo en 0,5 dB(A), tomando la parte entera como valor resultante.

b) Infraestructuras portuarias y actividades.

- Cuando la finalidad de las mediciones sea la inspección de actividades, los titulares o usuarios de aparatos generadores de ruidos, tanto al aire libre como en establecimientos o locales, facilitarán a los inspectores el acceso a sus instalaciones o focos de emisión de ruidos y dispondrán su funcionamiento a las distintas velocidades, cargas o marchas que les indiquen dichos inspectores, pudiendo presenciar aquellos todo el proceso operativo.
- La medición, tanto para los ruidos emitidos como para los transmitidos por los emisores acústicos, se llevará a cabo en el lugar en que su valor sea más alto.
- La medición, tanto de los ruidos emitidos al ambiente exterior de las áreas acústicas, como de los transmitidos al ambiente interior de las edificaciones por los emisores acústicos, se llevará a cabo en el punto de evaluación, en que su valor sea más alto.
- Cuando, por las características del emisor acústico, se comprueben variaciones significativas de sus niveles de emisión sonora durante el periodo temporal de evaluación, se dividirá éste, en intervalos de tiempo,  $Ti$ , o fases de ruido ( $i$ ) en los cuales el nivel de presión sonora en el punto de evaluación se perciba de manera uniforme.
- En cada fase de ruido se realizará al menos tres mediciones del  $L_{K_{eq,Ti}}$  de una duración mínima de 5 segundos, con intervalos de tiempo mínimos de 3 minutos, entre cada una de las medidas.
- Las medidas se considerarán válidas, cuando la diferencia entre los valores extremos obtenidos, es menor o igual a 6 dBA.
- Si la diferencia fuese mayor, se deberá proceder a la obtención de una nueva serie de tres mediciones.
- De reproducirse un valor muy diferenciado del resto, se investigará su origen. Si se localiza, se deberá repetir hasta cinco veces las mediciones, de forma que el foco origen de dicho valor entre en funcionamiento durante los cinco segundos de duración de cada medida.
- Se tomará como resultado de la medición el valor más alto de los obtenidos.
- En la determinación del  $L_{K_{eq,Ti}}$  se tendrá en cuenta la corrección por ruido de fondo. Para la determinación del ruido de fondo, se procederá de forma análoga a la descrita en el punto anterior, con el emisor acústico que se está evaluando parado.
- Cuando se determinen fases de ruido, la evaluación del nivel sonoro en el periodo temporal de evaluación se determinará a partir de los valores de los índices  $L_{K_{eq,Ti}}$  de cada fase de ruido medida, aplicando la siguiente expresión:

$$L_{K_{eq,T}} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n Ti 10^{0.1 L_{K_{eq,Ti}}} \right)$$

Donde:

$T$ , es el tiempo en segundos correspondiente al periodo temporal de evaluación considerado ( $>=Ti$ ).

$Ti$ , es el intervalo de tiempo asociado a la fase de ruido  $i$ . La suma de los  $Ti = T$ .

$n$ , es el número de fases de ruido en que se descompone el periodo temporal de referencia  $T$ .



El valor del nivel sonoro resultante, se redondeará incrementándolo en 0,5 dB(A), tomando la parte entera como valor resultante.

### 3.5. Condiciones de medición.

En la realización de las mediciones para la evaluación de los niveles sonoros, se deberán guardar las siguientes precauciones:

a) Las condiciones de humedad y temperatura deberán ser compatibles con las especificaciones del fabricante del equipo de medida.

b) En la evaluación del ruido transmitido por un determinado emisor acústico no serán válidas las mediciones realizadas en el exterior con lluvia, teniéndose en cuenta para las mediciones en el interior, la influencia de la misma a la hora de determinar su validez en función de la diferencia entre los niveles a medir y el ruido de fondo, incluido en éste, el generado por la lluvia.

c) Será preceptivo que antes y después de cada medición, se realice una verificación acústica de la cadena de medición mediante calibrador sonoro, que garantice un margen de desviación no superior a 0,3 dB respecto el valor de referencia inicial.

d) Las mediciones en el medio ambiente exterior se realizarán usando equipos de medida con pantalla antiviento. Así mismo, cuando en el punto de evaluación la velocidad del viento sea superior a 5 metros por segundo se desistirá de la medición.

## B. Métodos de evaluación para el índice de vibraciones.

### 1. Métodos de medición de vibraciones.

Los métodos de medición recomendados para la evaluación del índice de vibración  $L_{aw}$ , son los siguientes:

a) *Con instrumentos con la ponderación frecuencial  $w_m$ .*

Este método se utilizará para evaluaciones de precisión y requiere de un instrumento que disponga de ponderación frecuencial  $w_m$ , de conformidad con la definición de la norma ISO 2631-2:2003.

Se medirá el valor eficaz máximo obtenido con un detector de media exponencial de constante de tiempo 1s (slow) durante la medición. Este valor corresponderá al parámetro  $a_w$ , Maximum Transient Vibration Value, (MTVV), según se recoge en la norma ISO 2631-1:1997.

b) *Método numérico para la obtención del indicador  $L_{aw}$*

Cuando los instrumentos de medición no posean ponderación frecuencial y/o detector de media exponencial, o como alternativa a los procedimientos descritos en los apartados a) y c), se podrá recurrir a la grabación de la señal sin ponderación y posterior tratamiento de los datos de conformidad con las normas ISO descritas en el apartado a).

c) *Calculando la ponderación frecuencial  $w_m$ .*

Teniendo en cuenta que este procedimiento no es adecuado cuando se miden vibraciones transitorias (*a causa de la respuesta lenta de los filtros de tercio octava de más baja frecuencia (108 s) respecto a la respuesta "slow"*) su uso queda limitado a vibraciones de tipo estacionario.

Cuando los instrumentos no dispongan de la ponderación frecuencial  $w_m$  se podrá realizar un análisis espectral, con resolución mínima de banda de tercio de octava de acuerdo con la metodología que se indica a continuación.

El análisis consiste en obtener la evolución temporal de los valores eficaces de la aceleración con un detector de media exponencial de constante de tiempo 1s (slow) para cada una de las bandas de tercio de octava especificadas en la norma ISO 2631-2:2003 (1 a 80 Hz) y con una periodicidad de cómo mínimo un segundo para toda la duración de la medición.

A continuación se multiplicará cada uno de los espectros obtenidos por el valor de la ponderación frecuencial  $w_m$  (ISO 2631-2:2003)

En la siguiente tabla se detallan los valores de la ponderación  $w_m$  (ISO 2631-2:2003) para las frecuencias centrales de las bandas de tercio de octava de 1 Hz a 80 Hz.

Frecuencia	$w_m$	
	factor	dB
1	0,833	-1,59
1,25	0,907	-0,85
1,6	0,934	-0,59
2	0,932	-0,61
2,5	0,910	-0,82

Frecuencia	$w_m$	
	factor	dB
3,15	0,872	-1,19
4	0,818	-1,74
5	0,750	-2,50
6,3	0,669	-3,49
8	0,582	-4,70
10	0,494	-6,12
12,5	0,411	-7,71
16	0,337	-9,44
20	0,274	-11,25
25	0,220	-13,14
31,5	0,176	-15,09
40	0,140	-17,10
50	0,109	-19,23
63	0,0834	-21,58
80	0,0604	-24,38

Seguidamente se obtendrán los valores de aceleración global ponderada para los distintos instantes de tiempo (para cada espectro) mediante la siguiente fórmula:

$$a_{w,i} = \sqrt{\sum_j (w_{m,j} a_{w,i,j})^2}$$

Donde:

- $a_{w,i,j}$ : el valor eficaz (RMS, slow) de la señal de aceleración expresado en  $m/s^2$ , para cada una de las bandas de tercio de octava (j) y para los distintos instantes de la medición (i).
- $w_{m,j}$ : el valor de la ponderación frecuencial  $w_m$  para cada una de las bandas de tercio de octava (j).
- $a_{w,i}$ : el valor eficaz (RMS, slow) de la señal de aceleración global ponderada para los distintos instantes de la medición.

Finalmente, para encontrar el valor de  $a_w$  (MTVV) debe escogerse el valor máximo de las distintas aceleraciones globales ponderadas, para los distintos instantes de medición

$$a_w = \max \{ a_{w,i} \}_i$$

## 2. Procedimientos de medición de vibraciones.

Los procedimientos de medición in situ utilizados para la evaluación del índice de vibración que establece este real decreto se adecuarán a las prescripciones siguientes:

a) Previamente a la realización de las mediciones es preciso identificar los posibles focos de vibración, las direcciones dominantes y sus características temporales.

b) Las mediciones se realizarán sobre el suelo en el lugar y momento de mayor molestia y en la dirección dominante de la vibración si esta existe y es claramente identificable. Si la dirección dominante no está definida se medirá en tres direcciones ortogonales simultáneamente, obteniendo el valor eficaz  $a_{w,i}(t)$  en cada una de ellas y el índice de evaluación como suma cuadrática, en el tiempo  $t$ , aplicando la expresión:

$$a_w(t) = \sqrt{a_{w,x}^2(t) + a_{w,y}^2(t) + a_{w,z}^2(t)}$$

c) Para la medición de vibraciones generadas por actividades, se distinguirá entre vibraciones de tipo estacionario o transitorio.

i) Tipo estacionario: se deberá realizar la medición al menos en un minuto en el periodo de tiempo en el que se establezca el régimen de funcionamiento más desfavorable; si este no es identificable se medirá al menos un minuto para los distintos regímenes de funcionamiento.

ii) Tipo transitorio: se deberán tener en cuenta los posibles escenarios diferentes que puedan modificar la percepción de la vibración (foco, intensidad, posición, etc.). A efectos de la aplicación de los criterios señalados en el

artículo 17, apartado 1.b), en la medición se deberá distinguir entre los periodos diurno y nocturno, contabilizando el número de eventos máximo esperable.

d) En la medición de vibraciones generadas por las infraestructuras igualmente se deberá distinguir entre las de carácter estacionario y transitorio. A tal efecto el tráfico rodado en vías de elevada circulación puede considerarse estacionario.

i) Tipo estacionario: se deberá realizar la medición al menos en cinco minutos dentro del periodo de tiempo de mayor intensidad (principalmente de vehículos pesados) de circulación. En caso de desconocerse datos del tráfico de la vía se realizarán mediciones durante un día completo evaluando el valor eficaz  $a_w$ .

ii) Tipo transitorio: se deberán tener en cuenta los posibles escenarios diferentes que puedan modificar la percepción de la vibración (p.e: en el caso de los trenes se tendrá en cuenta los diferentes tipos de vehículos por cada vía y su velocidad si la diferencia es apreciable). A efectos de la aplicación de los criterios señalados en el artículo 17, apartado 1.b), en la medición se deberá distinguir entre los periodos diurno y nocturno, contabilizando el número de eventos máximo esperable.

e) De tratarse de episodios reiterativos, se realizará la medición al menos tres veces, dándose como resultado el valor más alto de los obtenidos; si se repite la medición con seis o más eventos se permite caracterizar la vibración por el valor medio más una desviación típica.

f) En la medición de la vibración producida por un emisor acústico a efectos de comprobar el cumplimiento de lo estipulado en el artículo 26 se procederá a la corrección de la medida por la vibración de fondo (vibración con el emisor parado).

g) Será preceptivo que antes y después de cada medición, se realice una verificación de la cadena de medición con un calibrador de vibraciones, que garantice su buen funcionamiento.

## ANEXO V

### Criterios para determinar la inclusión de un sector del territorio en un tipo de área acústica

#### 1.- Asignación de áreas acústicas.

1. La asignación de un sector del territorio a uno de los tipos de área acústica previstos en el artículo 7 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, depende del uso predominante actual o previsto para el mismo en la planificación general territorial o el planeamiento urbanístico.

2. Cuando en una zona coexistan o vayan a coexistir varios usos que sean urbanísticamente compatibles, a los solos efectos de lo dispuesto en este real decreto se determinará el uso predominante con arreglo a los siguientes criterios:

- Porcentaje de la superficie del suelo ocupada o a utilizar en usos diferenciados con carácter excluyente.
- Cuando coexistan sobre el mismo suelo, bien por yuxtaposición en altura bien por la ocupación en planta en superficies muy mezcladas, se evaluará el porcentaje de superficie construida destinada a cada uso.
- Si existe una duda razonable en cuanto a que no sea la superficie, sino el número de personas que lo utilizan, el que defina la utilización prioritaria podrá utilizarse este criterio en sustitución del criterio de superficie establecido en el apartado b).
- Si el criterio de asignación no está claro se tendrá en cuenta el principio de protección a los receptores más sensibles
- En un área acústica determinada se podrán admitir usos que requieran mayor exigencia de protección acústica, cuando se garantice en los receptores el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica previstos para ellos, en este real decreto.
- La asignación de una zona a un tipo determinado de área acústica no podrá en ningún caso venir determinada por el establecimiento de la correspondencia entre los niveles de ruido que existan o se prevean en la zona y los aplicables al tipo de área acústica.

#### 2.- Directrices para la delimitación de las áreas acústicas.

Para la delimitación de las áreas acústicas se seguirán las directrices generales siguientes:

a) Los límites que delimiten las áreas acústicas deberán ser fácilmente identificables sobre el terreno tanto si constituyen objetos construidos artificialmente, calles, carreteras, vías ferroviarias, etc. como si se trata de líneas naturales tales como cauces de ríos, costas marinas o lacustre o límites de los términos municipales.

b) El contenido del área delimitada deberá ser homogéneo estableciendo las adecuadas fracciones en la delimitación para impedir que el concepto "uso preferente" se aplique de forma que falsee la realidad a través del contenido global.

c) Las áreas definidas no deben ser excesivamente pequeñas para tratar de evitar, en lo posible, la fragmentación excesiva del territorio con el consiguiente incremento del número de transiciones.



d) Se estudiará la transición entre áreas acústicas colindantes cuando la diferencia entre los objetivos de calidad aplicables a cada una de ellas superen los 5 dB(A).

3.- Criterios para determinar los principales usos asociados a áreas acústicas.

A los efectos de determinar los principales usos asociados a las correspondientes áreas acústicas se aplicarán los criterios siguientes:

*Áreas acústicas de tipo a).- Sectores del territorio de uso residencial:*

Se incluirán tanto los sectores del territorio que se destinan de forma prioritaria a este tipo de uso, espacios edificados y zonas privadas ajardinadas, como las que son complemento de su habitabilidad tales como parques urbanos, jardines, zonas verdes destinadas a estancia, áreas para la practica de deportes individuales, etc..

Las zonas verdes que se dispongan para obtener distancia entre las fuentes sonoras y las áreas residenciales propiamente dichas no se asignaran a esta categoría acústica, se considerarán como zonas de transición y no podrán considerarse de estancia.

*Áreas acústicas de tipo b).- Sectores de territorio de uso industrial:*

Se incluirán todos los sectores del territorio destinados o susceptibles de ser utilizados para los usos relacionados con las actividades industrial y portuaria incluyendo; los procesos de producción, los parques de acopio de materiales, los almacenes y las actividades de tipo logístico, estén o no afectas a una explotación en concreto, los espacios auxiliares de la actividad industrial como subestaciones de transformación eléctrica etc.

*Áreas acústicas de tipo c).- Sectores del territorio con predominio de uso recreativo y de espectáculos:*

Se incluirán los espacios destinados a recintos feriales con atracciones temporales o permanentes, parques temáticos o de atracciones así como los lugares de reunión al aire libre, salas de concierto en auditorios abiertos, espectáculos y exhibiciones de todo tipo con especial mención de las actividades deportivas de competición con asistencia de público, etc.

*Áreas acústicas de tipo d).- Actividades terciarias no incluidas en el epígrafe c):*

Se incluirán los espacios destinados preferentemente a actividades comerciales y de oficinas, tanto publicas como privadas, espacios destinados a la hostelería, alojamiento, restauración y otros, parques tecnológicos con exclusión de las actividades masivamente productivas, incluyendo las áreas de estacionamiento de automóviles que les son propias etc.

*Áreas acústicas de tipo e).- Zonas del territorio destinadas a usos sanitario, docente y cultural que requieran especial protección contra la contaminación acústica*

Se incluirán las zonas del territorio destinadas a usos sanitario, docente y cultural que requieran, en el exterior, una especial protección contra la contaminación acústica, tales como las zonas residenciales de reposo o geriatría, las grandes zonas hospitalarias con pacientes ingresados, las zonas docentes tales como "campus" universitarios, zonas de estudio y bibliotecas, centros de investigación, museos al aire libre, zonas museísticas y de manifestación cultural etc.

*Áreas acústicas de tipo f).- Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte y otros equipamientos públicos que los reclamen*

Se incluirán en este apartado las zonas del territorio de dominio público en el que se ubican los sistemas generales de las infraestructuras de transporte viario, ferroviario y aeroportuario.

*Áreas acústicas de tipo g).- Espacios naturales que requieran protección especial.*

Se incluirán los espacios naturales que requieran protección especial contra la contaminación acústica. En estos espacios naturales deberá existir una condición que aconseje su protección bien sea la existencia de zonas de cría de la fauna o de la existencia de especies cuyo hábitat se pretende proteger.

Asimismo, se incluirán las zonas tranquilas en campo abierto que se pretenda mantener silenciosas por motivos turísticos o de preservación del medio.

Anejo 2  
Breve reseña de los autores

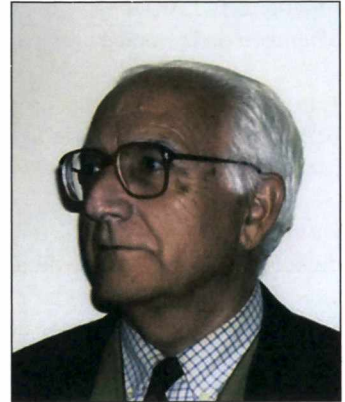
## Ref.: Capítulo 1

### ***Amando García Rodríguez***

Doctor en Ciencias Físicas  
Vicepresidente de la Sociedad Española de Acústica

Catedrático en la Facultad de Física de la Universidad de Valencia,  
fue Director del Laboratorio de Acústica.

Ha sido Secretario General Adjunto, miembro de la Junta de Gobierno, Director de la Universitat d'Estiu a Gandia y Director del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Valencia. Fue becario de la Institución Alfonso el Magnánimo de la Diputación Provincial de Valencia, la Fundación Juan March, la International Atomic Energy Agency y la Caroline Harrold Foundation y Premio "Alfonso el Sabio" del C.S.I.C.



Miembro de diferentes sociedades científicas nacionales y extranjeras, ha sido Product manager del EAA INDEX en las ediciones 2002 y 2006. Actualmente es Editor Asociado de la revista Acta Acustica u.w. Acustica.

Autor de una quincena de libros de mecánica, física nuclear y acústica aplicada. Ha traducido varios libros de su especialidad. Ha publicado más de un centenar de trabajos de investigación sobre física nuclear y acústica aplicada. Ha dirigido una treintena de Tesis Doctorales y Tesinas de Licenciatura en estos campos. Investigador principal y colaborador de una veintena de proyectos de investigación sobre contaminación acústica y sus efectos.

Ha participado en más de sesenta Congresos y reuniones científicas nacionales e internacionales, en los que ha presentado unas 150 ponencias y comunicaciones sobre temas de su especialidad. Ha pronunciado numerosas conferencias en diferentes Instituciones y Centros, fundamentalmente sobre materias relacionadas con su actividad investigadora.

Miembro del Consell Valencià de Cultura de la Generalitat Valenciana (1992/1997).

Autor del Primer libro de la Colección "Temas de Acústica de la SEA", titulado: *La contaminación Acústica. Fuentes, Evaluación, Efectos y Control*.



## Ref.: Capítulo 2

### ***José Manuel Sanz Sá***

Ingeniero Industrial  
Miembro de la Sociedad Española de Acústica

Jefe de Área de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Ha coordinado el Grupo de trabajo constituido para la elaboración de la Ley del Ruido y su desarrollo reglamentario.

Se encarga del seguimiento de la aplicación de la ley del ruido, con especial referencia a los mapas estratégicos de ruido y planes de acción.



Director-Coordenador diversos trabajos y estudios sobre contaminación atmosférica y acústica, así como de la puesta en marcha y ejecución del Programa y Proyectos Piloto de apantallamiento acústico en carreteras del Estado, y del diseño y puesta en marcha y gestión del “Sistema básico de información sobre contaminación acústica (SICA)”.

Participa como representante español en el Grupo de Expertos de la Comisión Europea que hace el seguimiento del desarrollando la nueva política de lucha contra el ruido, y en el “Comité de reglamentación del ruido ambiental”, creado para el desarrollo de las directivas sobre ruido.

Ha participado como profesor o ponente en masters, cursos, seminarios y jornadas sobre la contaminación atmosférica y acústica, organizados por distintos Organismos públicos y privados

## Ref.: Capítulo 3

### ***Fernando Segués Echazarreta***

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Miembro de la Sociedad Española de Acústica

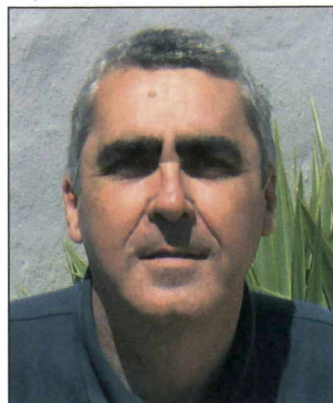
Jefe del Área de Contaminación Acústica del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento.

Su trayectoria profesional se inicia como Ingeniero de Proyectos y se especializa en temas medioambientales. Efectúa una estancia en calidad de Investigador visitante en el “Institut de Recherche sur les Transports et leur Sécurité” INRETS, Lyon (Francia).

En 1993 se incorpora a la Administración del Estado como Funcionario del Cuerpo de I.C.C. y P. del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, desarrollando su trabajo en el campo de la evaluación y control medioambiental, fundamentalmente en temas relacionados con los impactos ambientales de la obra civil y la contaminación acústica.

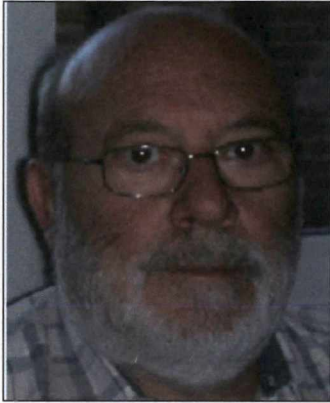
Ha dirigido y participado en el equipo redactor de un gran número de estudios de previsión de niveles sonoros y medidas correctoras del impacto originado por las infraestructuras de transporte para los Ministerios de Fomento y Medio Ambiente y otras administraciones. Ha formado parte del equipo director del control de calidad de los mapas estratégicos de ruido de las carreteras de la Red del Estado, y actúa como asesor técnico del Ministerio de Medio Ambiente para la organización y recopilación de los mapas estratégicos y planes de acción contra el ruido.

Es profesor habitual de varios Másteres y cursos de especialización medioambiental, participando en numerosas actividades formativas como especialista ambiental en temas de contaminación acústica y evaluación del impacto ambiental de la obra pública. Ha dirigido y colaborado asimismo en diversos proyectos de investigación en este campo.



## Ref.: Capítulo 4

### ***Plácido Perera Melero***



Perito Industrial  
Miembro del Consejo Rector de la Sociedad Española de Acústica

Funcionario del Ayuntamiento de Madrid desde 1969.

Formó parte del grupo de trabajo para la redacción de la Ley 37/2003 y sus dos Reales Decretos de desarrollo.

Ha diseñado la Red de control de la Contaminación Acústica del Ayuntamiento de Madrid, El Centro Municipal de Acústica y el ADMAM (Sistema de actualización Dinámica del Mapa Acústico de Madrid).

## Ref.: Capítulo 4

### ***Ricardo Hernández Molina***

Doctor en Filosofía y Letras  
Licenciado en Máquinas Navales  
Miembro del Consejo Rector de la Sociedad Española de Acústica

Profesor Titular del Área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Cádiz desde el año 1990.

Cursó la especialidad de acústica en la Escuela Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad de Valladolid en 1997, desde esa fecha dirige el laboratorio de Ingeniería Acústica de la Universidad de Cádiz.

Ha sido responsable de varios proyectos de Investigación, tanto nacionales como internacionales.

Pertenece al Comité de AENOR: AEN/CTN74/SC3: ACUSTICA.

Actualmente es el coordinador del Máster Oficial Universitario de Ingeniería Acústica.





## Ref.: Capítulo 5

### ***Guillermo García de Polavieja***

Arquitecto Urbanista  
Miembro de la Sociedad Española de Acústica

Especialista en proyecto de Conservación y Restauración del Patrimonio Arquitectónico y Urbano por el Instituto Juan de Herrera de la Universidad Politécnica de Madrid. 1994.

Especialista en Acústica aplicada a la Construcción en el Departamento de Física e Instalaciones aplicadas a la Arquitectura el Urbanismo y el Medio Ambiente de la Escuela de Arquitectura de Madrid. 1996.

Especialista en Ciudad y Medio Ambiente por la Universidad Politécnica de Madrid. 2005.

Desde 2001 es Director Técnico de Tasvalor Medio Ambiente, consultoría acústica y medioambiental; es también Consejero fundador de G5 Expertos Ambientales y Consejero de Sánchez Blanco y Asociados Consultores, ingenieros de transporte.

Ha sido consultor del Instituto de Acústica del CSIC en el proyecto europeo RANCH y experto del MOPT en el TRANSPORT TWINNING PROJECT de la Unión Europea con Polonia, Programa Phare sobre ruido ferroviario.

Desde 1997 es autor o director de numerosos estudios acústicos sobre planeamiento urbanístico e infraestructuras de transporte terrestre y aeronáutico; habiendo trabajado para ministerios, comunidades autónomas, ayuntamientos y entidades públicas como RENFE, ADIF, ARPEGIO, EMVS, GIF, GMU, IVIMA, RENFE, etc.

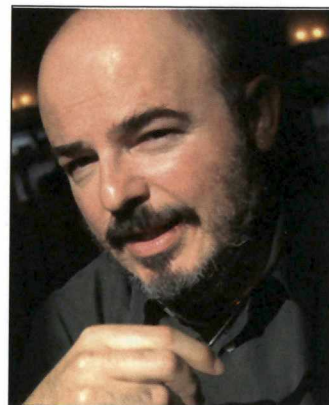
Profesor habitual del Curso de Evaluación de Impacto Ambiental de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental y Fundación Conde del Valle de Salazar.

Profesor del curso “Acústica y Planeamiento Urbanístico en la Comunidad de Madrid” en el Instituto Arquitectura / Fundación del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Profesor de Acústica Ambiental del Máster en sistemas de información geográfica y teledetección aplicados a la evaluación de impacto ambiental y a la planificación territorial. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.

Responsable del módulo “Acústica y Planeamiento Urbanístico” dentro del Máster en Acústica de la Universidad de Cádiz.

Autor de diversos artículos técnicos, conferencias y comunicaciones sobre acústica ambiental y planeamiento.



## Ref.: Capítulo 6

### ***Leopoldo Ballarín Marcos***

Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones  
Especialidad Acústica  
Miembro de la Sociedad Española de Acústica

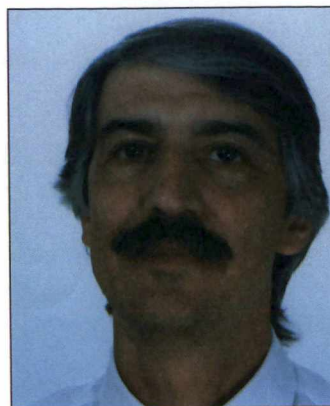
Jefe de proyectos de acústica ambiental en Brüel & Kjaer Ibérica S.A.

Ha desarrollado de la actividad profesional en diversos departamentos dentro de Brüel & Kjaer Ibérica S.A. desde 1979 hasta la fecha.

Miembro de AENOR desde sus inicios, ha intervenido como vocal en diversos comités técnicos relacionados con la acústica, las vibraciones, la electroacústica y la metrología. Actualmente es presidente del AEN/CT74 “Acústica”, secretario del AEN/CT74/SC3 “Ruido” y vocal de los comités AEN/CT74/SC2 “Acústica de edificios”, AEN/CT74/SC1 “Ruido en máquinas” y AEN/CT209/SC29 “Electroacústica: instrumentación”

Ponente en numerosos cursos, seminarios, reuniones técnicas nacionales e internacionales relativos a la evaluación de la acústica ambiental, la normativa al uso, la instrumentación acústica y la metrología.

Ha desarrollado e implementado la mayor parte de los sistemas de control permanente de ruido ambiental urbano, aeroportuario e industrial actualmente en servicio en España.



## Ref.: Capítulo 7

### ***Dámaso Alegre Marrades***

Ingeniero Superior del I.C.A.I:  
Miembro de la Sociedad Española de Acústica

Tras una amplia experiencia en proyectos, estudios y marketing en empresas del sector de la electrónica profesional y aeronáutica, en mayo de 1988 ingresa en el Grupo Ferrovial y como Jefe del Dpto. de Ingeniería y Sistemas de Protección Ambiental y Sistemas de Peaje (ICS, S.A.), en una primera etapa, y como Jefe del Departamento de Ingeniería Acústica y Vibraciones de TEC-PRESA, S.L. desde septiembre de 1993, se especializa en el estudio y realización de obras de protección acústica y frente a vibraciones, sistemas de protección antideslumbramiento e instalación de maquinaria de control de peaje, etc. Desde junio 2009 ha sido nombrado Jefe del Departamento de I+d+i de FERROVIAL-AGROMAN, S.A.



Especialista en acústica medioambiental y ruido de infraestructuras de transporte, en los últimos 21 años ha dirigido o participado en más de 100 proyectos de construcción, informes técnicos y estudios de impacto acústico, realización de mapas sonoros, etc. y diseñado, suministrado y construido más de 100.000 m<sup>2</sup> de pantallas acústicas en carreteras y ferrocarriles.

Ha publicado 25 artículos técnicos en revistas especializadas (CARRETERAS, IMU, ANALES, etc.) y/o ponencias y participado en diferentes simposiums y congresos nacionales e internacionales (ICA, FASE, TECNIACUSTICA, ATC-AIPCR DE CARRETERAS Y M.A. etc.) como ponente, director técnico y/o miembro del comité organizador.

Es Miembro y Consejero de la Asociación Española de la Carretera (A.E.C.).

Miembro del Comité Técnico de la Carretera y Medio Ambiente de la Asociación Técnica de Carreteras (A.I.P.C.R.).

Miembro y Secretario Técnico del Subcomité SC 6 “Dispositivos Anti-ruido” del CTN 135 de AENOR. Miembro de los comités CTN 25 / SC 1 y CTN 74 / SC 3 de AENOR.

Representante de AENOR y miembro de los Comités Europeos de Normalización de dispositivos anti-ruido para carreteras, CEN/TC226/WG6/TG2 y para ferrocarriles CEN/TC256/SC1/WG40.

Miembro del “Traffic Noise Working Group” de la European Union Road Federation, ERF.

Presidente de la Asociación Nacional de Industriales de Dispositivos y Pantallas Anti-Ruido (A.N.I.P.A.R.).

Presidente de la European Noise Barrier Federation (E.N.B.F.)



## Ref.: Capítulo 8

### ***Fundación CIDAUT*** ***Área de Acústica y Vibraciones***

#### **Entidad miembro de la Sociedad Española de Acústica**

Beatriz Bragado Pérez: Ingeniero Técnico Industrial

Roberto Cordero Izquierdo: Ingeniero Industrial

Jose Andrés González Ganso: Ingeniero Industrial

María José Hernández Echegaray: Ingeniero Industrial

Antonio Hidalgo Otamendi: Ingeniero Industrial

Miguel Ángel Morcillo López: Ingeniero Industrial



Este grupo de trabajo comenzó a trabajar en 1995 con el objetivo de generar conocimiento para dar soluciones en el campo de la Acústica y Vibraciones en los sectores de Medios de Transporte, Edificación, Medioambiente e Industria. Desde el comienzo de su actividad el área ha apostado por el trabajo en paralelo en simulación numérica y experimentación, y fundamenta su trabajo en la realización de proyectos de I+D+i orientados a la empresa privada, española e internacional, y proyectos de investigación básica enmarcados dentro de la Universidad. Además el área colabora en numerosos grupos europeos e internacionales de normalización y participa en proyectos europeos. Los miembros del área cuentan con publicaciones en numerosos foros internacionales y han impartido cursos y charlas en todos los ámbitos universitarios, técnicos y divulgativos.

El área está trabajando con los diferentes sectores, en particular con la industria del ferrocarril, automoción y fabricantes de componentes, para la mejora del comportamiento acústico exterior e interior de los vehículos. El área dispone de las capacidades para realizar estudios acústicos y vibratorios en vehículo completo tanto en carretera/vía como en el banco de rodillos instalado dentro de la cámara semianecoica, para el caso del automóvil. El área ha participado en el diseño, mediante simulación numérica, de la función NVH (Noise Vibration & Harshness) de vehículo completo de fabricantes de primer nivel internacional.

Una de las principales líneas de trabajo del área es la Acústica Medioambiental. El área ha trabajado en el desarrollo de metodologías para la ejecución de Mapas Estratégicos de Ruido desde 2004, trabajando para el Ministerio de Fomento en la realización de los mapas de la Red estatal de carreteras, además de la mejora de los procedimientos y software de predicción.

El área trabaja en la mejora de los procedimientos de cálculo y de medidas experimentales de Pantallas Acústicas. Son miembros del Subcomité 6 de Comité 135 de AENOR, para la Normalización de Barreras Antirruído de carretera y representantes del subcomité español en el Comité espejo europeo CEN TC 226 WG 6, así como en el homólogo de pantallas acústicas para ferrocarril, CEN/TC 256/SC 1/WG 40. Está colaborando en el proyecto europeo QUIEST para la mejora de los métodos de medida in situ de pantallas acústicas.

Este grupo ha participado en diferentes proyectos nacionales con empresas para desarrollar una metodología completa de trabajo que permita analizar el ruido de rodadura en toda su extensión. Se destaca como relevante la participación en el proyecto FENIX (programa Nacional CENIT), para la mejora del comportamiento acústico de asfaltos. Se participa como representante español en los grupos de normalización ISO referentes a la medida de las absorción acústica de los pavimentos ISO TC 42 WG38, así como de la medida del ruido generado en las carreteras ISO TC 43/SC1 WG33. A continuación se citan las diferentes actividades que realiza el área en esta línea de investigación sobre el Ruido de Rodadura:

Caracterización acústica de probetas de pavimentos: medida de Absorción acústica a incidencia normal según ISO 10534-2: 2001 (Tubo de Impedancias) y a incidencia difusa en cámara reverberante. Medida de la Impedancia Mecánica para determinar la rigidez dinámica. Caracterización de las propiedades intrínsecas acústicas de pavimentos porosos: resistividad al flujo de aire, tortuosidad, porosidad.

Caracterización acústica de pavimentos in situ: Método Close Proximity (CPX) según ISO/CD 11819-2, Método Controlled Pass By (CPB), Método Statistical Pass By (SPB) según ISO 11819-1. Medida de Absorción acústica según ISO 13472-2 (Tubo de Impedancias) y según ISO 13472-1: 2002 (Extended surface method). Medida de la Impedancia Mecánica y caracterización de la Resistencia a la Rodadura.

Simulación del comportamiento acústico de los pavimentos mediante el SIMAM, para el diseño con propiedades acústicas óptimas (mayor absorción acústica,...) en función de los requerimientos: tipo de carretera, de vehículos, condiciones meteorológicas, mediante el control de los parámetros iniciales de fabricación...

Simulación del comportamiento vibroacústico de la interacción neumático / pavimento para predecir la emisión de ruido teniendo en cuenta la interacción (características superficiales) y las características mecánicas del neumático y pavimento.

## Ref.: Capítulo 9

### ***Jesús Alba Fernández***

Doctor Ingeniero de Telecomunicación  
Miembro del Consejo Rector de la Sociedad Española de Acústica

Catedrático de Escuela Universitaria como especialista en Transductores acústicos y Aislamiento Acústico en la edificación.

En el año 1996 se incorpora como profesor asociado en el Campus de Gandía de la Universidad Politécnica de Valencia, impartiendo clases a Ingenieros Técnicos de Telecomunicación Especialidad Sonido e Imagen. Desde el año 2007, es director de dos cátedras: la cátedra del Colegio de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación y la cátedra Acusttel de Ingeniería acústica.



Actualmente imparte clases de Contaminación acústica en Ingeniería Técnica de Telecomunicación y Aislamiento Acústico en la Edificación en el Máster de Ingeniería Acústica del Campus de Gandía y asignaturas de doctorado. Ha dirigido más de 100 proyectos fin de carrera, varias tesis doctorales, y dirige tesis también en el ámbito de la música. Desde su incorporación a la Universidad Politécnica de Valencia ha colaborado o dirigido diferentes proyectos de investigación para empresas del sector y estudios acústicos, para la Generalitat Valenciana, para el Ministerio de Ciencia y Tecnología y para el Ministerio de Fomento. Tiene más de 150 ponencias en congresos nacionales e internacionales de acústica y actualmente es invitado a impartir cursos de formación y reciclado en diferentes colegios profesionales de la Comunidad Valenciana, con más de 40 cursos.



## Ref.: Capítulo 9

### ***Romina del Rey Tormos***

Licenciada en Ciencias Físicas  
Miembro de la Sociedad Española de Acústica

En el año 2006 comienza estudios de doctorado en el programa de Acústica Aplicada dentro del departamento de Física Aplicada de la escuela Politécnica Superior de Gandia-Universidad Politécnica de Valencia. Durante sus estudios de doctorado ha realizado más de 30 ponencias en congresos nacionales e internacionales de acústica, uno de estos trabajos fue premiado con el premio Andrés Lara para Jóvenes Investigadores en el año 2006. Tiene cinco publicaciones en revistas científicas y dos capítulos de libro publicados en el ámbito de materiales absorbentes acústicos.



Desde su incorporación a la Universidad Politécnica de Valencia ha colaborado con diferentes proyectos de investigación, trabajando siempre con el Catedrático de Escuela Universitaria Jesús Alba como investigador principal. Ha co-dirigido proyectos final de carrera, la mayoría de los cuales se engloban en el ámbito bien de la Contaminación Acústica, bien de la Acústica en la Edificación. Ha impartido también docencia de la asignatura de Contaminación Acústica en la Titulación de Ingeniería Técnica en Telecomunicaciones. Sonido e Imagen. En la actualidad se encuentra en la última fase de doctorado, preparando su trabajo de Tesis titulado “Modelización del Ruido Transmitido por flancos en la edificación en nuevas soluciones constructivas”.

# Los autores

## Capítulo 1.

**La acústica ambiental en España. Una mirada retrospectiva**

*Amando García Rodríguez*

## Capítulo 2.

**Aplicación de la Ley del Ruido. Estado de situación**

*José Manuel Sanz Sá*

## Capítulo 3.

**Mapas estratégicos de ruido y planes de acción**

*Fernando Segúes Echazarreta*

## Capítulo 4.

**El control del ruido urbano. Planes de acción específicos**

*Plácido Perera Melero; Ricardo Hernández*

*Molina*

## Capítulo 5.

**Planeamiento urbanístico con criterios acústicos**

*Guillermo García de Polavieja*

## Capítulo 6.

**Normas y procedimientos de evaluación en acústica ambiental**

*Leopoldo Ballarín Marcos*

## Capítulo 7.

**Dispositivos reductores de ruido y pantallas acústicas. Generalidades normativas y proyectos**

*Dámaso Alegre Marrades*

## Capítulo 8.

**Aplicaciones acústicas de pavimentos**

*Beatriz Bragado Pérez; Roberto Cordero*

*Izquierdo; José Andrés González Ganso; María*

*José Hernández Echegaray; Antonio Hidalgo*

*Otamendi; Miguel Ángel Morcillo López*

## Capítulo 9.

**Evaluación de las vibraciones en el espacio interior de las edificaciones**

*Jesús Alba Fernández; Romina del Rey Tormos*

## Anejo 1.

**Legislación sobre Acústica Ambiental**

## Anejo 2.

**Breve reseña de los autores**

Web: [www.sea-acustica.es](http://www.sea-acustica.es)

e-mail: [secretaria@sea-acustica.es](mailto:secretaria@sea-acustica.es)

