

Guía para el proyecto y ejecución de obras de apantallamiento acústico en carreteras

Centro virtual de publicaciones del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible:
<https://cvp.mitma.gob.es/>

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:
<https://cpage.mpr.gob.es>

Título: Guía para el proyecto y ejecución de obras de apantallamiento acústico en carreteras
Autor: Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, Secretaría General de Transporte Terrestre
Año de edición: 2024

Edita:
© Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

NIPO línea: 196-24-068-1
NIPO papel: 196-24-067-6
Depósito Legal: M-9828-2024

Impreso en papel con gestión forestal certificada

Aviso Legal: Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en todo ni en parte, ni registrada ni transmitida por un sistema de recuperación de información en ninguna forma ni en ningún medio, salvo en aquellos casos específicamente permitidos por la Ley



ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL DOCUMENTO.....	9
1.1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.2. OBJETO DEL DOCUMENTO	11
2 RUIDO AMBIENTAL.....	15
2.1. PROPAGACIÓN DEL SONIDO	16
2.2. CONCEPTOS DE AISLAMIENTO, ABSORCIÓN Y DIFRACCIÓN	20
2.2.1. Eficacia de las pantallas acústicas.....	20
2.2.2. Prestaciones acústicas	21
2.2.3. Absorción acústica.....	22
2.2.4. Aislamiento acústico a ruido aéreo	22
2.2.5. Campo difuso y campo directo.....	23
3 LEGISLACIÓN EN MATERIA DE RUIDO	25
3.1. LEY DEL RUIDO Y DESARROLLO REGLAMENTARIO.....	26
3.2. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA Y LOCAL	30
3.3. NIVELES MÁXIMOS DE RUIDO GENERADOS POR LA INFRAESTRUCTURA.....	31
3.3.1. Infraestructura existente	32
3.3.2. Infraestructura nueva	34
3.4. MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO Y SERVIDUMBRE ACÚSTICA	35
3.5. PLANES DE ACCIÓN	39
4 MEDIDAS DE ACTUACIÓN	41
4.1. TIPOS DE ACTUACIONES.....	42
4.1.1. Cambios de trazado y soterramientos	42
4.1.2. Cambios de velocidad y actuaciones de calmado del tráfico	45
4.1.3. Cambios de pavimento	50
4.1.4. Pantallas acústicas.....	52
4.1.5. Acondicionamiento de túneles	59
4.2. TIPOS DE PANTALLAS ACÚSTICAS. SELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA.....	63

4.2.1. Tipología en función de sus propiedades acústicas	63
4.2.2. Tipologías en función de los materiales de los que están constituidas. Requisitos mínimos	66
4.2.3. Otras tipologías	70
4.2.4. Dispositivos especiales (juntas de dilatación)	71
4.2.5. Difractores en coronación de pantallas.....	72
4.2.6. Cubiertas parciales o totales de la carretera. Galerías antirruído.....	78
4.2.7. Sistemas de contención, distancia a obstáculos	84
5 NORMATIVA TÉCNICA DE APLICACIÓN A DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO	89
5.1. ENSAYOS ACÚSTICOS EN CAMPO DIFUSO EN CÁMARAS NORMALIZADAS	92
5.1.1. Ensayo de absorción acústica en campo difuso conforme a la norma UNE-EN 1793-1	92
5.1.2. Ensayo de aislamiento acústico en campo difuso conforme a la norma UNE-EN 1793-2	94
5.2. ENSAYOS ACÚSTICOS EN CAMPO DIRECTO	96
5.2.1. Ensayo de aislamiento acústico en campo directo conforme a la norma UNE-EN 1793-6.....	96
5.2.2. Ensayo de reflexión acústica en campo directo conforme a la UNE-EN 1793-5	99
5.3. EVALUACIÓN DE LAS PRESTACIONES DE LAS PANTALLAS ACÚSTICAS	100
5.3.1. Características acústicas.....	103
5.3.2. Características no acústicas.....	109
6 FASE DE PROYECTO	131
6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA SITUACIÓN ACÚSTICA: TIPOS DE ESTUDIOS DE RUIDO	132
6.2. CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE NIVELES SONOROS.....	133
6.2.1. Puntos de medición.....	134
6.2.2. Datos de tráfico	134
6.2.3. Ajuste de los niveles sonoros	136
6.3. MODELOS PREDICTIVOS	136
6.3.1. Información de partida	136
6.3.2. Metodología de cálculo (CNOSSOS-EU).....	142
6.3.3. Escenario actual	149
6.3.4. Niveles de referencia	150

6.3.5. Propuesta y simulación de medidas correctoras	151
6.4. DISEÑO ACÚSTICO DE PANTALLAS.....	151
6.4.1. Criterios de diseño geométrico	151
6.4.2. Criterios de dimensionamiento	156
6.4.3. Criterios de elección de tipología.....	162
6.5. DISEÑO ESTRUCTURAL	162
6.5.1. Normativa de aplicación (acciones, combinación y diseño de elementos).....	163
6.5.2. Características mínimas a cumplir por los materiales.....	164
6.5.3. Definición de los niveles de control de los materiales.....	166
6.5.4. Criterios a considerar en el dimensionamiento.....	167
6.5.5. Acciones a considerar.....	170
6.5.6. Verificaciones resistentes.....	172
6.5.7. Exigencias específicas de los distintos elementos para asegurar la durabilidad.....	177
7 FASE DE EJECUCIÓN	179
7.1 PARTES INTERVINIENTES EN EL PROYECTO.....	180
7.2. RECEPCIÓN Y CONTROL DEL MATERIAL. DOCUMENTACIÓN A APORTAR POR EL PROVEEDOR ANTES Y DESPUÉS DEL SUMINISTRO DE LAS PANTALLAS ACÚSTICAS	184
7.2.1. Plan de control.....	184
7.3. ENSAYOS DE RECEPCIÓN ACÚSTICOS	186
8 FASE DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN	189
8.1. MONITORIZACIÓN DE LOS NIVELES SONOROS.....	190
8.2. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO	190
8.3. DURABILIDAD	190
8.4. PÉRDIDAS DE EFICACIA A LO LARGO DEL TIEMPO	191
8.5. MANTENIMIENTO	192
8.5.1. Contenido y estructura del plan de mantenimiento.....	193
8.5.2. Mantenimiento de los elementos acústicos.....	194
8.5.3. Mantenimiento de elementos estructurales de acero	195
8.5.4. Mantenimiento de accesorios metálicos.....	196

8.5.5. Restauración de daños por vandalismo.....	197
9 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS	199
10 REFERENCIAS	207
PRESCRIPCIONES TÉCNICAS EXIGIBLES A LOS DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO (DRR)	209
1 INTRODUCCIÓN	211
2 MARCADO CE.....	213
2.1. DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO DE TRÁFICO EN CARRETERA SUSCEPTIBLES DE MARCADO CE	215
2.2. PROCEDIMIENTO DE MARCADO CE.....	217
2.3. DOCUMENTACIÓN MÍNIMA EXIGIBLE	218
2.3.1. Etiqueta marcado CE.....	218
2.3.2. Declaración de prestaciones (DoP)	220
2.3.3. Valores a declarar en el marcado CE y en la declaración de prestaciones (DoP)	220
2.3.4. Control de la producción.....	224
2.3.5. Manual de instalación y manual de mantenimiento	225
3 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NO ACÚSTICAS DE LAS PANTALLAS	227
3.1. DISPOSICIONES GENERALES RELATIVAS A LAS CARACTERÍSTICAS NO ACÚSTICAS DE LAS PANTALLAS.....	228
3.2. RESISTENCIA A LA CARGA AERODINÁMICA Y ESTÁTICA	228
3.3. PESO PROPIO, CARGAS DE VIENTO Y ESTÁTICAS COMBINADAS	230
3.4. RESISTENCIA AL IMPACTO POR PIEDRAS	230
3.5. RIESGO DE CAÍDA DE FRAGMENTOS DESPRENDIDOS.....	231
3.6. RESISTENCIA EN COLISIONES	231
3.7. RESISTENCIA A LA CARGA DINÁMICA PROVOCADA POR LA RETIRADA DE NIEVE	231
3.8. RESISTENCIA AL FUEGO	231
3.9. RESISTENCIA A LOS AGENTES ATMOSFÉRICOS.....	231
4 CRITERIO DE EXTENSIBILIDAD	233
4.1. CRITERIOS DE EXTENSIBILIDAD PARA LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS INICIALES DE TIPO	234
4.2. PROPIEDADES ACÚSTICAS	236

4.2.1. Aislamiento acústico	236
4.2.2. Absorción/reflexión del sonido	237
4.3. PROPIEDADES MECÁNICAS	238
4.3.1. Carga de viento	241
4.3.2. Peso propio.....	242
4.3.3. Carga de nieve	242
4.3.4. Riesgo de caída de trozos desprendidos.....	242
4.3.5. Impacto de piedras.....	242
4.3.6. Resistencia al fuego de maleza	243
5 TIPOLOGÍAS DE PANTALLAS ACÚSTICAS EN FUNCIÓN DE LOS MATERIALES DE LOS QUE ESTÁN CONSTITUIDAS. REQUISITOS MÍNIMOS	247
5.1. PANTALLAS ACÚSTICAS METÁLICAS DE ACERO Y/O ALUMINIO.....	248
5.1.1. Geometría y componentes.....	248
5.1.2. Requisitos mínimos exigibles para las pantallas acústicas metálicas	260
5.2. PANTALLAS ACÚSTICAS DE HORMIGÓN	264
5.2.1. Geometría y componentes.....	264
5.2.2. Requisitos mínimos exigibles para las pantallas acústicas de hormigón	270
5.3. PANTALLAS ACÚSTICAS DE MADERA.....	272
5.3.1. Geometría y componentes.....	272
5.3.2. Requisitos mínimos exigibles para las pantallas acústicas de madera	276
5.4. PANTALLAS ACÚSTICAS DE PVC	278
5.4.1. Geometría y componentes.....	278
5.4.2. Requisitos mínimos exigibles a las pantallas acústicas de PVC	282
5.5. PANTALLAS ACÚSTICAS DE POLIMETILMETACRILATO (PMMA) O POLICARBONATO CON PROTECCIÓN UV	284
5.5.1. Geometría y componentes.....	284
5.5.2. Requisitos mínimos exigibles a las pantallas acústicas de PMMA o policarbonato	293
5.6. PANTALLAS ACÚSTICAS DE VIDRIO	295

5.6.1. Geometría y componentes.....	295
5.6.2. Requisitos mínimos exigibles a las pantallas acústicas de vidrio	297
5.7. PANTALLAS ACÚSTICAS DE MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS PROCEDENTES DE LA FRACCIÓN DE RECHAZO DE LOS VERTEDEROS	299
5.7.1. Geometría y componentes.....	299
5.7.2. Requisitos mínimos exigibles para las pantallas acústicas de materiales plásticos reciclados procedentes de la fracción de rechazo de los vertederos	303
5.8. PANTALLAS ACÚSTICAS VEGETALIZABLES	305
6 SISTEMAS DE CONTENCIÓN: DISTANCIA A OBSTÁCULOS	311
6.1 SELECCIÓN DE NIVEL DE CONTENCIÓN	314
6.2 SELECCIÓN DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD	315
6.3 SELECCIÓN DE LA CLASE DE ANCHURA DE TRABAJO	315
6.4. DISPOSICIÓN TRANSVERSAL.....	316
6.5 EMPLEO DE ATENUADORES DE IMPACTO	317
6.6. EMPLEO DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS CON PANTALLA ACÚSTICA INTEGRADA	317
7 FASE DE EJECUCIÓN	319
7.1. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS BÁSICOS DE PROYECTO	320
7.2. CONDICIONES DE INSTALACIÓN: VERIFICACIÓN DEL CORRECTO MONTAJE DE PANTALLAS ACÚSTICAS.....	323
7.3. ENSAYOS DE RECEPCIÓN	325
7.3.1. Ensayos acústicos asociados a las características intrínsecas en los dispositivos reductores de ruido	325
7.3.2. Ensayos asociados a las características extrínsecas en los dispositivos reductores de ruido	327
7.3.3. Mecánicos: ensayo de resistencia a cargas	331
8 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS	333
9 ANEXOS	339
ANEXO I: BÚSQUEDA DE LABORATORIOS NOTIFICADOS	340
ANEXO II: EJEMPLO DE DECLARACION DE PRESTACIONES (DOP) PARA PANTALLAS ACÚSTICAS Y OTROS DRR	342
ANEXO III: EJEMPLO DE MARCADO CE	348
ANEXO IV: CAMPO DIFUSO Y CAMPO DIRECTO.....	350

1

**Introducción y
objeto del
documento**

1.1. Introducción

A lo largo de los últimos años la evolución tecnológica experimentada en las últimas décadas ha permitido un incremento en la calidad de vida de los ciudadanos, pero ha traído la proliferación de industrias, el aumento del parque automovilístico tanto público como privado, incrementándose considerablemente la contaminación ambiental, y en entre otras, a la contaminación acústica.

El ruido es un sonido no deseado, molesto y dañino, y se ha convertido en uno de los agentes contaminantes más complejos de evaluar y controlar, convirtiéndose en un problema de salud muy importante, tanto por su acción directa sobre los sistemas auditivo y nervioso, como por sus componentes físicos. Más del 30 % de la población europea vive en zonas en las que el tráfico supera el límite de ruido de 55 dB establecido por la OMS, un problema, el de la contaminación acústica, que no hará sino aumentar cada año.

Normalmente, el tráfico rodado suele ser la principal fuente de contaminación acústica, seguido por las zonas industriales y los desarrollos urbanísticos, los cuales suponen un aumento del caudal de vehículos circulante por las infraestructuras viarias y contribuyen al problema de la contaminación acústica creando nuevos puntos y fuentes de ruido que disminuyen la calidad ambiental.

Como consecuencia de este creciente tipo de contaminación, se ha ido desarrollando un cuerpo normativo bastante extenso cuya principal finalidad es la lucha contra la contaminación acústica.

Los textos reglamentarios y normativos regulan estas molestias. Más concretamente en lo que se refiere al ruido del transporte terrestre, la Ley del Ruido, teniendo como objeto la protección de las personas, clasifica a los edificios como receptores acústicos, limitando los niveles máximos de inmisión (VLI) de ruido en el exterior de las edificaciones limítrofes de obras de infraestructuras nuevas o de infraestructuras existentes, siguiendo un enfoque y objetivos a los que se refieren en los textos legislativos desarrollados en el apartado 3 de este documento.

Aunque se pueden contemplar varios métodos de reducción del ruido (reducción del ruido a nivel de los vehículos, implantación de asfalto poroso, protección mediante pantallas acústicas, mejora del aislamiento de las ventanas en la fachada de los edificios), la normativa favorece el tratamiento en origen mediante el aislamiento acústico con protecciones de tipo pantalla. Estas actuaciones en origen tienen una eficacia más global que las actuaciones locales a nivel de la edificación, asegurando también la protección de los espacios exteriores y la protección de los edificios con las ventanas abiertas.

En España, se han diseñado muchas protecciones acústicas desde la década de 1970 y, actualmente, se han incrementado esas cifras como consecuencia de los planes de acción establecidos por los mapas de ruido de las principales infraestructuras, instalándose hoy en día alrededor de 100 000 m² de nuevas pantallas acústicas cada año en nuestro país. La construcción de estas estructuras se rige, a nivel europeo, por normas que especifican los métodos para determinar las prestaciones (acústicas y no acústicas) de los dispositivos de reducción de ruido y por el marcado CE (en el caso de infraestructuras viarias). Estos estándares han evolucionado mucho en los últimos años; por ejemplo, para las medidas de absorción y aislamiento acústico *in situ*, con motivo de la llegada del nuevo método europeo descrito por las normas UNE EN 1793-5 y 1793-6.

En este contexto, los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares (PPTP) de los proyectos se han de actualizar paulatinamente, aunque en ocasiones carecen de consistencia y suele haber contradicciones entre el PPTP y otros documentos del proyecto. Existe así un riesgo de confusión en el diálogo entre los distintos interlocutores de un proyecto y un posible malentendido sobre los métodos a utilizar y los correspondientes niveles de rendimiento a los que aspirar.

1.2. Objeto del documento

La Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible ha promovido la redacción de este documento debido a la necesidad de dar un marco de actuación en los proyectos y obras de dispositivos reductores de ruido de tráfico en la Red de Carreteras del Estado que sirva tanto a las administraciones públicas como a consultores, proyectistas, contratistas, fabricantes e instaladores.

Esta necesidad surge de las razones que se exponen a continuación:

- Para clarificar la situación actual, en la que la Dirección de Obras tiene dificultades para implantar un plan de control efectivo. La confusión se justifica en parte por el hecho de que las pantallas acústicas implican el uso de una amplia gama de materiales (acero, madera, hormigón, metacrilato, PVC, etc.) y distintas soluciones, lo que requiere una experiencia profunda en varios sectores. Este documento es el resultado de un análisis en profundidad y compartido entre los operadores más cualificados del sector, ha contado con la contribución de especialistas de todo tipo de productos considerados y sin duda es útil para arrojar luz sobre las obligaciones contractuales del fabricante, instalador y contratista, así como sobre las actividades de supervisión y control para la dirección de las obras.
- Alentar el desarrollo de un mercado competitivo y justo teniendo en cuenta el importante impacto que el plan de control y la calidad tiene, tanto en desde el punto de vista económico como de plazos, en el desarrollo de las obras. Un plan de control y unos requisitos mínimos para garantizar la calidad implican asumir unos costes que redundan en la calidad de las obras, dando una ventaja competitiva a las compañías ya estructuradas para el tipo de productos en cuestión y eliminando, por otro lado, las barreras de entrada para los nuevos operadores que, gracias al presente documento, pueden integrar el plan de control y la garantía de calidad en su estructura de costes.
- Aumentar la calidad garantizada y certificada de los componentes y del sistema de pantallas acústicas promoviendo un sistema de control efectivo que garantice la conformidad del producto.

El objeto de esta guía es realizar un inventario de todas las normas aplicables y las medidas a tomar para su correcta aplicación. Está construido por distintas secciones que abordan las principales fases de la vida de un proyecto de protección contra el ruido, empezando por el análisis de la necesidad del proyecto, pasando por la propia fase de proyecto, la fase de ejecución, el ensayo y recepción de las obras y finalmente la fase de mantenimiento y operación.

El propósito de esta guía es ayudar a los actores que forman parte de la vida de un proyecto de apantallamiento acústico en obras de carreteras, a definir y obtener el

rendimiento o mejora acústica deseada. Es deliberadamente no exhaustivo y no cubre ciertas áreas como el medio ambiente, la seguridad, etc.

En la siguiente figura, se muestra el flujo de trabajo a seguir para la instalación de pantallas acústicas, tanto en carreteras existentes como en carreteras de nueva ejecución. Una vez realizados los análisis previos pertinentes, como pueden ser los estudios de impacto ambiental o los mapas estratégicos de ruido, atendiendo a la normativa, se puede realizar el correspondiente estudio del ruido.

Una vez elaborado dicho estudio, se podrá redactar el proyecto, adecuándolo a las necesidades y requisitos detectados, para la posterior ejecución de la obra. Finalmente, se verificará que la solución adoptada satisface los requisitos iniciales.

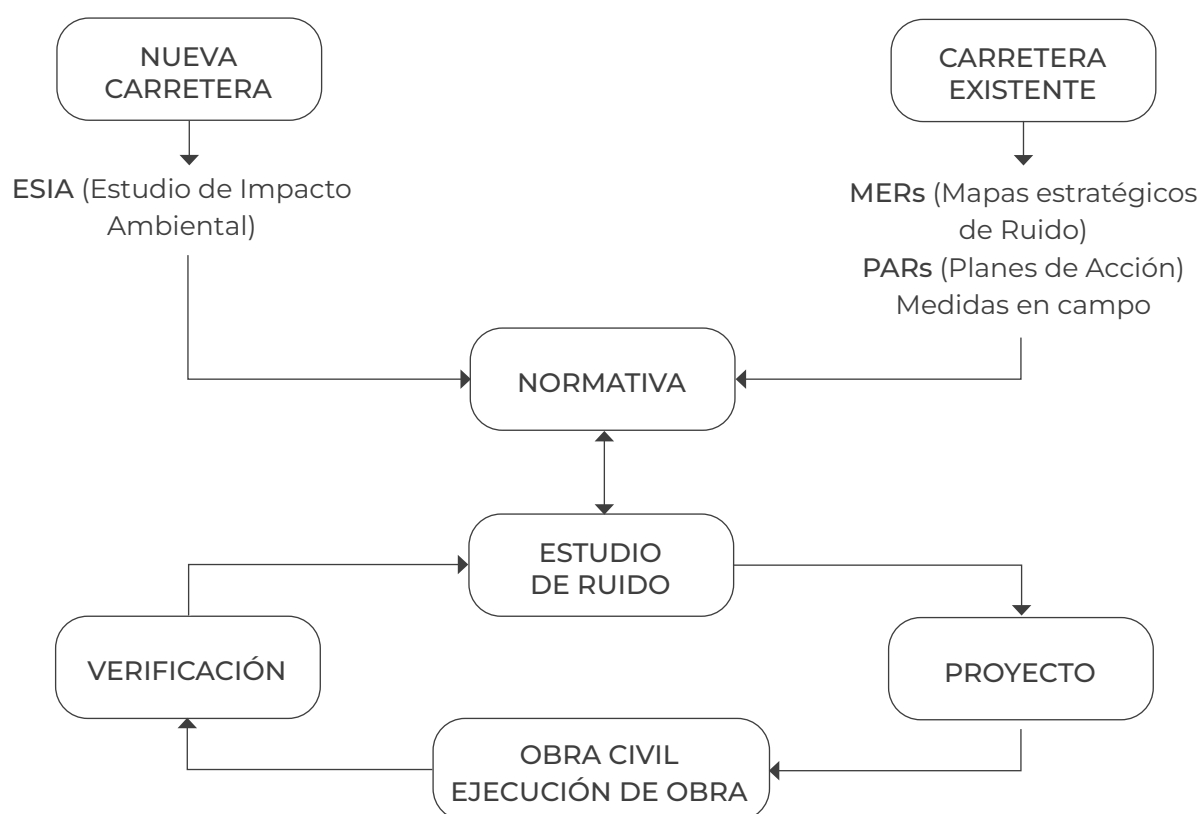


Figura 1: Flujo de trabajo para la instalación de pantallas acústicas.

Por lo tanto, esta guía está destinada principalmente a los propietarios de los proyectos, pero proporciona información valiosa para todos los involucrados en el acto de construir: direcciones de obra, consultores, proyectistas, contratistas, fabricantes, instaladores, etc.



2

Ruido ambiental

2.1. Propagación del sonido

La diferencia entre los términos “sonido” y “ruido” es subjetiva, pero, en términos generales, el ruido puede definirse como un sonido no deseado.

El ruido se mide en decibelios (dB) en una escala logarítmica. Por lo tanto, la suma aritmética no es aplicable. Si una determinada fuente sonora emite un ruido de 55 dB, dos fuentes, que emiten al mismo nivel, no emiten un ruido de 110 dB, sino de 58 dB.

El sonido puede ocurrir en una amplia gama de frecuencias, desde retumbos de baja frecuencia hasta chirridos de alta frecuencia. Los niveles de sonido medidos incluyen todas las frecuencias, pero como nuestro oído es menos sensible a las frecuencias más bajas, los niveles medidos se ajustan para corresponder al oído humano. Este ajuste se denomina “ponderación A” y se identifica con la letra A. El ruido de la carretera se mide pues utilizando una escala ponderada (ponderación A) para indicar la respuesta del oído humano al rango de frecuencia involucrado. Las unidades se indican como dBA. Un aumento de 3 dBA equivale a duplicar el nivel de energía del sonido, por el contrario, una reducción de 3 dBA equivale a duplicar la distancia desde la fuente del ruido). Sin embargo, hay que tener en cuenta que un aumento de 3 dBA apenas es perceptible para el oído humano. Como regla general, un aumento de 10 dBA corresponde aproximadamente a una duplicación del volumen percibido (por ejemplo, 60 dBA suena el doble de fuerte que 50 dBA).

Es útil considerar la propagación del sonido como una serie de rayos que emanan de la fuente del sonido (aunque en realidad el sonido viaja en forma de ondas). Así, el sonido llegará al oyente directamente (en línea recta) o indirectamente por reflexión o difracción.

Al introducir una pantalla acústica entre la fuente de ruido y el receptor, la cantidad de sonido que llega al receptor puede reducirse significativamente.

Para una carretera sin ningún tipo de protección frente al ruido, la ruta de transmisión de sonido más directa es el camino que viaja directamente entre la carretera y el receptor, conocido como sonido directo $L_{p, \text{dir}}$. Otra aportación que llegará al receptor vendrá dada por las reflexiones sobre otros paramentos como el suelo, $L_{p, \text{grd}}$.

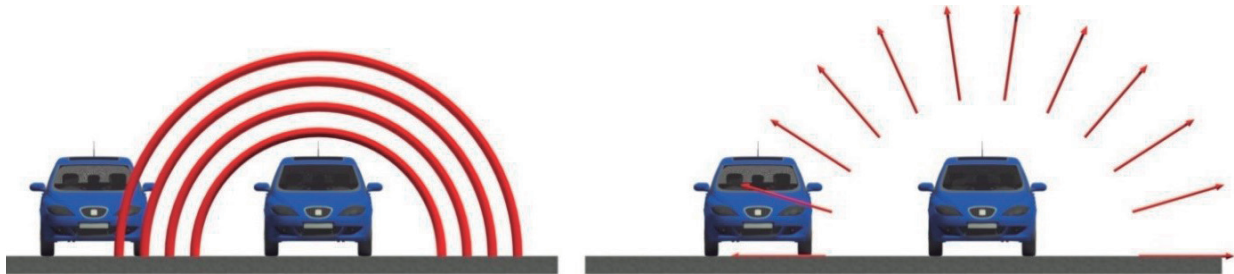


Figura 2: Propagación del sonido: propagación esférica del sonido (izda.) y modelo radial (dcha.).

Para este modelo simplificado, existe un grado de interferencia entre estas dos vías de propagación que da como resultado una mayor atenuación de $L_{p,dir}$ de lo que cabría esperar solo con la dispersión geométrica. El mecanismo preciso de atenuación no se comprende por completo, pero es mayor cuando la propagación se produce sobre terrenos acústicamente blandos, como pastizales, y donde $L_{p,dir}$ está particularmente cerca del suelo.

Esta atenuación por la reflexión en el suelo depende de la frecuencia y se ha demostrado que la interferencia destructiva ocurre predominantemente en un rango de frecuencia centrado en 500 kHz, tal como se muestra en la siguiente figura.

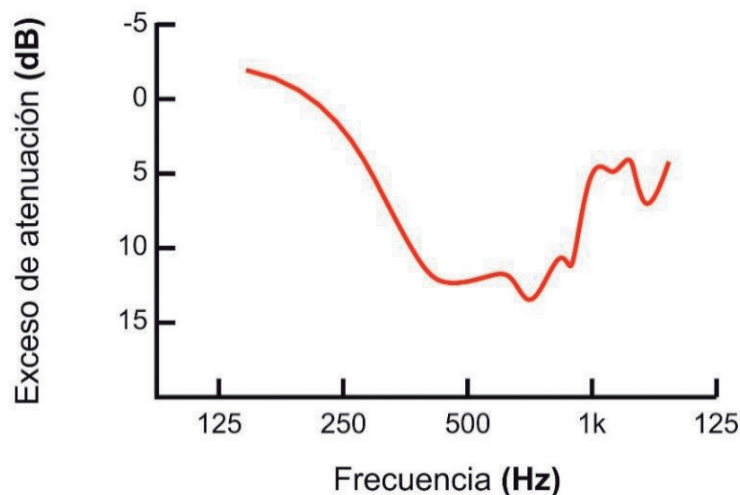


Figura 3: Relación entre el exceso de atenuación y la frecuencia.

La instalación de una pantalla acústica puede reducir en gran medida el nivel de presión propagado por vía directa, aunque la mayoría de las pantallas continuará siendo un camino de transmisión potencial, el ruido propagado a través de la pantalla seguirá un camino de transmisión previamente atenuado, $L_{p,trans}$.

El camino importante, por tanto, será aquel que se difracta hacia abajo desde el borde superior de la pantalla, $L_{p, \text{diff}}$. Cuando una pantalla acústica está correctamente dimensionada y construida, el ruido que atraviesa la pantalla (ruido transmitido a través de la pantalla), es despreciable frente al ruido que sobrepasa la pantalla por el borde superior y se difracta. La presencia de la pantalla también elimina el $L_{p, \text{grd}}$ como una ruta de transmisión de sonido importante.

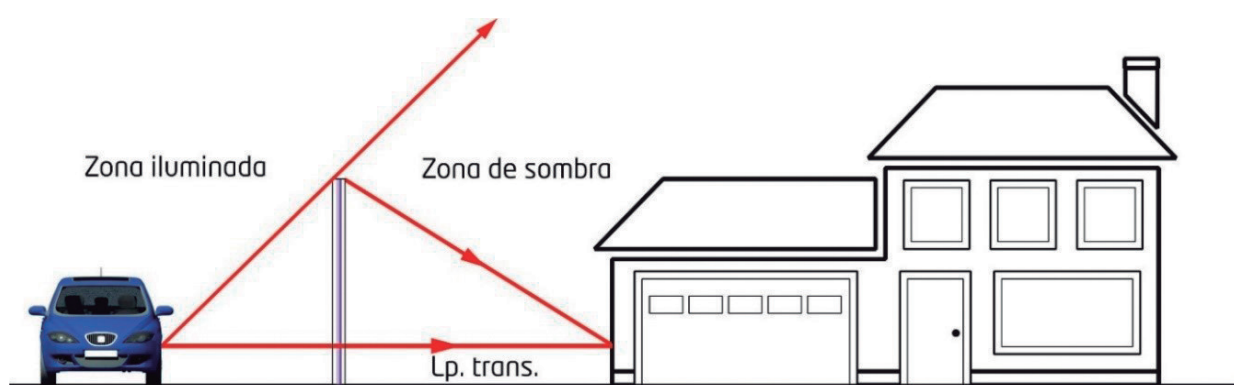


Figura 4: Propagación del sonido ante la presencia de una pantalla acústica.

Una pantalla acústica se compone de los elementos que constituyen la estructura portante (postes o perfiles soporte) y de los elementos acústicos o paneles modulares que constituyen la pared o barrera, intercalados en la estructura portante y cuyas dimensiones suelen estandarizarse en función del material constituyente de la pantalla acústica.

Las pantallas acústicas permiten atenuar la inmisión sonora en los receptores, generada por una determinada fuente, mediante la creación de una zona de sombra acústica debida a la difracción sonora en los bordes de la pantalla.

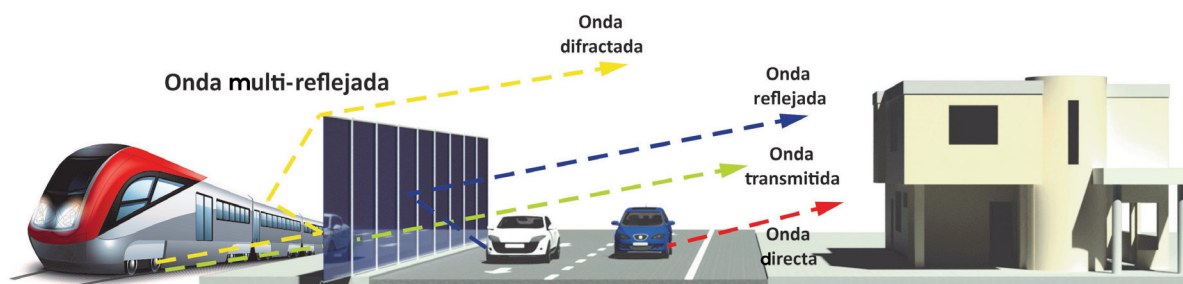


Figura 5: Interacción de las ondas sonoras con los elementos del entorno.

El sonido emitido por una fuente F, 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 (ver figura 6).

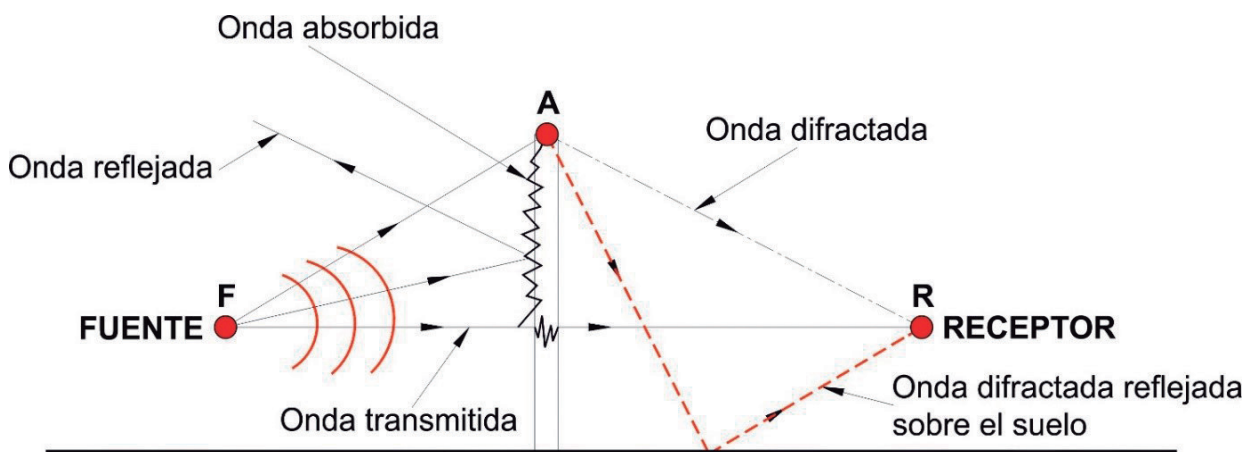


Figura 6: Principio de funcionamiento de una pantalla acústica.

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.

Un ejemplo visual del fenómeno de la propagación del sonido se puede ver en la imagen inferior. En ella el dique se podría asimilar a una pantalla acústica y las olas serían las ondas de sonido.

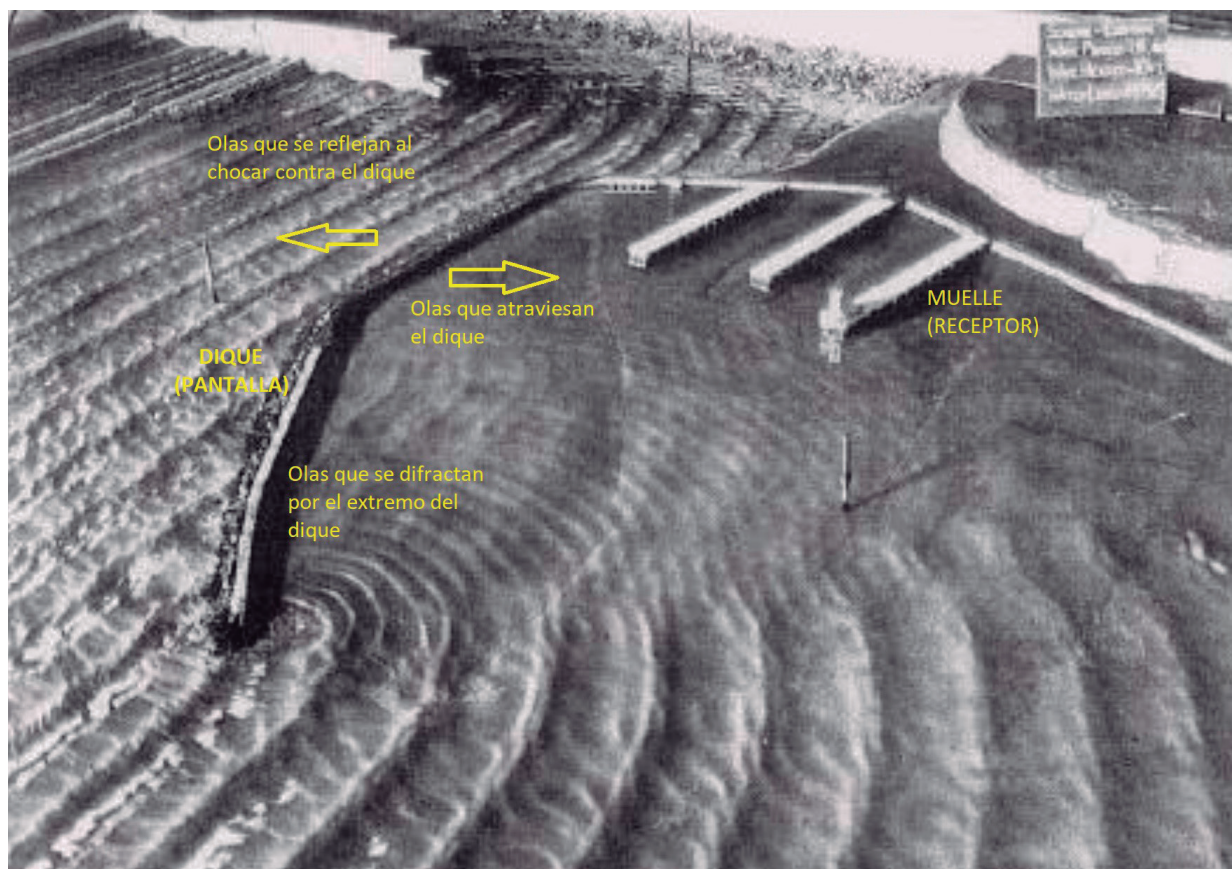


Figura 7: Vista del comportamiento del oleaje al llegar a un dique, el cual es semejante al de las ondas de sonido frente a una pantalla acústica.

2.2. Conceptos de aislamiento, absorción y difracción

2.2.1. Eficacia de las pantallas acústicas

La eficacia acústica de una pantalla instalada en una infraestructura de transporte para un determinado receptor es la atenuación sonora que dicha pantalla 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, 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 implantación.

Esta eficacia de una pantalla está asociada al propio fenómeno de interponer un objeto entre la fuente de ruido y un receptor. Estos fenómenos son producidos por:

- Parte de la energía de la onda acústica se refleja en la superficie de la pantalla.
- Parte de la energía no reflejada se transforma en calor al ser absorbida por la pantalla.
- Parte de la energía no reflejada se transmite a través de la pantalla.
- Parte de la energía se difracta por los bordes superior y lateral de la pantalla.

La zona protegida acústicamente por una pantalla se denomina zona de sombra, y la atenuación que proporciona, denominada pérdida por inserción (IL), del inglés *Insertion Loss*, es la disminución del nivel de presión sonora en el punto o zona considerada por la interposición de la pantalla, respecto al nivel existente antes de su instalación, siendo sus valores habitualmente positivos para la emisión de ruido aleatorio.

Por tanto, la eficacia de una pantalla acústica se evaluará de dos maneras. Por una parte, a partir de ensayos intrínsecos asociados al comportamiento de la pantalla en lo relacionado al aislamiento, absorción y difracción (este último sólo para el caso en que la pantalla acústica cuente con un difractor en coronación). Por otra parte, del análisis de la diferencia del nivel de presión sonora antes y después de la instalación de la pantalla en puntos de control tal como se describe en el apartado 7 de este documento.

2.2.2. Prestaciones acústicas

La tipología de las pantallas acústicas, que determina sus prestaciones acústicas, se puede establecer en base a diferentes criterios, ya sea por:

- Sus materiales constituyentes.
- Su forma y configuración: planas, volumétricas, verticales, inclinadas, curvadas, etc.
- Su transparencia: opacas, translúcidas, transparentes (transparencia estática o dinámica).

Pero son sus prestaciones acústicas en relación con su capacidad de absorción de las ondas sonoras, las que determinan la clasificación más importante en relación con el diseño y proyecto de este tipo de dispositivo reductor de ruido (DRR). Por tanto, las pantallas acústicas pueden ser:

- **Pantallas reflectantes:** son pantallas con un índice de absorción DL_{α} o de reflexión DL_{RI} muy bajo.
- **Pantallas absorbentes:** son pantallas con un índice DL_{α} o DL_{RI} considerable. Es evidente que una pantalla será tanto más absorbente cuanto mayor sea el valor de su índice DL_{α} o DL_{RI} .

2.2.3. Absorción acústica

Los índices mencionados se obtienen mediante ensayos según la normativa comunitaria UNE-EN que resulte de aplicación.

- DL_{α} es el índice de absorción definido para aplicaciones en campo difuso (UNE- EN 1793-1).
- DL_{RI} es el índice de absorción (reflexión) definido para aplicaciones de campo directo (UNE-EN 1793-5).

2.2.4. Aislamiento acústico a ruido aéreo

El aislamiento acústico de una pantalla acústica o DRR es la capacidad que tiene de impedir, en mayor o menor medida, el paso del sonido a su través. Los materiales a emplear para la construcción de una pantalla acústica, deberán presentar, en cualquier caso, una capacidad mínima de aislamiento acústico, en función de la eficacia requerida.

La capacidad de aislamiento acústico de las pantallas acústicas y demás DRR para infraestructuras de transporte, se mide mediante unos índices definidos en las normas UNE-EN:

- DL_R es el índice de aislamiento definido para aplicaciones en campo difuso (UNE-EN 1793-2)
- $DL_{SI, EL}$ y $DL_{SI, P}$ son los índices de aislamiento definidos para aplicaciones de campo directo (UNE-EN 1793-6).

2.2.5. Campo difuso y campo directo

Para definir estos dos conceptos es necesario conocer qué es el campo sonoro. Este se define como el nivel de presión sonora en cada punto de un espacio. Un campo sonoro está compuesto por el campo directo y el campo difuso o reverberante.

Las pantallas acústicas a colocar en las carreteras estarán en condiciones de campo directo cuando el sonido sea percibido por el receptor directamente desde la fuente sin ser reflejado por ninguna superficie.

Por otro lado, las pantallas acústicas a colocar en las carreteras estarán en condiciones de campo difuso o reverberante o cuando el sonido se percibe tras sufrir múltiples reflexiones que se superponen entre sí, dando lugar a que el sonido se refleje produciéndose el fenómeno de reverberación.

En la figura 8, se ilustra un ejemplo sencillo de campo difuso o reverberante.

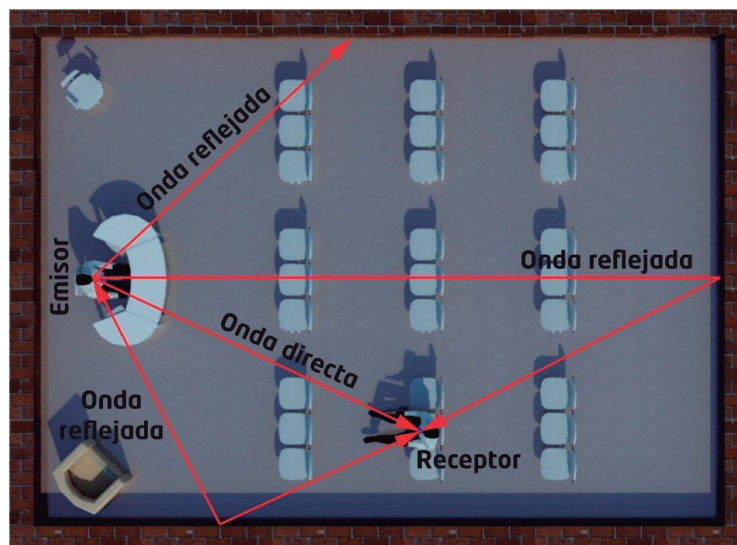


Figura 8: Ejemplo de un campo difuso o reverberante en el aula de una escuela: ondas directas y ondas reflejadas.

Para determinar si en un punto determinado, una pantalla acústica trabaja bajo condiciones libres (campo directo) o reverberantes (campo difuso) se debe aplicar una relación de distancias en un corte transversal de la configuración a ejecutar (ver figura 9).

Las condiciones de reverberación o campo difuso se definen en base a la geometría del contorno, e , donde $e = (W + H1 + H2)$, a lo largo de una carretera formada por

barreras, trincheras o edificios (el contorno no incluye la superficie de la vía), tal y como se muestra en la figura 9. Se debe determinar las dimensiones libres (w) de la sección transversal de la configuración y las dimensiones cubiertas por los DRR, (suma de h_i). Las condiciones se consideran reverberantes o de campo difuso cuando el porcentaje de espacio abierto en el contorno es menor o igual al 25 %, es decir, existen condiciones de reverberación cuando $w/e \leq 0,25$.

En la mayoría de las circunstancias los dispositivos reductores de ruido trabajan en condiciones de campo directo. Las pantallas acústicas podrían llegar a trabajar en condiciones de campo difuso, sólo cuando se instalan a ambos lados de carreteras estrechas y las pantallas son de elevada altura o bien se encuentran situadas en el borde superior de trincheras profundas.

Otras circunstancias en que los DRR suelen trabajar en condiciones de campo difuso son en bocas de túneles, trincheras y cubiertas totales o parciales de la vía, por lo que se aplican en general a los revestimientos absorbentes.

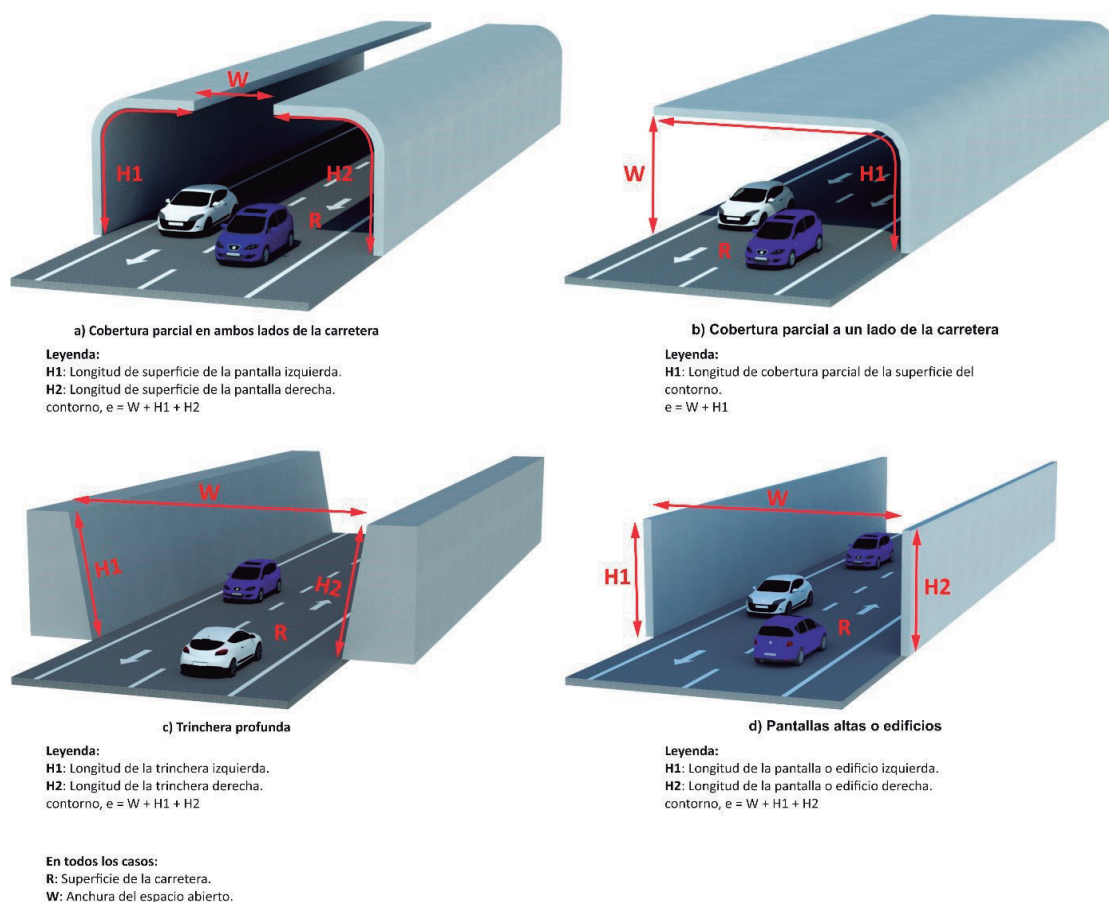


Figura 9: Ejemplo de disposición de pantallas acústicas respecto de la carretera.

3

**Legislación en
materia de ruido**

3.1. Ley del ruido y desarrollo reglamentario

El marco legislativo estatal en materia de contaminación acústica de aplicación para los proyectos de apantallamiento, es el indicado a continuación:

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, y su desarrollo reglamentario.
- 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.
- 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.
- Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el 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.
- Orden PCI/1319/2018, de 7 de diciembre, por la que se modifica el anexo II 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 del ruido ambiental.
- **Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.**

La Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, que transpone a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva 2002/49/CE de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, tiene como objetivo básico la prevención, vigilancia y reducción de la contaminación acústica ambiental producida por emisores acústicos de cualquier índole, todo ello a fin de evitar daños para la salud, los bienes y el medio ambiente.

Esta ley 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 las 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 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”.

Uno de los aspectos destacables de esta ley es el relativo a las atribuciones competenciales en relación a los siguientes aspectos:

- 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 suspensión provisional de los objetivos de calidad acústica aplicables en un área acústica.
- d. 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.
- e. La ejecución de las medidas previstas en el plan.
- f. La declaración de un área acústica como zona de protección acústica especial, así como la elaboración, aprobación y ejecución del correspondiente plan zonal específico.
- g. La declaración de un área acústica como zona de situación acústica especial, así como la adopción y ejecución de las correspondientes medidas correctoras específicas.
- h. La delimitación de las zonas tranquilas en aglomeraciones y zonas tranquilas en campo abierto.

En relación con las infraestructuras viarias de competencia estatal, la competencia para la realización de las actividades enumeradas en el apartado anterior, corresponderá a la Administración General del Estado.

En los restantes casos, se seguirán las directrices que disponga la legislación autonómica y 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.

- **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 tiene por objeto desarrollar la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

En este sentido, esta normativa desarrolla la metodología para la evaluación acústica por medio de mapas estratégicos de ruido y planes de acción y sobre el contenido de los resultados que se deriven de su aplicación para su remisión a la Comisión Europea en el marco de lo que especifica la Directiva 2002/49/CE.

Asimismo, incorpora un calendario de entrega de la documentación sobre los mapas estratégicos de ruido y los planes de acción por parte de los gestores de los focos, en base a las distribuciones competenciales fijadas por la Ley 37/2003.

- **Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.**

Este real decreto tiene por objeto establecer las normas necesarias para el desarrollo y ejecución de la Ley 37/ 2003 en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, principalmente en lo referente a:

- a. La zonificación acústica que tiene por objeto establecer una relación entre los usos del suelo definidos en el planeamiento y la sensibilidad al ruido asociada. Como consecuencia de la zonificación acústica quedan establecidos los objetivos de calidad acústica a cumplir en cada parcela del municipio, tanto en la actualidad como en los futuros desarrollos de infraestructuras o urbanos.
- b. Los objetivos de calidad acústica, que son los niveles de ruido que se deben cumplir en cada zona del municipio, en función de la zonificación establecida. Cabe destacar que se regula el valor medio anual de ruido considerando tres periodos diferenciados del día.
- c. Los límites a las emisiones acústicas, niveles de ruido por debajo de los cuales debe quedar el impacto de nuevas infraestructuras y focos de ruido de actividades.
- d. Los criterios en base a los cuales se identifican los impactos generados por la contaminación acústica, incluyendo la metodología de evaluación de los niveles sonoros.

- **Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el 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.**

Como consecuencia de la sentencia del Tribunal Supremo, Sección Quinta de la Sala Tercera, de lo Contencioso-Administrativo, de 20 de julio de 2010, donde se estimó parcialmente un recurso contra el Real Decreto 1367/2007, se modifica anulando la expresión «Sin determinar» que figuraba en las áreas acústicas dedicada a los «Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen», solventándose la situación de indeterminación, estableciendo que en el límite perimetral de estos sectores del territorio no se superarán los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas acústicas colindantes con ellos.

- **Orden PCI/1319/2018, de 7 de diciembre, por la que se modifica el anexo II 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 del ruido ambiental.**

En julio de 2015 se publicó en el Diario Oficial de la Unión Europea la Directiva 2015/996 de la Comisión, de 19 de mayo de 2015, por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Mediante esta nueva Directiva se sustituye el anexo II de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002.

Con el objetivo de dar cumplimiento a las obligaciones de España como Estado miembro, se aprueba la presente orden, mediante la cual se transpone al ordenamiento jurídico español la Directiva (UE) 2015/996 y sustituyendo el anexo II del Real Decreto 1513/2005, los métodos de cálculo hasta el momento para la evaluación del ruido del tráfico rodado, por una metodología común de cálculo desarrollada por la Comisión Europea a través del proyecto «Métodos comunes de evaluación del ruido en Europa (CNOSSOS-EU)». Es por tanto el método Cnossos-Eu, el de aplicación para los cálculos acústicos de los proyectos de apantallamiento de infraestructuras viarias desde la fecha de aplicación de la citada Orden.

3.2. Legislación autonómica y local

En la legislación relacionada en el apartado anterior, se especifican las competencias de las diferentes administraciones públicas en relación con las distintas obligaciones que en la ley se imponen.

Mientras corresponde al Estado una ordenación mediante mínimos que han de respetarse en todo caso, la legislación en materia de ruido permite que cada una de las comunidades autónomas establezcan niveles de protección más elevados, pero no disminuirlos.

Igualmente, sin perjuicio de la competencia de las comunidades autónomas para desarrollar la legislación básica estatal en materia de medio ambiente, la ley 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.

El papel del ayuntamiento en lo que a la gestión del ruido se refiere es clave, debido, no sólo porque la legislación sobre ruido traslada gran parte de las competencias a las administraciones locales, sino por ser la administración que gestiona los usos del suelo y se encuentra en contacto directo con la ciudadanía. Por este motivo, es necesario que sean los ayuntamientos quienes, además de responder a los nuevos requisitos legales, tomen la iniciativa de acometer el proceso de gestión del ruido desarrollando diagnósticos y planes, coordinando su actuación con la de otros agentes que gestionen fuentes sonoras que impacten en su territorio, desarrollando labor preventiva en nuevos desarrollos, preservando las zonas tranquilas y, en definitiva, respondiendo a la contaminación acústica desde una perspectiva global que les permita definir las prioridades de actuación con criterios razonados.

En lo relativo a las infraestructuras viarias de competencia autonómica o local, las comunidades autónomas determinarán los plazos y condiciones de aplicación de los objetivos de calidad acústica establecidos para las infraestructuras preexistentes y los valores límite de inmisión establecidos, para las nuevas.

Por lo tanto, a la hora de redactar los proyectos, será necesario analizar las exigencias establecidas en materia de ruido a nivel estatal, autonómico y municipal, aplicando, en todo caso, los límites más restrictivos.

3.3. Niveles máximos de ruido generados por la infraestructura

Los proyectos de apantallamiento acústico de carreteras tienen por objeto garantizar el cumplimiento de los valores límite establecidos por la legislación.

Es en el Real Decreto 1367/2007 donde se definen los índices de ruido y de vibraciones, sus aplicaciones, y molestias sobre la población, se delimitan los distintos tipos de áreas y servidumbres acústicas, se establecen los objetivos de calidad acústica estatales para cada área, 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.

De cara al cumplimiento de los niveles máximos de ruido, se definen en primer lugar en el capítulo II 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. 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.

Asimismo, es en el capítulo III donde 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. Fijándose en el anexo II los valores de los índices acústicos que no deben superarse para el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en áreas urbanizadas existentes, concretamente en la tabla A.

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 aquellos, y el Gobierno deberá establecer reglamentariamente los criterios a emplear en su delimitación.

En relación con las áreas acústicas, cabe 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 establecerán 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.

Por último, en el capítulo IV donde se fijan en el anexo III los valores límite de inmisión de ruido aplicable a las infraestructuras nuevas viarias, concretamente en la tabla A1.

3.3.1. Infraestructura existente

Tendrán la consideración de actividades existentes aquéllas que hayan iniciado la tramitación de las siguientes actuaciones de intervención con anterioridad a la entrada en vigor del Real Decreto 1367/2007.

- 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 intervención administrativa en la actividad de los ciudadanos que establezcan las administraciones competentes sobre actividades clasificadas como molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.
- d. Aquellas de competencia de la Administración General del Estado, cuya tramitación de la declaración de impacto ambiental se haya iniciado con anterioridad a la entrada en vigor del 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.

El resto de las infraestructuras tendrán la consideración de nuevas.

Para las áreas urbanizadas existentes se establece como objetivo de calidad acústica para ruido generado por la carretera 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 (reproducida en la tabla 1 de este documento), su objetivo de calidad acústica será alcanzar dicho valor.
- 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.

Los objetivos de calidad acústica aplicables a las áreas acústicas están referenciados a una altura de 4 m.

Tabla 1: Objetivos de calidad acústica aplicables a áreas urbanizadas existentes.

Tipo de área acústica		Índice 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⁾	(2)	(2)	(2)

Fuente: Tabla A del anexo II del Real Decreto 1367/2007.

⁽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.

⁽²⁾ En el límite perimetral de estos sectores del territorio no se superarán los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas acústicas colindantes con ellos.

Para las áreas urbanizadas que no sean existentes antes de la entrada en vigor del Real Decreto 1367/2007, se establecerá como objetivo de calidad acústica para el

ruido la no superación del valor que le sea de aplicación a la tabla A del anexo II, disminuido en 5 decibelios.

Igualmente, será necesario garantizar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el espacio interior habitable, valores que tienen la consideración de valores límite. En este caso se establece como objetivo de calidad acústica para el ruido y para las vibraciones, la no superación de valores de los índices de inmisión de ruido y de vibraciones establecidos, respectivamente, en las tablas B y C, del anexo II.

Los objetivos de calidad acústica aplicables en el interior están referenciados a una altura de entre 1,2 y 1,5 m.

Tabla 2: Objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior habitable.

Uso del edificio	Tipo de recinto	Índice 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

Fuente: Tabla B del anexo II del Real Decreto 1367/2007

3.3.2. Infraestructura nueva

Las actividades e infraestructuras nuevas, además de cumplir las exigencias de una infraestructura existente se someterán a los valores límite de inmisión establecidos en la tabla 3.

Tabla 3: Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias

Tipo de área acústica		Índice 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

Fuente: Tabla A1 del anexo III del Real Decreto 1367/2007.

3.4. Mapas estratégicos de ruido y servidumbre acústica

La Directiva 2002/49/CE define mapa estratégico de ruido como “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, un mapa estratégico de ruido es, por lo tanto, un instrumento diseñado para evaluar la exposición al ruido.

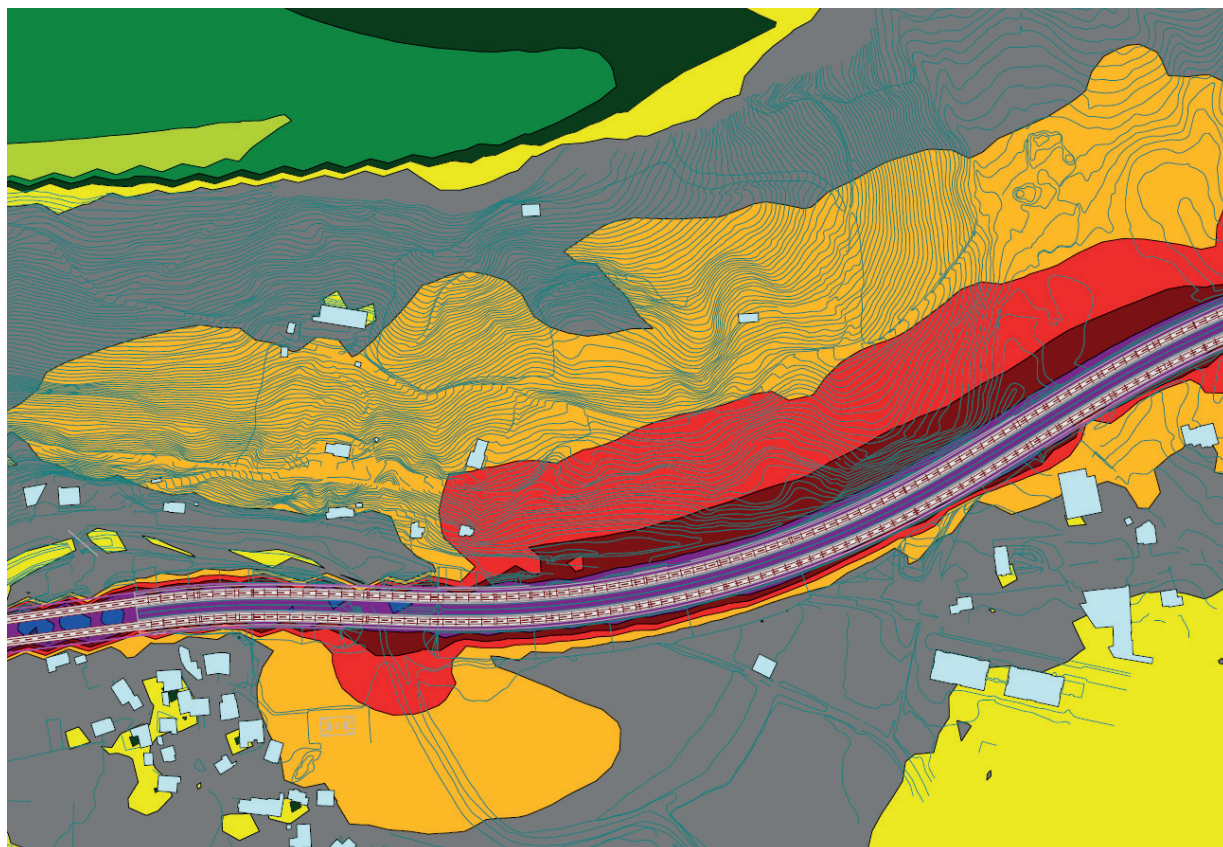
Los mapas estratégicos de ruido son una herramienta que permite disponer de la información de los niveles de contaminación acústica en una zona del territorio debido a múltiples fuentes sonoras, aplicando criterios homogéneos de medición, que permiten hacer comparables entre si las magnitudes de ruido verificadas en cada lugar.

Los resultados son normalmente presentados bajo la forma de líneas isofónicas y/o manchas de diferentes colores, representando las áreas cuyo nivel de ruido se sitúa en una determinada gama de valores, es decir, mapas de ruido.

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 la administración competente. En cada área acústica, deberán respetarse los valores límite que hagan posible el cumplimiento de los correspondientes objetivos de calidad acústica.

La Ley del Ruido establece las competencias de las diferentes administraciones públicas para la aprobación, elaboración y revisión de mapas de ruido de los grandes ejes viarios, además de emplazar a dichas administraciones a que elaboren y ejecuten planes de acción destinados a reducir la contaminación acústica.

Dependiendo de la titularidad de la carretera, los mapas de ruido son elaborados para la Red de Carreteras del Estado por el MITMS y para las redes autonómicas y locales las comunidades autónomas y diputaciones.



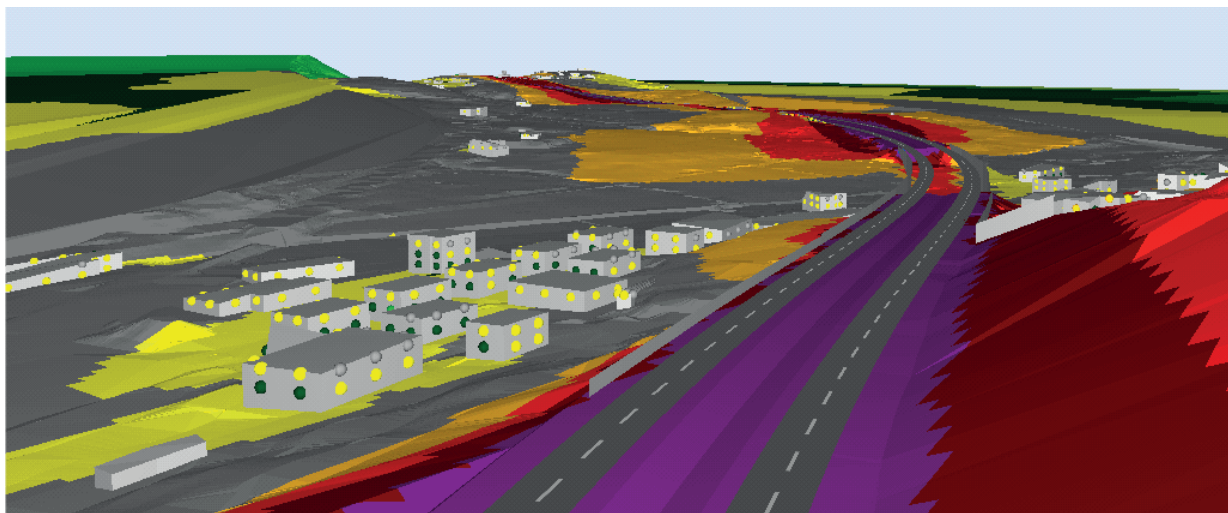


Figura 10: Diversas vistas de la representación gráfica de un mapa de ruido de una infraestructura.

Respecto a la servidumbre acústica, 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.

La Ley del Ruido (Real Decreto 37/2003) define las zonas de servidumbre acústica como los “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 aquellos”.

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.

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 más alejada de la infraestructura, correspondiente al valor límite del área acústica del tipo a) que figura en la tabla A1,

del anexo III, es decir, la envolvente de las isófonas de los periodos día, tarde y noche: $L_{dia} = 60$ dBA; $L_e = 60$ dBA; $L_n = 50$ dBA.

En las zonas gravadas por servidumbres acústicas se deberán respetar las limitaciones que imponga el organismo responsable de las mismas, pudiendo tramitar la modificación de dicha servidumbre de acuerdo con lo previsto en el artículo 11 del Real Decreto 1367/2007.

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.

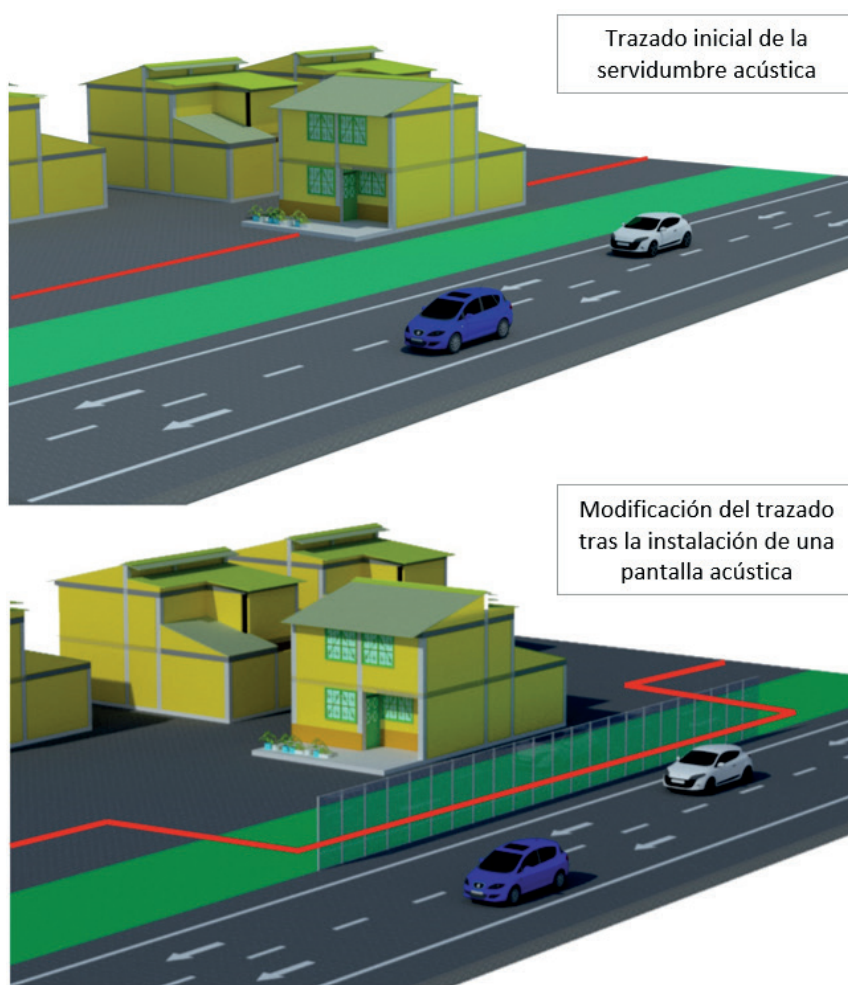


Figura 11: Modificación del trazado de una servidumbre acústica debido a la presencia de una pantalla acústica.

3.5. Planes de acción

La redacción, aprobación y ejecución de los planes de acción está sujeta a la aceptación de los mapas estratégicos de ruido dirigidos a dar solución en el área afectada en materia de ruido y sus efectos en la población. Teniendo en cuenta esto, el Real Decreto 1513 establece los requisitos mínimos que deben considerarse en la elaboración de los planes de acción.

Los planes de acción contendrán, por lo tanto, las medidas específicas que se consideren más adecuadas para la gestión del ruido ambiental, determinando las acciones prioritarias que se deben realizar en caso de superar los valores límite en las zonas asociadas al mapa estratégico de ruido o de aquellos otros criterios que se estimen adecuados. Dentro de lo establecido en el anexo V del Real Decreto 1513 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.
- Algunas medidas que pueden prever las autoridades dentro de sus competencias son, por ejemplo, las siguientes:
 1. Regulación del tráfico.
 2. Ordenación del territorio.
 3. Aplicación de medidas técnicas en las fuentes emisoras.
 4. Selección de fuentes más silenciosas.
 5. Reducción de la transmisión de sonido.
 6. Medidas o incentivos reglamentarios o económicos.
- 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.

Dadas las implicaciones que conlleva la aplicación del Real Decreto, es importante señalar la significativa colaboración entre las distintas administraciones públicas responsables de la elaboración de los mapas estratégicos de ruido, especialmente cuando exista más de un foco de ruido en el mismo espacio, con la finalidad de garantizar la homogeneidad y coherencia de la correcta aplicación de los planes de acción. De igual forma, en los supuestos de concurrencia competencial, por razones de eficacia y eficiencia en la actuación pública, se hará necesaria la estrecha colaboración de las administraciones públicas concurrentes en la elaboración de sus correspondientes planes de acción, para evitar duplicidades innecesarias.

4

**Medidas de
actuación**

4.1. Tipos de actuaciones

4.1.1. Cambios de trazado y soterramientos

Cuando la urbanización de las zonas colindantes de la carretera es posterior a la construcción de la propia carretera, la planificación de dicha urbanización en sus proximidades debe hacerse de forma que la población quede lo más aislada posible de la fuente sonora. Para ello, la primera consideración a tener en cuenta es el estudio geométrico de los edificios y su disposición geográfica, colocando los destinados a actividades menos sensibles al ruido como barrera sonora de los otros y distribuyendo dormitorios y salas de estar en el lado opuesto al origen de la contaminación acústica (figura 12).

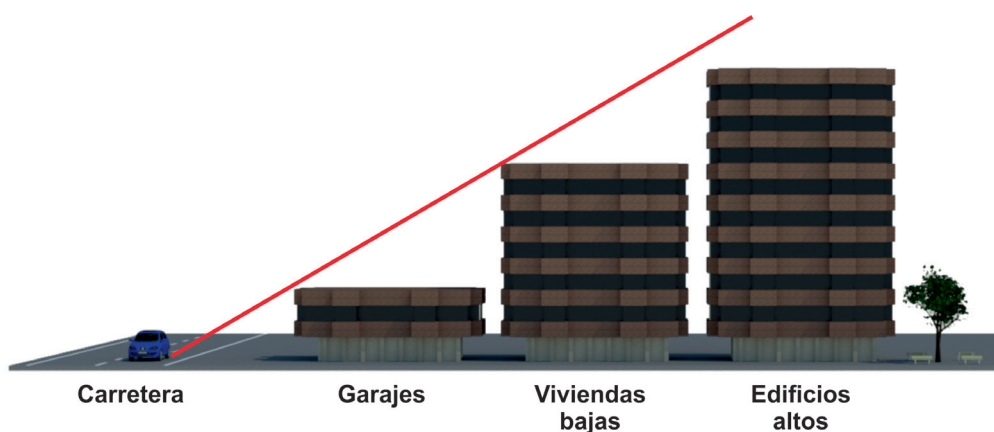


Figura 12: Disposición adecuada de los edificios cercanos a una carretera.

Cuando la carretera se construye con posterioridad, y por lo tanto sobre zonas ya urbanizadas, se puede recurrir al uso de variantes de trazado para evitar pasar el tráfico viario por el interior de las poblaciones, si esto no fuese viable otra opción puede ser recurrir al uso de soterramientos totales o parciales:



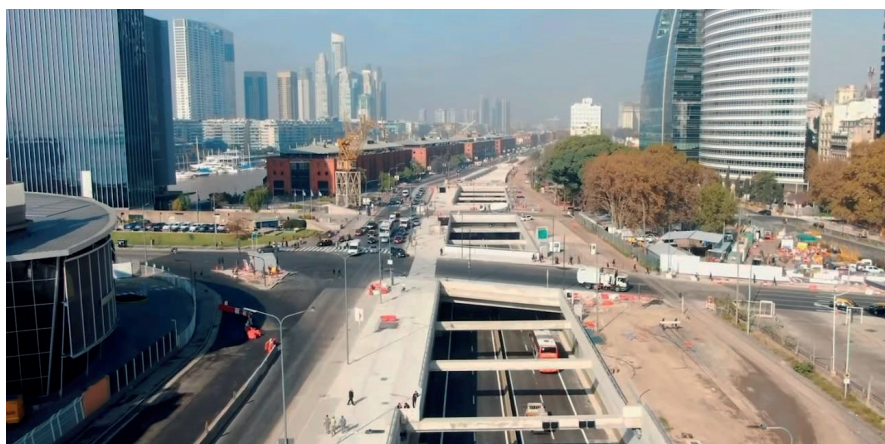


Figura 13: Vista de una carretera soterrada a su paso por una zona urbana.

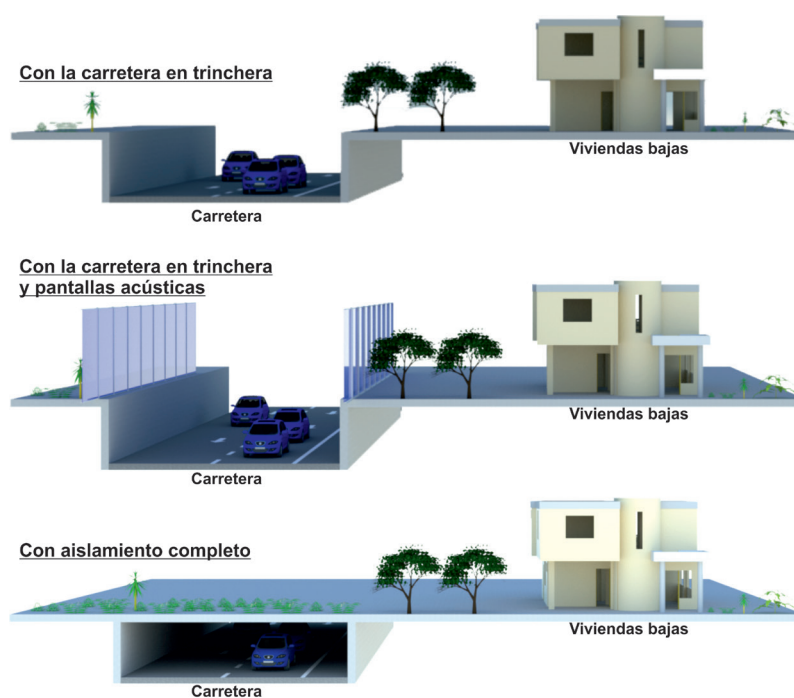


Figura 14: Disposiciones posibles para una carretera en trinchera.

De esta forma, las carreteras en terraplén (por debajo de la cota del propio terraplén), en trinchera, sobre viaductos o bordeadas por montículos de tierra son más eficaces para reducir el ruido que las carreteras que discurren al mismo nivel del terreno.

El nivel del ruido disminuye cuando la distancia entre el receptor y la carretera aumenta. La siguiente figura muestra cómo se propaga el ruido para diferentes carreteras a nivel del suelo y a diferente nivel.

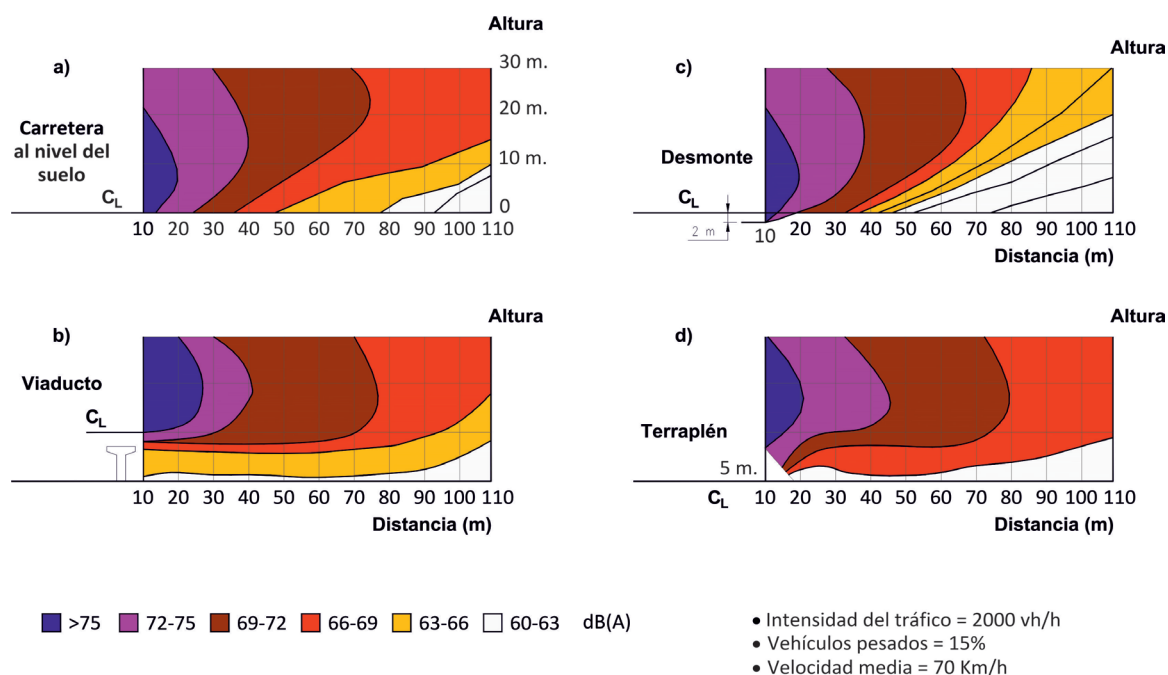


Figura 15: Análisis de la propagación del ruido para diferentes carreteras a nivel de suelo y a diferente nivel.

Tal como se observa en la figura, las mejores alternativas para reducir el ruido son aquellas para las cuales la carretera no se encuentra a nivel del suelo. Si bien los viaductos son vías necesarias cuando el terreno no permite la construcción de una carretera, las alternativas de terraplén y/o desmonte siempre son más eficaces pues crean una barrera natural que minimiza el impacto del ruido en el medio ambiente. Sea cual sea la configuración general, los viaductos, trincheras, terraplenes y los túneles, tienen un papel a desempeñar en la construcción de nuevas infraestructuras de transporte. Las carreteras en trinchera o bajo la cota de suelo son bastante eficaces para reducir el ruido en comparación con las carreteras que están al mismo nivel del terreno. En aquellas en las que el trazado va en trinchera el ruido puede disminuir de 5 a 10 dBA en función de la profundidad de la trinchera.

Sin embargo, para llegar a obtener una importante reducción del ruido es necesario prever paredes, del terreno blando, a ser posible líneas de plantación de vegetación densa y árboles, de forma que ofrezcan protección a las poblaciones vecinas. La pendiente de los taludes debe ser la más elevada posible para asegurar la máxima eficacia. En medio urbano y zonas edificadas esta medida es costosa y difícil de aplicar, requiere soluciones técnicas para resolver el drenaje del agua y en

los costes hay que considerar el transporte de tierras. La siguiente figura muestra el comportamiento del sonido cuando existe vegetación al lado de la trinchera (zona izquierda de la imagen) y cuando no la hay (zona derecha de la imagen). Tal como se observa, la influencia de una zona con vegetación se manifiesta en una disminución de los niveles de presión acústica a una menor distancia respecto a la zona libre de vegetación.

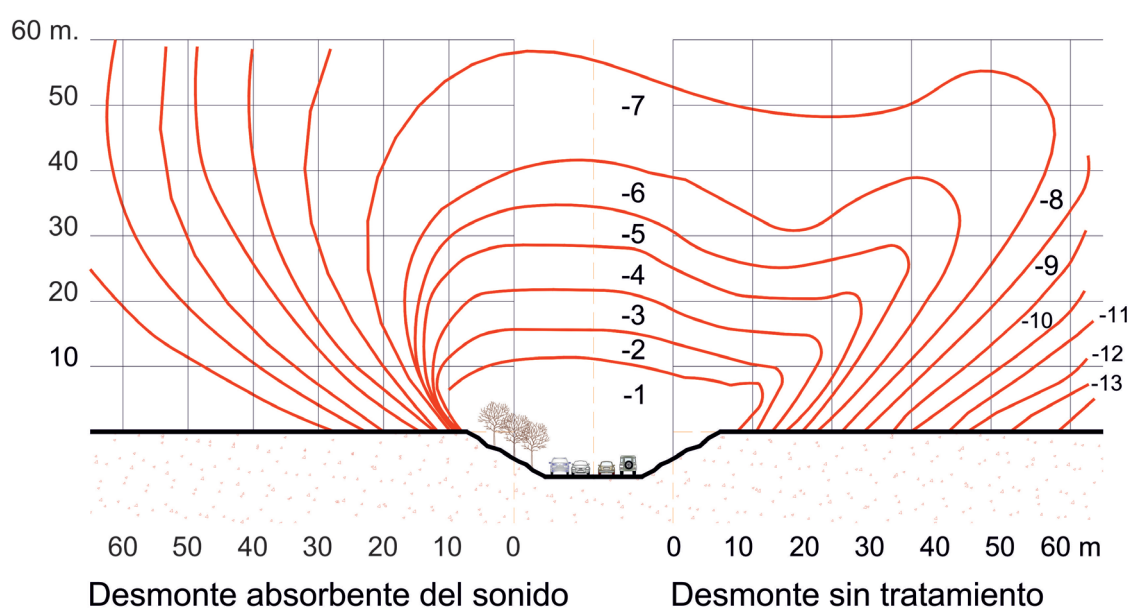


Figura 16: Detalle de la influencia de una zona con vegetación en los niveles de presión acústica en el entorno.

Las soluciones de carreteras en terraplén son una solución válida desde el punto de vista acústico, pues son más eficaces que las carreteras que están en la misma cota que el terreno. De manera general, la altura del terraplén debe rebasar los 2,5 m. Esta solución es más eficaz en zonas rurales que en zonas urbanas, debido a factores como el volumen de tráfico o la distancia a las fachadas, entre otros. Para aumentar la reducción del ruido, se pueden implementar pantallas acústicas como se verá en apartados posteriores.

4.1.2. Cambios de velocidad y actuaciones de calmad del tráfico

El factor de la velocidad con la que viaja un vehículo tiene un efecto significativo en el nivel de presión sonora que influye sobre la pantalla acústica.

Conducir a velocidades más bajas generalmente reducirá los niveles de ruido, aunque la frecuencia de las aceleraciones puede ser más importante que la velocidad media. El ruido es generado por las unidades de potencia de los vehículos, la interacción entre los neumáticos y la carretera y el desplazamiento del aire en su entorno.

A velocidades más altas, el ruido de los neumáticos en contacto con el pavimento domina al ruido generado por el propio motor del vehículo. En general, el ruido de los neumáticos en contacto con la carretera aumenta considerablemente con la velocidad, en torno a 12 dBA al duplicar la velocidad. Los efectos de la aceleración y la desaceleración en el ruido suelen ser pocos a velocidades superiores a 48 km/h, pero mayores a velocidades inferiores. Esto tiene implicaciones para el uso de reductores de velocidad donde los vehículos deben acelerar y desacelerar.

La siguiente figura, muestra las distribuciones relativas del ruido del motor y de rodadura al ruido total emitido en relación con la velocidad.

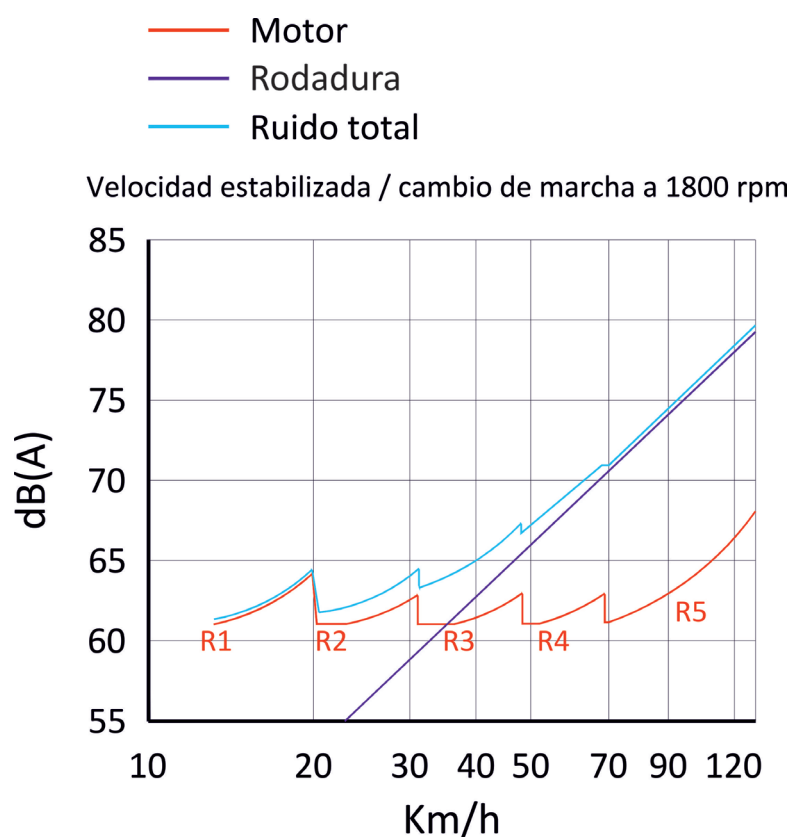


Figura 17: Distribuciones relativas del ruido del motor y de rodadura al ruido total emitido en relación con la velocidad del vehículo.

Tal como se muestra en la figura, el ruido de motor domina hasta aproximadamente 40 km/h, cuando el ruido de los neumáticos se vuelve más significativo. A velocidades más altas, el ruido de los neumáticos y luego del desplazamiento del aire se convierte en la principal fuente de ruido de tráfico.

Además de esto, y teniendo en cuenta el tipo de vehículo sobre la carretera, la siguiente figura muestra el cambio en el ruido producido por automóviles, camiones ligeros y camiones pesados a medida que aumenta su velocidad de 48 km/h a 112 km/h. Aumentar la velocidad de un automóvil 16 km/h (de 88 a 104 km/h) aumenta el ruido que hace ese vehículo en 3 dB, de 72 dB a 75 dB. De manera similar, el ruido producido por los camiones aumenta de 86 a 88 dB con el mismo aumento de velocidad de 16 km/h.

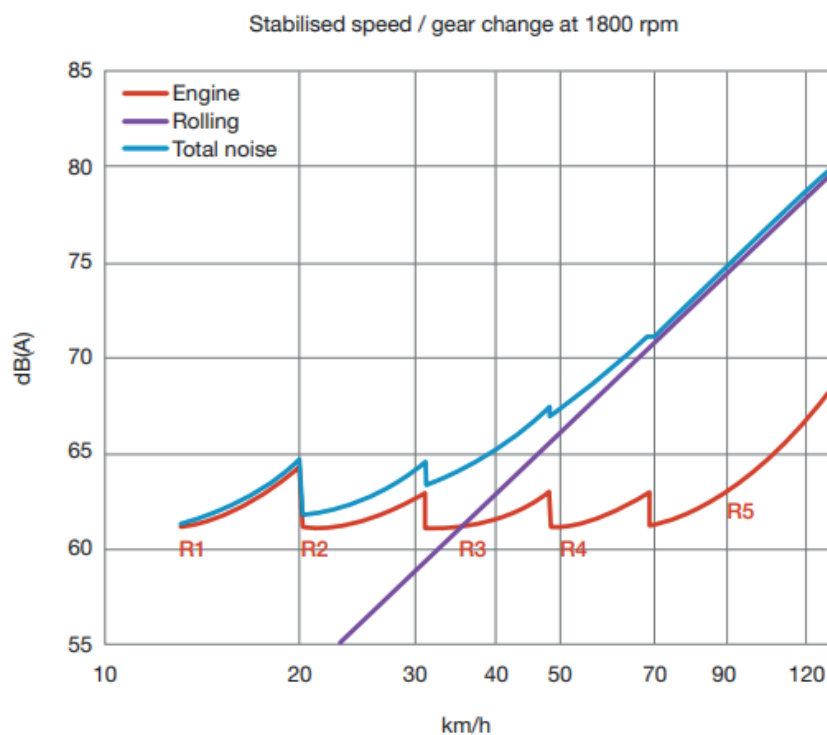


Figura 18: Relación entre la velocidad y el ruido producido por diferentes vehículos.

Aunque los dispositivos reductores de ruido en carretera como las pantallas acústicas son un mecanismo eficiente en la reducción del nivel de ruido en la fachada de las edificaciones más cercanas, como resultado, un aumento de la velocidad vehicular en carretera implica una reducción en la eficiencia en la pantalla acústica de manera significativa.

Por otra parte, es habitual el uso de medidas tradicionales de gestión del tráfico como una forma de mantener el control de la velocidad vehicular. Este sistema del control de flujo vehicular se conoce como *Green Waves* y se emplea para minimizar el tiempo de viaje y las paradas en las rutas principales mediante el ajuste de tres parámetros: tiempo de ciclo, tiempos verdes y velocidad de coordinación. Con este criterio, es posible reducir la velocidad de los conductores, que verán uno o varios semáforos en verde adelante, que además están cronometrados de tal manera que cambien teniendo en cuenta una velocidad moderada del conductor. Este planteamiento puede ser muy útil para moderar las velocidades en especial cuando estas son altas, como durante el periodo nocturno. Entre las principales ventajas de este sistema de control de flujo vehicular se tienen:

- Mantiene una velocidad estable a lo largo de un tramo de vía donde el nivel de ruido y flujo de vehículos es considerado elevado.
- Se reduce la congestión en los cruces vehiculares de salida y entrada gracias a la gestión de los tiempos de camino y parada sincronizados.
- Reducción de accidentes producto de las altas velocidades en carretera.
- Reducción de los niveles de ruido en el entorno a la vía.

Varios países, incluidos España y Portugal, utilizan semáforos para “sancionar” a los conductores que viajan a altas velocidades. El sistema detecta los vehículos que se acercan demasiado rápido a un lugar determinado (por lo general, la entrada de una ciudad o pueblo, intersección o cerca de un paso peatonal) y los semáforos se ponen en rojo para detener el vehículo. Dichos sistemas están muy extendidos en algunos países, ya que constituyen una simple respuesta al problema del exceso de velocidad en la entrada de las zonas urbanas, y aunque se pueden colocar carteles informativos antes de los semáforos, existen una serie de desventajas como:

- Si el semáforo está ubicado en una intersección, o en la ubicación de un paso de peatones, es posible que un vehículo que se acerque demasiado rápido no pueda detenerse, con el riesgo de chocar contra otro vehículo o atropellar a un peatón. Por lo tanto, la ubicación del sensor de velocidad debe seleccionarse cuidadosamente.

- Si el semáforo está aislado, su credibilidad podría ser cuestionada. En tal caso, uno podría considerar que estos semáforos son perjudiciales para la seguridad vial en general, incluso si están destinados a mejorar la seguridad en un lugar determinado.

Según los conocimientos actuales, estos sistemas son controvertidos y deben usarse con mucho cuidado. En algunos países, cuando se identifica un automóvil que conduce demasiado rápido frente a un semáforo (lo que aumenta el riesgo de que el conductor infrinja la luz roja y posiblemente provoque un accidente), es posible cambiar el funcionamiento del semáforo:

- Ampliando el tiempo “verde”, lo que no se recomienda, ya que tiene el efecto adverso de alentar al conductor a ir más rápido.
- Extendiendo la luz roja, lo que retrasa la luz verde para el resto de vehículos por su protección.

Además de esto, en la actualidad se emplean controles policiales tradicionales y controles de velocidad automatizados para completar el control sobre los límites de velocidad. Es importante establecer el nivel de tolerancia adecuado para el cumplimiento de los límites de velocidad.

Los reductores de velocidad son la forma de moderación del tráfico más utilizada, especialmente en aquellos países donde la moderación del tráfico se ha extendido rápidamente (Gran Bretaña y los Países Bajos). Sin embargo, no son tan favorecidos en países en los que la moderación del tráfico se implementó más tarde: por ejemplo, Austria y la República Checa. El efecto sobre la velocidad está bien señalado, pero es necesario considerar el impacto sobre el ruido para los residentes cercanos. Pues tal como se ha mencionado con anterioridad, los cambios de aceleración de vehículos ligeros y pesados son uno de los mayores factores de afección por ruido dentro de zonas urbanizadas.

El efecto de reducción de velocidad suele ser perceptible 40 m antes y después de los montículos que hacen las veces de pantalla acústica, pero esto depende en gran medida de las alturas y pendientes de los montículos. En comparación con los montículos “simples”, los cruces peatonales elevados y los cruces elevados son cada vez

más populares, especialmente cuando forman parte de una zona de tráfico moderado o una zona de 30 km/h.

Los cambios en la infraestructura vial pueden llevar tiempo y dinero, pero existen algunas medidas más temporales que se pueden utilizar como una ganancia rápida, como bolardos y señalización vial. En el futuro, se prevé que la infraestructura se vuelva significativamente más inteligente, y es posible que se avance hacia límites de velocidad dinámicos para todas las rutas. En última instancia, cuando la infraestructura no se puede actualizar con costes razonables al estándar requerido para el límite de velocidad existente, la acción apropiada será reducir el límite de velocidad, la implantación de dispositivos reductores de ruido como pantallas acústicas y el control del flujo vehicular por medio de la semaforización.

4.1.3. Cambios de pavimento

Uno de los objetivos que se persigue en el diseño y en construcción de las carreteras, es el permitir una rodadura cómoda y segura para que cumpla sus funciones durante un periodo de vida determinado. Las características superficiales deben cumplir con estándares de regularidad, resistencia al deslizamiento, textura, rentabilidad, permeabilidad, propiedades ópticas y de ruido.

Las ventajas de las mezclas bituminosas drenantes se basan en la disminución de la proyección de agua debido al paso de los vehículos (mejora la visibilidad), decrece el ruido de rodadura, el pavimento tiene cierta capacidad de absorción acústica y disminuye las reflexiones de la luz sobre la superficie de la carretera.

En Europa, se demostró que un pavimento poroso de doble capa (25 mm 0/10 sobre 40 mm 0/18) es 3,3 dBA más silencioso, con un coeficiente de absorción de sonido de 0,39, que el pavimento poroso de una sola capa (40 mm 0/18). Se demostró que un pavimento poroso de 4 años (0/18) era 1,7 dBA más alto que uno nuevo similar, lo que indica un aumento del ruido del pavimento poroso con el tiempo. En el Reino Unido, el asfalto de masilla de piedra, el Superpave de 10 mm y el Superpave de 14 mm demostraron ser 4,9, 1,3 y 0,9 dBA, respectivamente, más silenciosos para vehículos ligeros, y 3,7, 2,5 y 1,4 dBA, respectivamente, más silenciosos para vehículos pesados en comparación con el asfalto laminado en caliente denso convencional. Se demostró que el asfalto de masilla de piedra era el pavimento más silencioso y se esperaba que permaneciera así durante un largo período.



Figura 19: Muestras de núcleos de superficies de rodadura. De izquierda a derecha: capas gemelas de asfalto poroso con revestimiento de caucho, capa única de asfalto poroso con revestimiento de caucho, monocapa poroso asfalto, hormigón poroso, asfalto denso.

Por otra parte, diversos estudios han demostrado la efectividad de diversos compuestos en términos del tiempo de uso de materiales asfálticos. La siguiente tabla muestra el aumento del nivel de ruido promedio de coches ligeros de pasajeros para cuatro grupos de pavimento; hormigón asfáltico graduado denso (DGAC); hormigón asfáltico graduado abierto (OGAC) y pavimento poroso (PAC) expresado con tres indicadores; el incremento del nivel de ruido de vehículos ligeros de pasajeros por año de edad física real del pavimento ($\Delta L_{año}$); el cambio de nivel de ruido por 1 millón de vehículos que pasan por carril (ΔL_{ADT}) y el cambio de nivel de ruido previsto como una combinación de la edad física real del pavimento y la carga de tráfico donde la edad cuenta el 25 % y la carga del tráfico cuenta el 75 % ($\Delta L_{25/75}$).

Tabla 4: Aumento del nivel de ruido promedio de coches ligeros de pasajeros en función del tipo de pavimento.

Tipo de pavimento	$\Delta L_{año}$ [dB/año]	ΔL_{ADT} [dB/1 mil vehiculos]	$\Delta L_{25/75}$ [dB/mix]
DGAC	0.40	0.21	0.26
OGAC	0.41	0.26	0.30
Delgado abierto	0.84	0.24	0.39
PAC	0.53	0.42	0.45

El aumento medio anual del nivel de ruido de vehículos ligeros de pasajeros ($\Delta L_{año}$) es de 0.58 dB/año. El pavimento DGAC tienen un menor incremento de 0.40 dB/año

seguido de, pavimento OGAC con 0.41 dB/año. Los dos tipos de pavimento con mayor incremento son el PAC y los pavimentos abiertos delgados con 0.53 y 0.84 dB/año respectivamente.

Numerosos estudios han demostrado que la conservación a largo plazo de la porosidad, depende del rendimiento de los materiales (granulometría, tipo y porcentaje del ligante...) de las condiciones de circulación (velocidad, tipos y porcentajes de vehículos...) y de las condiciones de mantenimiento (proceso de descolmatado de los huecos, mejora del drenaje lateral). A pesar de su eficacia acústica, los revestimientos drenantes no se pueden aplicar en todos los casos para atenuar el ruido del tráfico, puesto que ciertos aspectos asociados a su utilización (durabilidad, colmatado de poros, mantenimiento en invierno) van, a veces, a acarrear dificultades; en tales casos es posible utilizar otros pavimentos silenciosos como, por ejemplo, los tapices delgados.

A pesar de las evidentes mejoras respecto al incremento de ruido vehicular producido por el rozamiento de las ruedas con el pavimento, el principal inconveniente de este tipo de materiales se encuentra en su menor estabilidad mecánica y durabilidad, la mayor sensibilidad al ataque por derrames de combustibles y a roturas del material por esfuerzos tangenciales. Se colmatan a corto plazo, disminuye su contribución a la capacidad portante del mismo y proporciona una excesiva sensación de seguridad (sobre todo en pavimento mojado).

4.1.4. Pantallas acústicas

Las pantallas acústicas son aquellos elementos o dispositivos, que dispuestos entre la fuente y el receptor y dimensionados convenientemente, suponen una barrera que interrumpe el camino de propagación de las ondas sonoras, ofreciendo una gran resistencia a la transmisión del sonido a su través y distinto grado de absorción acústica, para crear una zona de “sombra acústica” junto al receptor, por difracción de las ondas sonoras en sus bordes.

Para que una pantalla acústica sea eficaz, debe ser suficientemente alta y larga para impedir la propagación del ruido hacia el receptor. Las pantallas normales no son muy útiles para las casas situadas sobre una colina que domine la carretera o para edificios cuya altura sobrepase la de la pantalla, si la pantalla no interrumpe la visual

entre la vivienda y el vehículo. Las salidas que permiten el acceso a zonas adyacentes o el cruce de otras calles, merman su eficacia.

El rendimiento acústico de una pantalla acústica queda determinado por el lugar de emplazamiento, su anchura, (longitud), su altura, así como sus características de transmisión y de reflexión (aislamiento/absorción). Según su forma, las pantallas acústicas pueden ser:

- Pantallas (barreras) naturales, como montículos o diques de tierra.
- Pantallas artificiales, como los muros y elementos con diseño fonoabsorbente.

La combinación de las dos, como los bio-muros o las pantallas sobre taludes.

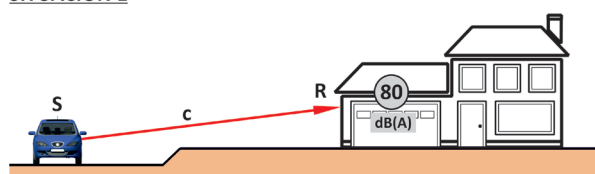
Aunque en diversos lugares la vegetación proporciona un efecto psicológico de pantalla acústica natural, la efectividad de estas no proporciona en general ninguna mejora ya que sólo aporta una débil reducción de los niveles de ruido de la circulación.

En el empleo de pantallas acústicas debe tenerse en cuenta que:

- En ambientes semi-reverberantes su efecto solo es apreciable en zonas próximas a ellas, ya que solamente las ondas directas serán atenuadas, mientras que las ondas reflejadas por las superficies sólidas del recinto se propagarán por la teórica zona de sombra acústica.
- La pérdida de transmisión de la pantalla debe ser al menos 10 decibelios superior a la atenuación que se espera conseguir, para que su empleo sea efectivo.
- Deben evitarse los acoplamientos entre la fuente sonora y la pantalla, para impedir que esta se transforme en una fuente sonora secundaria, debido a las vibraciones transmitidas.
- Siempre que sea posible, la superficie visible por la fuente sonora deberá estar recubierta por material absorbente acústico, evitándose de esta forma la reflexión de las ondas sonoras.
- Cuando la pantalla esté formada por paneles, deberán cuidarse las juntas entre estos, evitándose así caminos fáciles para la transmisión del sonido con la consiguiente disminución de la efectividad de la pantalla.

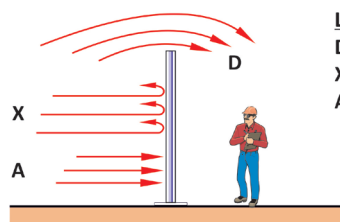
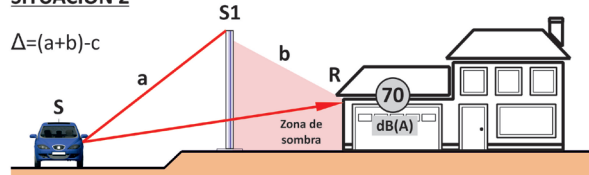
El principio clave para determinar la eficacia de una pantalla acústica se puede cuantificar por medio del índice de pérdida por inserción (IL) que mide la reducción del ruido debido a la pantalla, medida en el punto de recepción R. Esta pérdida por inserción se debe al aumento del recorrido seguido por la onda de ruido difractada, al aislamiento de la pantalla en la zona de sombra y a la absorción del ruido por la pantalla.

SITUACIÓN 1



Reducción por inserción= Nivel situación 1: 80 dB(A)
- Nivel situación 2: 70 dB(A)
= 10 dB(A)

SITUACIÓN 2



La reducción por inserción es función de:

D: Difracción
X: Reflexivo
A: Absorción

Figura 20: Análisis de una pantalla acústica en función del índice de pérdida por inserción.

Al colocar una pantalla entre el origen S y un punto R de recepción, la propagación del sonido se realiza por distintos recorridos. Para optimizar el efecto de la pantalla se deben minimizar las contribuciones debidas a la difracción, por lo que existen diversas formas en la coronación de la pantalla para aumentar el valor del IL. Por otra parte, a una distancia dada de la calzada, aumentar la altura de la pantalla permite mejorar las características de atenuación. De manera general, un metro de altura suplementaria en una pantalla acústica, conlleva una disminución de 1,5 dBA, suponiendo que la pantalla que llega justo a la línea de vista (línea recta entre la calzada u origen y el receptor) origina una atenuación de 5 dBA.

Por otra parte, los materiales que componen una pantalla acústica determinan gran parte de su eficiencia pues las propiedades físicas de los materiales involucrados establecen los resultados de aislamiento del conjunto. A nivel general, todos los materiales permiten el paso de la energía sonora, aunque en distintos grados según el material y la frecuencia del sonido. Para que una pantalla sea completa-

mente efectiva, la cantidad de energía sonora que pasa a través de ella debe ser significativamente menor que la que pasa por encima (o alrededor de los bordes laterales). Para ello es necesario que la densidad de los materiales que constituyen la pantalla acústica sea de al menos 20 kg por metro cuadrado.

Se puede utilizar cualquier material como pantalla entre la fuente de ruido y un receptor de ruido siempre que tenga un TL de al menos 10 dBA mayor que la reducción de ruido deseada. Esto garantiza que la única ruta de ruido a considerar en el diseño acústico de pantallas acústicas sea la ruta del ruido difractado, es decir la ruta sobre (o alrededor) de la pantalla. A manera de ejemplo, si una pantalla acústica está diseñada para reducir el nivel de ruido en un receptor en 8 dBA, el TL de la pantalla debe ser al menos 18 dBA. En esta conjetura se puede ignorar el ruido transmitido, porque el ruido difractado es al menos 10 dBA mayor y, por lo tanto, la ruta de programación de ruido debe pasar por encima de la pantalla.

El diseño de la superficie de la pantalla y de su interior o estructura interna, pueden resultar muy relevantes, pudiendo constituirse verdaderas trampas para el ruido, que dotan a la pantalla de valores de absorción muy elevados.

En cuanto a la reducción de ruido, el valor máximo que se puede alcanzar teóricamente es de 20 dBA para pantallas delgadas (paredes) y de 23 dBA para los caballos o diques de tierra. Por lo tanto, un material que tenga un TL de 33 dBA o superior siempre será adecuado para una pantalla acústica contra el ruido en cualquier situación.

Para obtener el rendimiento óptimo de una pantalla acústica, generalmente es importante colocarla lo más cerca posible de la carretera, es decir situarla lo más próxima posible de la fuente de ruido. Esto se aplica cuando la carretera y el receptor están nivelados, o cuando la carretera está elevada sobre un terraplén o un viaducto. Se puede obtener el mismo rendimiento colocando la pantalla cerca del receptor, pero esto rara vez es práctico y solo se puede considerar para edificios aislados a cierta distancia de la carretera. Aunque la idea de instalar una pantalla acústica cerca de la fuente es válida para la mayoría de los casos, no es válida cuando la carretera está en un desmonte o trinchera donde una forma de relieve elevada los separa. En estos casos, la pantalla se debe instalar en la parte superior del talud o relieve.

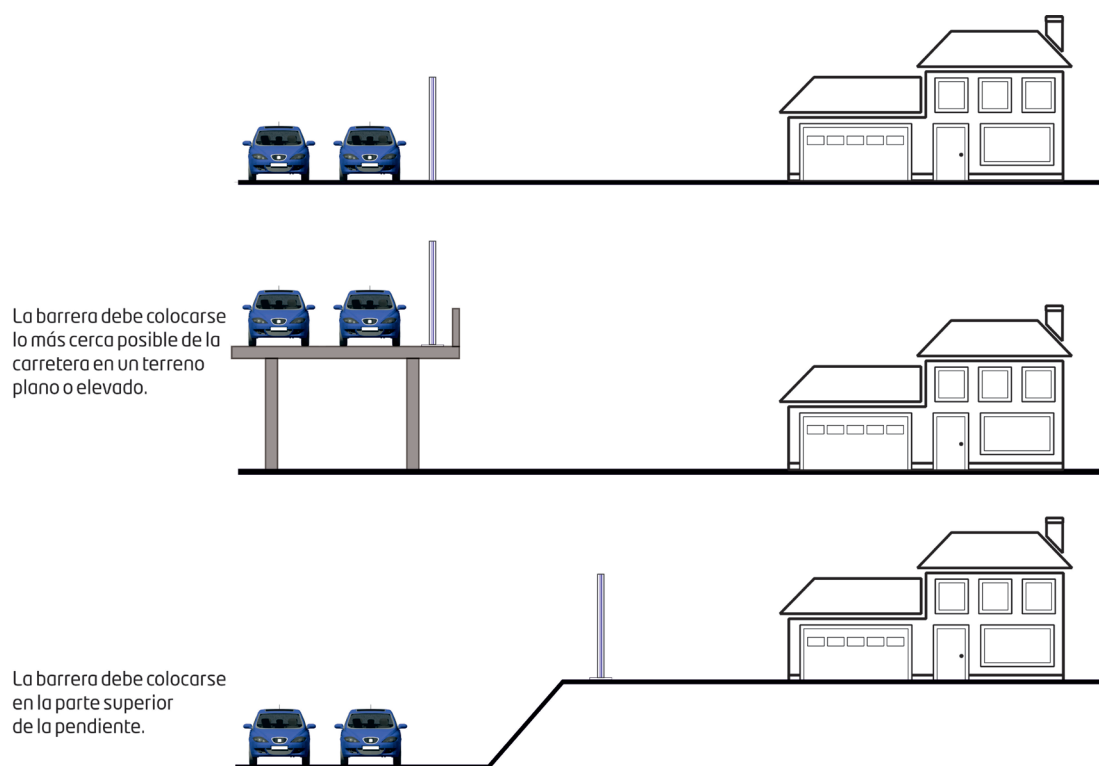


Figura 21: Disposición de pantallas acústicas en función del relieve del terreno.

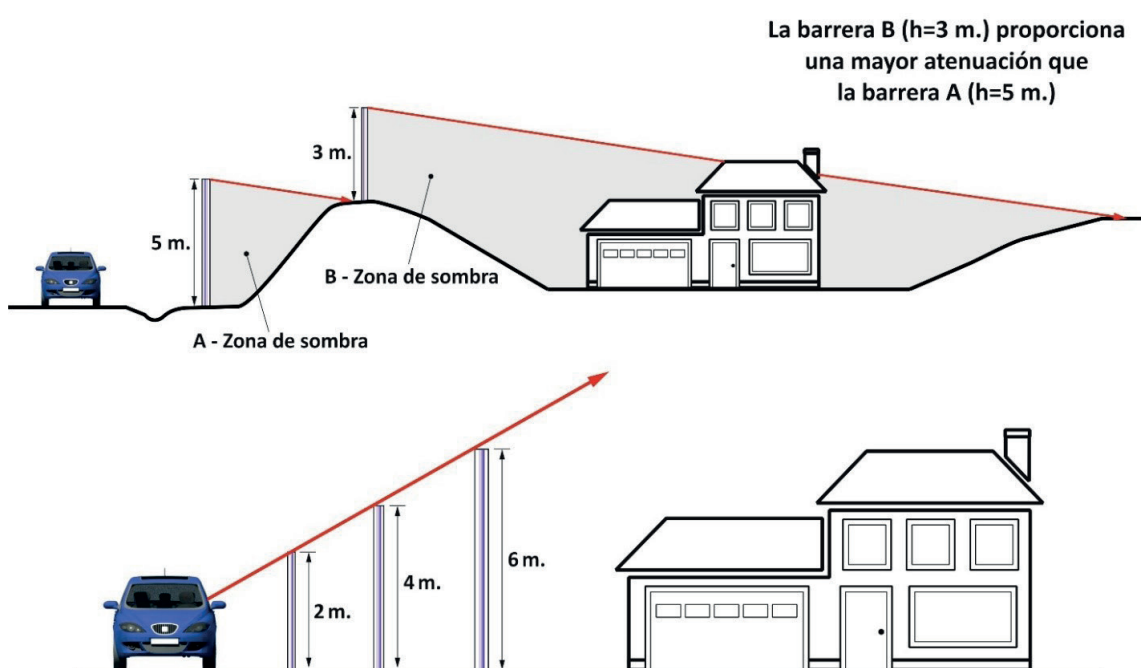


Figura 22: Influencia de la ubicación de una pantalla acústica.

Hay que tener en cuenta que el nivel de ruido varía con la distancia, de forma que cuanto mayor sea la distancia a la que se sitúen las viviendas (el receptor) de la carretera (la fuente de ruido) menor será el nivel de ruido que se recibirá en las viviendas

En la figura siguiente, se observa el nivel de ruido recibido en viviendas situadas a 20, 40, 80 y 100 m de una carretera con 10 000 vehículos diarios en tres situaciones distintas: sin pantallas, con pantallas de 2 m de altura y con pantallas de 3 m de altura.

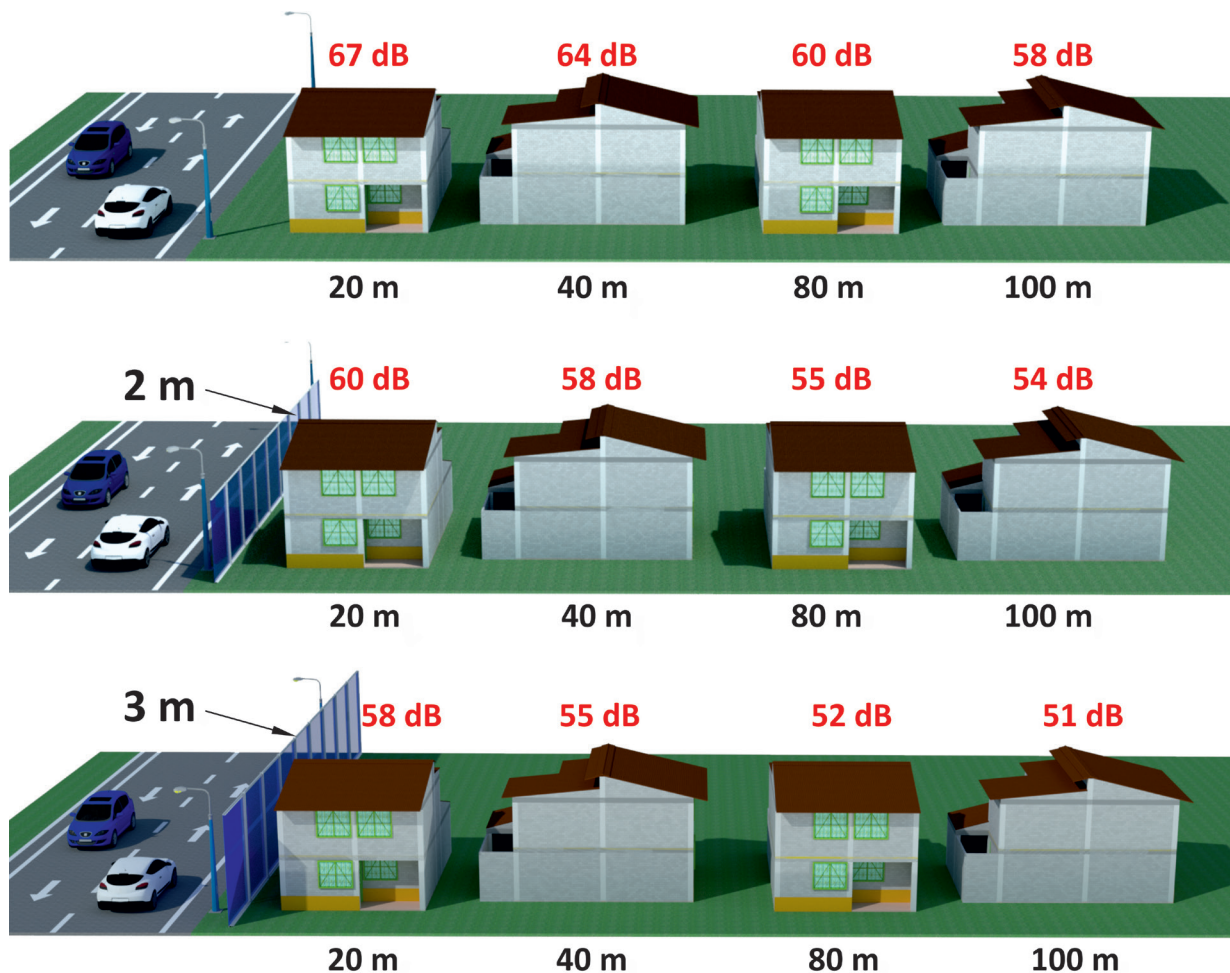


Figura 23: Niveles de ruido a diferentes distancias de una vía con un tráfico de 10 000 vehículos diarios, sin pantallas, con pantallas de 2 m de altura y con pantallas de 3 m de altura.

La altura de una pantalla acústica también es un parámetro clave. En general, cuanto mayor sea la pantalla, mayor será el nivel de reducción de ruido. Como regla general, una pantalla contra el ruido debe ser al menos lo suficientemente alta como

para bloquear la línea de visión desde la vivienda hasta los vehículos en una carretera. Esta línea debe evaluarse desde un punto a 1,5 m por encima del terreno de la vivienda adyacente hasta el punto más lejano a 1 m por encima de la superficie de la carretera:

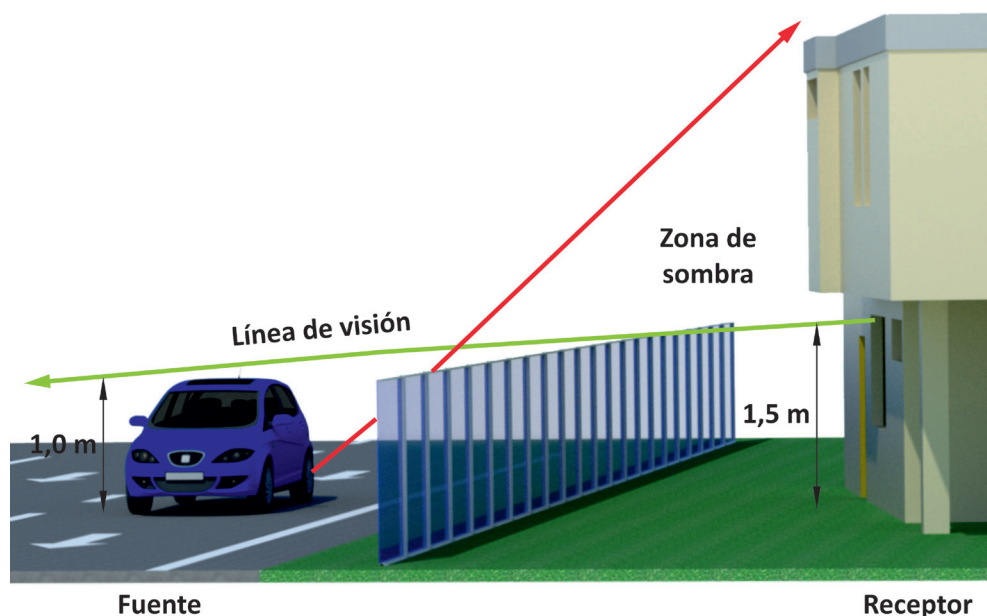


Figura 24: Vista de la línea de visión del receptor y la zona de sombra de la pantalla acústica.

Cuando una pantalla contra el ruido rompe la línea de visión entre la fuente de ruido y el receptor, se produce una atenuación del ruido de aproximadamente 5 dB. El límite teórico para la atenuación de la pantalla acústica es de unos 20 dB en la zona de sombra; sin embargo, en la práctica, un límite realista es de unos 15 dB.

Para carreteras de varios carriles, el ruido de los carriles de tráfico más lejanos no se reducirá con una pantalla acústica tanto como el ruido de los carriles más cercanos debido a los diferentes ángulos de trayectoria (figura 25), a menos que la carretera esté en un puente o terraplén por encima de las viviendas. Es posible que se requiera un aumento sustancial (a menudo poco práctico) en la altura de la pantalla para reducir significativamente el ruido del carril de tránsito más lejano. Una posible solución es ubicar una segunda pantalla acústica en la franja central, pero esto tiene implicaciones visuales y de seguridad vial que deben tenerse en cuenta (figura 26):

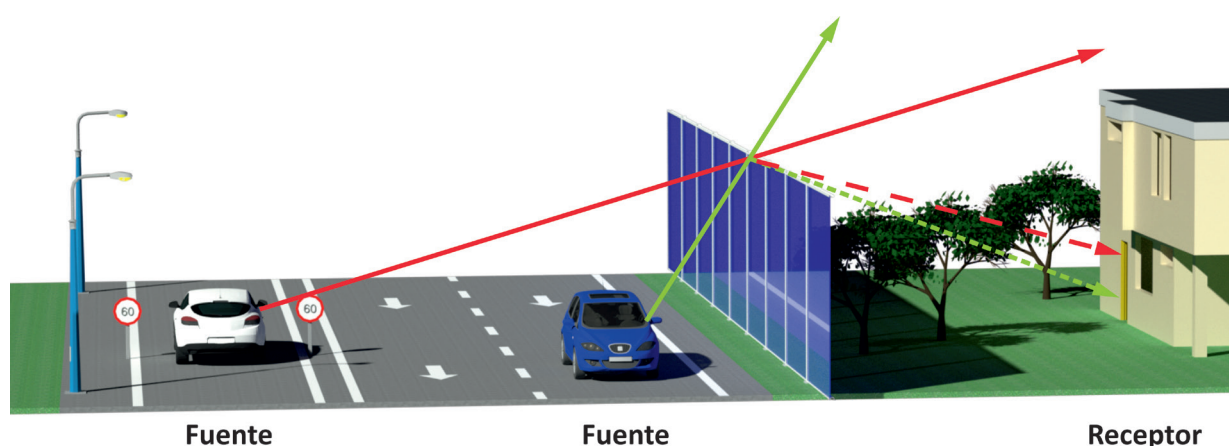


Figura 25: Esquema del comportamiento de las ondas sonoras procedentes del tráfico lejano.

Pantallas muy próximas entre sí pueden producir un efecto de reverberación que habrá que evitar o cuidar. En ese caso los materiales fonoabsorbentes o las trampas de sonido pueden resultar de sumo interés.

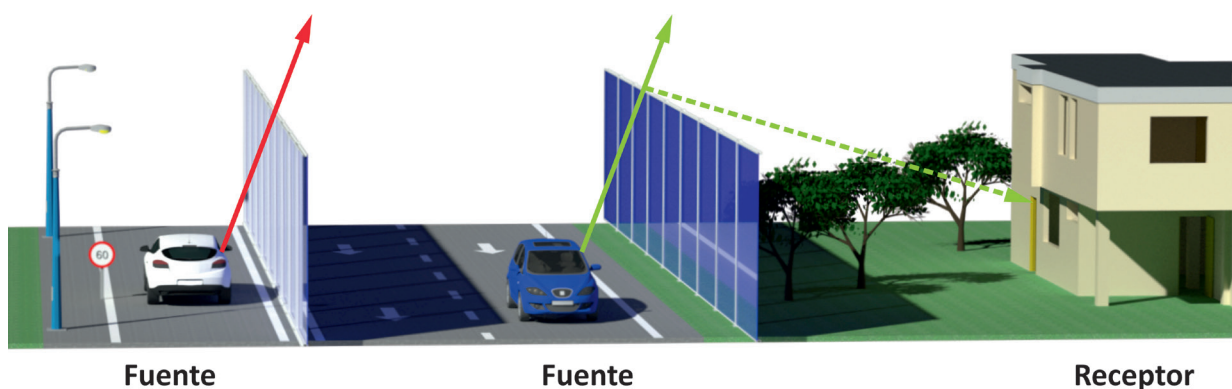


Figura 26: Esquema del comportamiento de las ondas sonoras con una pantalla en la mediana.

4.1.5. Acondicionamiento de túneles

El problema del ruido en los accesos a túneles y caminos a cielo abierto se genera por un aumento del nivel sonoro, con relación al ruido que existiría sin el túnel, debido a los campos reverberantes creados por múltiples reflejos producidos por las paredes en el interior del túnel.

Un túnel ofrece los medios más efectivos para filtrar el ruido del tráfico. Es el coste de un túnel lo que generalmente limita su uso, pero sin embargo los túneles se están convirtiendo en una solución habitual en zonas de especial sensibilidad. El diseño puede variar desde cubiertas relativamente livianas que proporcionan la

atenuación del sonido suficiente para permitir que se alcance un límite de ruido en propiedades sensibles cercanas, hasta estructuras de soporte de carga sustanciales, que permiten que el espacio sobre el túnel se use para una variedad de propósitos. Se debe tener cuidado para garantizar que el ruido reverberante que se acumula dentro de un túnel no provoque un aumento del ruido en las proximidades de los portales del túnel. Revestir las paredes y el techo del túnel con material absorbente de sonido evitará este problema y se recomienda que se recubra en el portal una longitud de túnel igual a dos o tres veces el diámetro del túnel. Aquí y en todo lo que sigue, cuando se haga referencia a materiales fonoabsorbentes, se estará aludiendo también a la disposición o construcción interna de materiales en forma de trampa de sonido.

Las características geométricas de un túnel favorecen un número de reflexiones de presión sonora no deseadas supone una importante elevación del nivel de ruido que se denomina efecto Hopper y que puede llegar a alcanzar entre 5 a 8 dBA. Los aspectos más peculiares que definen el impacto acústico debido a los túneles son:

- La persistencia del ruido mientras un vehículo permanece en el interior del túnel. Este fenómeno es particularmente molesto durante la noche en algunos túneles, ya que bastaría, por ejemplo, un pequeño tráfico continuo de vehículos separados entre sí a una distancia igual a la longitud del túnel, para tener la impresión de un ruido continuo.
- El ruido emitido por las bocas del túnel, cuando por su interior circula una gran cantidad de tráfico, está constituido por la acumulación energética del ruido inducido por cada vehículo considerado aisladamente.

Cuando un vehículo entra en un túnel, una parte de la energía sonora emitida por el mismo se esparce directamente al exterior por la boca del túnel (α_d) y otra parte crea un campo reverberado debido a la infinidad de reflejos en las paredes, suelo y techo del túnel (α_r). El orden de reflexión es tal que el campo sonoro puede considerarse como un campo difuso (es decir, todas las direcciones de reflexión serán equiprobables), propagándose hasta los extremos del túnel.

Si se ubica un observador en un extremo del túnel y observa el avance de un vehículo en su interior, verá que a medida que el vehículo avanza en el túnel el campo radiado

directamente por él hacia el exterior disminuye, mientras que el campo reverberado aumenta. La superposición de ambos es tal que producen una cuasi-persistencia del nivel de ruido emitido por la boca del túnel. En la siguiente figura, la firma de ruido de paso del paso de un vehículo frente a un observador hipotético, ubicado en la boca del túnel, se compara en diferentes casos, revelando el aumento significativo en el nivel de ruido inducido por el túnel. En la práctica, normalmente se producirán aumentos de los niveles de ruido en las entradas a los túneles, que pueden llegar de 7 a 10 dBA.

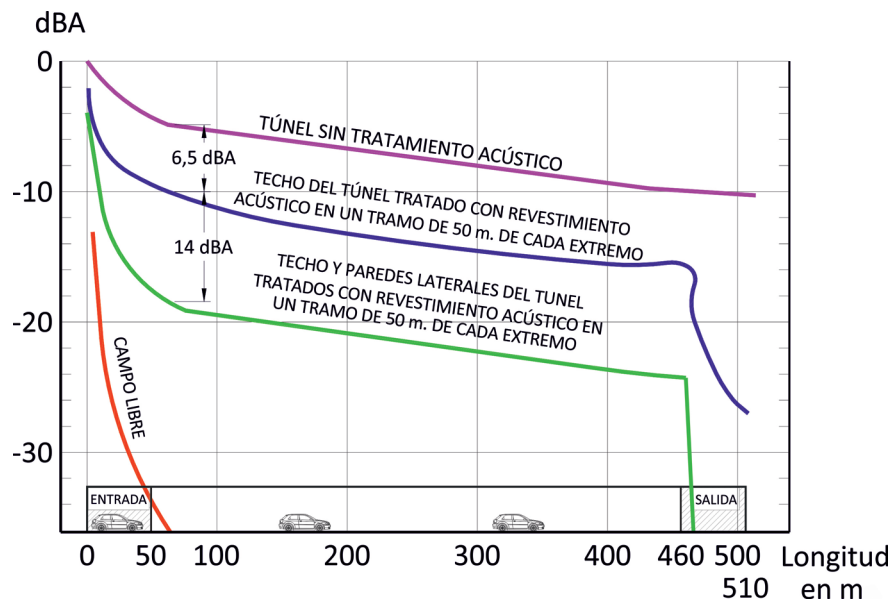


Figura 27: Relación entre la longitud del túnel y el nivel de ruido en función de la actuación realizada.

Dado que este efecto (conocido como “efecto túnel”), está condicionado por el libre recorrido medio de las ondas sonoras en el interior del túnel, será tanto más significativo, y por tanto molesto, cuanto más estrecho sea el túnel.

A la hora de implementar soluciones al problema de elevación del ruido en accesos a túneles mediante la instalación de revestimientos altamente absorbentes, se pueden seleccionar varios tipos de materiales y prever su instalación, con el fin de mejorar su capacidad como absorbente acústico, facilitando la disposición de los diferentes elementos de las instalaciones del túnel, tales como iluminación, señalización variable, etc. al mismo tiempo que se consigue un adecuado acabado estético de las superficies interiores de los muros. En este sentido, vale la pena

considerar algunos aspectos generales respecto a la instalación de materiales dentro y en el entorno de la boca del túnel.

En general, los revestimientos formados por paneles de chapa perforada metálica con lana de roca o fibra de vidrio como material absorbente tienen la ventaja de su reducido peso, lo que facilita mucho su instalación y permite el registro de la parte trasera, pudiendo aprovechar los espacios entre paneles y pared, para disponer los diferentes conductos, cableado y equipos de iluminación del túnel.

Para un mismo tipo de revestimiento, su comportamiento absorbente acústico será mejor cuanto más se encuentren separados los paneles acústicos de las paredes, aumentando su capacidad de absorción en las bajas frecuencias del espectro sonoro.

Los tipos de revestimiento más utilizados son:

- Paneles de chapa metálica o lana mineral. Son los más versátiles y fáciles de instalar. Tienen un coeficiente de absorción acústica muy alto, $12 \leq DL\alpha \leq 18$ dBA.



Figura 28: Detalles de túneles con revestimiento de chapa metálica con lana mineral.

- Hormigón reforzado con fibra de vidrio o con lana mineral. Son más pesados y algo más difíciles de manejar que los anteriores. También tienen un alto coeficiente de absorción acústica, $8 \leq DL\alpha \leq 15$ dBA.



Figura 29: Detalle de túneles con revestimiento de hormigón reforzado con lana mineral.

Finalmente, La sección transversal de un túnel es un elemento crítico en cuanto al impacto acústico inducido por el mismo, pudiendo afirmarse que, si no se ha previsto ningún tipo de tratamiento acústico, un túnel de gran sección será mucho menos ruidoso y molesto, que un túnel de pequeña sección. No obstante, el uso de un buen absorbente acústico permitirá obtener, para una longitud de túnel pequeña tratada, una eficiencia similar sea cual sea la sección del túnel, pero a un coste mucho menor en el caso de túneles de pequeña sección.

4.2. Tipos de pantallas acústicas. Selección de la tipología

La selección de los materiales con los que se van a realizar las pantallas acústicas está relacionada con distintos parámetros como son: las propiedades acústicas, el diseño urbano, la sostenibilidad, la durabilidad y el mantenimiento. También se ha de considerar el coste del material.

4.2.1. Tipología en función de sus propiedades acústicas

En función de su capacidad de absorber el ruido, las pantallas pueden ser reflectantes (cuando no absorben nada del ruido incidente, únicamente lo reflejan), por lo tanto, son aquellas cuya función acústica es únicamente la de proporcionar un obstáculo a la propagación del ruido; o absorbentes (cuando una parte del ruido es absorbido y otra parte es reflejado) y por lo tanto cuya función acústica es la de proporcionar, por un lado, un obstáculo a la propagación del ruido y, por otro lado, atenuar el ruido mediante un revestimiento específico (material absorbente) para limitar los fenómenos de reflexión acústica en uno o ambos lados de la pantalla.

Las ondas sonoras reflejadas son una consideración importante al diseñar pantallas acústicas (figura 30). Las reflexiones múltiples entre pantallas acústicas paralelas, o

entre pantallas y vehículos de lados altos, pueden reducir la eficacia de una pantalla acústica.

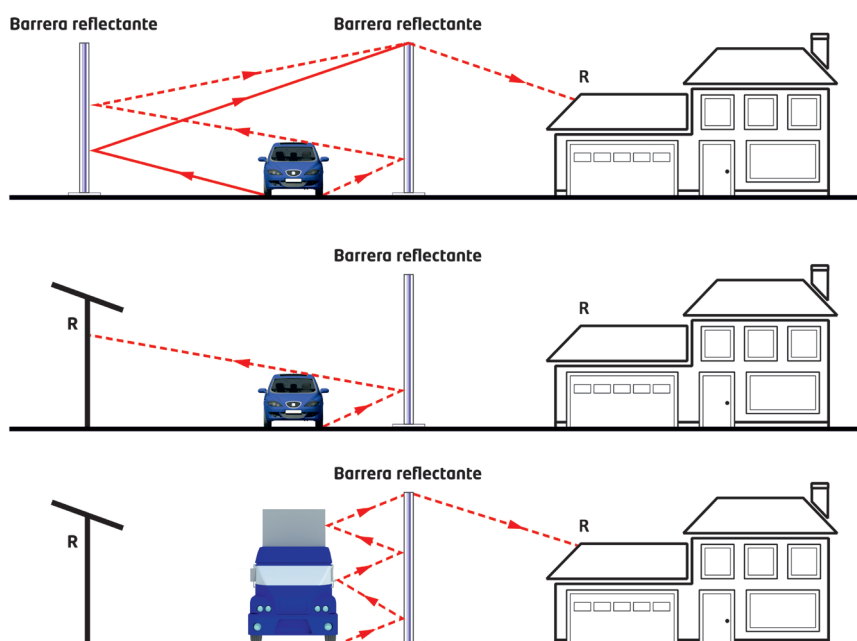


Figura 30: Detalle del comportamiento de las ondas de ruido reflejadas.

La finalidad de una pantalla acústica es reducir el nivel de presión sobre un punto debido a una fuente, como puede ser el tráfico rodado. En este sentido, la figura 31 muestra el comportamiento del nivel de presión debido a la influencia de una pantalla acústica entre la fuente (carretera con vehículos) y la fachada de un edificio. Para este caso se muestran los resultados sin pantalla acústica, con una pantalla acústica entre la carretera y el edificio y con una pantalla acústica a cada lado de la carretera.

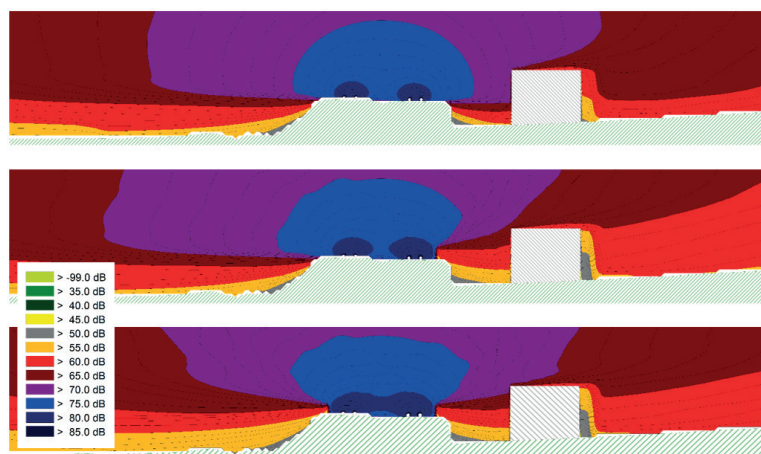


Figura 31: Análisis del nivel de presión en la fachada de un edificio tras la colocación de una pantalla acústica.

Tal como se muestra en la figura 31, la inclusión de una pantalla acústica entre la carretera y la fachada del edificio, disminuye el nivel de presión en toda la fachada, con una mejora significativa en aquellas que se encuentran sobre el mismo eje de la pantalla y los pisos superiores. Este comportamiento es típico de una pantalla acústica, siendo mejor o menor en función del tipo de pantalla, los materiales que la componen y el proceso de instalación.

Es posible reducir la reflectividad acústica de una pantalla acústica utilizando un material absorbente (por ejemplo, lana mineral, fibra de poliéster) con un revestimiento adecuado. Los materiales absorbentes alternativos incluyen superficies “duras” que son porosas o tienen cavidades resonantes. Para todas las pantallas acústicas, se deben evaluar las reflexiones múltiples y se deben especificar pantallas absorbentes cuando corresponda.

Alternativamente, dotar de una ligera inclinación a la pantalla acústica se puede utilizar para evitar las reflexiones múltiples y para reflejar el ruido lejos del receptor (figura 32). Una regla empírica es que inclinar una pantalla acústica hacia afuera tan solo 7° puede reducir los impactos de las reflexiones, la inclinación de la pantalla hacia el interior también podría ser beneficioso, por lo que sería oportuno estudiar ambas posibilidades.

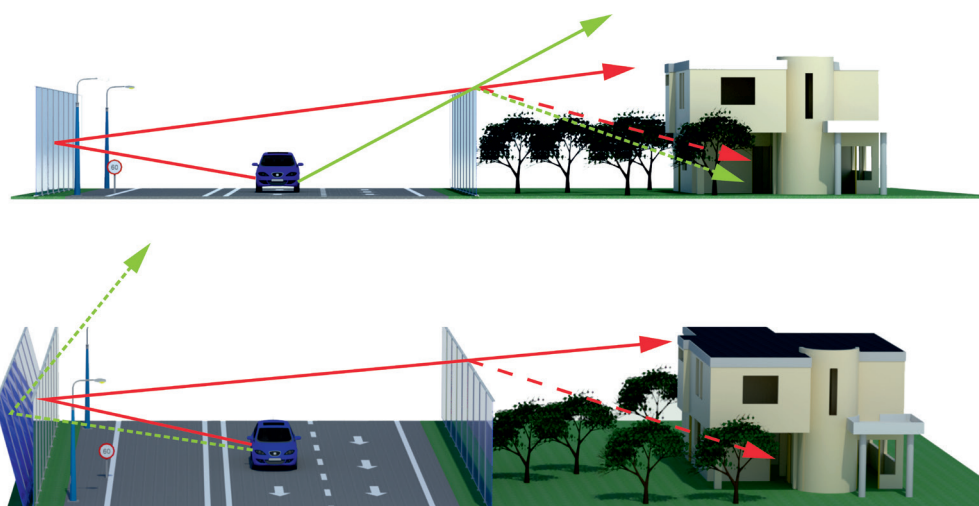


Figura 32: Comportamiento de las ondas de ruido frente a pantallas acústicas inclinadas.

Es el diseñador o proyectista el encargado de definir las propiedades acústicas (nivel de absorción) que tienen que tener las pantallas acústicas en cada caso par-

ticular. En nivel de absorción se define mediante el valor numérico del índice de absorción DL_{α} conforme a lo establecido en la norma UNE-EN 1793-1 cuando la pantalla está instalada en condiciones de campo difuso o mediante el valor numérico del índice de reflexión DL_{Rl} conforme a lo establecido en la norma UNE-EN 1793-5 cuando la pantalla está instalada en condiciones de campo directo.

Como ejemplos típicos de pantallas altamente absorbentes son las construidas con paneles acústicos metálicos o paneles de hormigón revestidos con una capa dentada de viruta de madera mezclada con cemento.

Asimismo, pantallas reflectantes son las pantallas de vidrio o de metacrilato, pero también lo son las pantallas de hormigón constituidas sólo por la capa de hormigón estructural, es decir, aquellas que carecen de capa porosa fonoabsorbente.

En algunas situaciones es necesario prever la utilización de pantallas absorbentes por las dos caras para evitar reflexiones no deseadas como se puede ver en la figura siguiente. Un caso típico es la instalación de pantallas acústicas en la mediana de las autopistas:

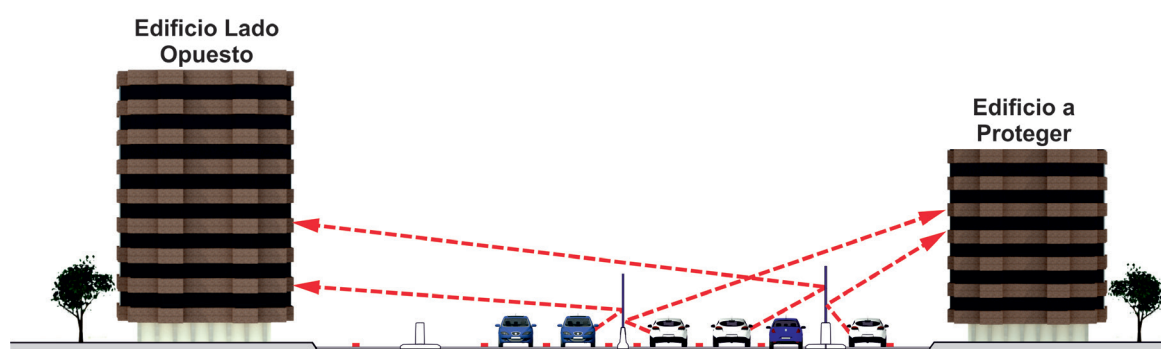


Figura 33: Esquema de pantallas absorbentes por las dos caras.

4.2.2. Tipologías en función de los materiales de los que están constituidas. Requisitos mínimos

Cuando se requiere un rendimiento de bajo a moderado de una pantalla acústica, es decir, una reducción de menos de 10 dB, el material con el que se construirá la pantalla no es crítico desde una perspectiva acústica, (aunque otras consideraciones como el medio ambiente, el mantenimiento y la estética siguen siendo importantes). Para una reducción de ruido superior a 10 dB, o cuando la altura de la pantalla

supera los 2 m, desde una perspectiva acústica, la selección del material se vuelve más importante.

La reducción del ruido transmitido a través de una pantalla se mide como el “aislamiento del ruido aéreo”. El material de la pantalla debe seleccionarse para reducir el ruido transmitido a través de la pantalla en al menos 10 dB más que la reducción general deseada del ruido de la pantalla, por ejemplo, si la pantalla debe proporcionar una reducción general de 15 dB, el material de la pantalla debe reducir la transmisión a través de la pantalla en al menos 25 dB. Esto asegura que la ruta de ruido principal a considerar en el diseño acústico sea la ruta de ruido difractado (sobre la parte superior). Para lograr esto, las pantallas generalmente deben construirse con materiales que tengan una masa superficial de al menos 20 kg/m² y que estén construidas sin huecos o espacios que generen fugas acústicas. Cualquier abertura en una pantalla contra el ruido, ya sea debido a problemas de los materiales o fallas de diseño/construcción, puede disminuir los valores de aislamiento del ruido aéreo y puede comprometer seriamente el rendimiento general de una pantalla acústica.

A continuación, se hace una descripción detallada de los tipos de pantallas más habituales en función de los materiales con los que son fabricadas, indicando los requisitos mínimos (de absorción y aislamiento acústico, de resistencia mecánica, de durabilidad o geométricos) que serán especificados para las pantallas acústicas a instalar. La relación siguiente es necesariamente no exhaustiva pues frecuentemente aparecen en el mercado nuevas disposiciones y materiales.

De manera excepcional, se podrá justificadamente solicitar autorización a los servicios centrales de la Dirección General de Carreteras el empleo de materiales con especificaciones distintas de las indicadas en los siguientes puntos.

4.2.2.1. Pantallas acústicas metálicas de acero y/o aluminio

Los paneles acústicos metálicos utilizados en la construcción de las pantallas acústicas metálicas consisten en una estructura en forma de caja (de acero o aluminio), en cuyo interior se inserta una placa fonoabsorbente de material fibroso, generalmente de lana de roca o de fibra de poliéster. Son pantallas altamente absorbentes, por lo que son ampliamente utilizadas cuando se necesita evitar las reflexiones.

4.2.2.2. Pantallas acústicas de hormigón

Los paneles de hormigón que se utilizan como pantallas acústicas generalmente consisten en una capa de carga de hormigón armado, combinada con una capa de material poroso.

La capa portante, con un espesor mínimo de 8 cm y clase $f_{ck} \geq 30$ N/mm², asegura las propiedades aislantes del panel, mientras que la capa porosa asegura las propiedades fonoabsorbentes, gracias a su geometría y al material del que puede estar hecho (gránulos de arcilla expandida o lapilli volcánico, mezcla de cemento y fibra de madera mineralizada, granza de neumático reciclado, etc.).

Las dos capas se combinan normalmente en la fase de hormigonado con la técnica de húmedo sobre húmedo que, si se realiza con tiempos de hormigonado cortos, asegura la homogeneidad del panel, para garantizar el endurecimiento simultáneo durante el fenómeno del fraguado.

Alternativamente, se prevé la producción de módulos fonoabsorbentes en material poroso aligerado (gránulos de arcilla expandida o lapillus volcánico o mezcla de cemento y fibra de madera mineralizada), con la fabricación de bloques prefabricados, aplicados posteriormente a la capa de hormigón armado en la fase de hormigonado, o mediante anclajes mecánicos.

4.2.2.3. Paneles acústicos de madera

Los paneles de madera utilizados como pantallas acústicas se componen generalmente de un marco en forma de caja (de madera laminada, madera “dura”, etc.), en el interior del cual se inserta una capa fonoabsorbente, de material fibroso, protegida por una malla antipolvo, generalmente de polietileno.

4.2.2.4. Pantallas acústicas de PVC

Estos paneles consisten en una estructura en forma de caja de PVC, en cuyo interior se inserta una capa fonoabsorbente de material fibroso. Dicha caja puede ser fabricada por extrusión en una sola pieza o en varias.

Tienen algunas ventajas frente a otras tipologías como son su resistencia a la corrosión, el bajo mantenimiento (revestimiento repelente al agua y la suciedad),

tienen una vida útil extremadamente larga , su ligereza ($< 25 \text{ kg/m}^2$) y por tanto la rapidez y sencillez de instalación y una muy buena resistencia química.

Se pueden fabricar con PVC 100 % reciclado y reciclable y los grafitis son fáciles de limpiar sobre este tipo de superficie.

4.2.2.5. Pantallas acústicas de polimetilmetacrilato (pmma) o policarbonato con protección UV

Este tipo de panel está formado por una placa de material traslúcido o transparente generalmente enmarcado con perfiles metálicos que aportan rigidez al panel acústico. Entre el enmarcado metálico y la placa se colocan juntas EPDM para evitar que el enmarcado metálico dañe la placa acrílica, facilitando las dilataciones/contracciones diferenciales entre el enmarcado y la placa.

4.2.2.6. Pantallas acústicas de vidrio

Los paneles de vidrio antirruído, por razones de seguridad, deben estar fabricados exclusivamente con láminas de vidrio laminado templado o endurecido. El vidrio laminado está formado por dos o más láminas de vidrio, también de distinta naturaleza y espesor, con interposición de una película plástica de polivinilo butiral (PVB), con un espesor mínimo de 1,52 mm, aplicada en autoclave a presión y temperatura controladas.

Las láminas individuales se someten a un tratamiento térmico de templado o endurecimiento, según el tipo de aplicación, la resistencia que se deba garantizar y el grado de seguridad que se pretenda conseguir en caso de impacto. El tratamiento de templado añade, al nivel de seguridad debido a la estratificación, los resultados de mayor resistencia mecánica y a los choques térmicos, mejorando la seguridad de uso del producto, especialmente en el caso de aplicación en pantallas acústicas instaladas en las inmediaciones de la carretera.

En el caso de utilizar láminas curvas, es preferible la estratificación de dos o más vidrios templados de la misma naturaleza y espesor.

Si las láminas se aplican sobre el techo, se recomienda el uso de vidrio laminado compuesto por una lámina templada y otra termoendurecida ya que el vidrio tem-

plado tiene una mejor resistencia mecánica, mientras que el vidrio termoendurecido tiene una mayor compacidad en caso de rotura que el vidrio templado estratificado, presentando una fragmentación en piezas de grandes dimensiones.

4.2.2.7. Pantallas de materiales plásticos reciclados procedentes de la fracción de rechazo de los vertederos

Las pantallas acústicas de madera polimérica procedente de plásticos reciclados o de rechazo están, usualmente, compuestas por paneles modulares plásticos dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte. El diseño y características geométricas de los paneles modulares pueden variar según sea el fabricante, siendo habituales espesores comprendidos entre 50 mm y 150 mm, alturas de panel de entre 150 mm y 500 mm y longitudes de hasta 5000 mm en función de la interdistancia entre postes de la estructura soporte.

Resulta recomendable siempre que sea posible, por razones de coste, fijar una interdistancia entre postes soporte de 4000 o 5000 mm. Las separaciones menores entre postes se deben reservar para los casos en los que las condiciones de resistencia a cargas y de diseño de los anclajes y cimentaciones, así lo requieran.

Las soluciones constructivas del armazón o estructura soporte, deberán permitir en caso de avería la fácil reparación del tramo afectado.

4.2.3. Otras tipologías

En este apartado se hace mención a otras tipologías de pantallas acústicas no tan habituales y que no están recogidas en los puntos anteriores pero que pueden ser soluciones igualmente válidas en proyectos de carreteras para determinados casos.

4.2.3.1. Caballones o diques de tierra

En entornos rurales o semirurales, los diques de tierra ajardinados pueden ofrecer una solución más atractiva que las pantallas acústicas y pueden, una vez vegetalizados por completo, volverse irreconocibles como pantallas acústicas. Los terraplenes o caballones de tierra se pueden utilizar solos o con una pantalla acústica encima. También brindan la oportunidad de utilizar el exceso de tierras de

un proyecto. La principal limitación para su uso es la necesidad de un amplio espacio en los laterales de la carretera lo que en muchas ocasiones hace inviable este tipo de solución.

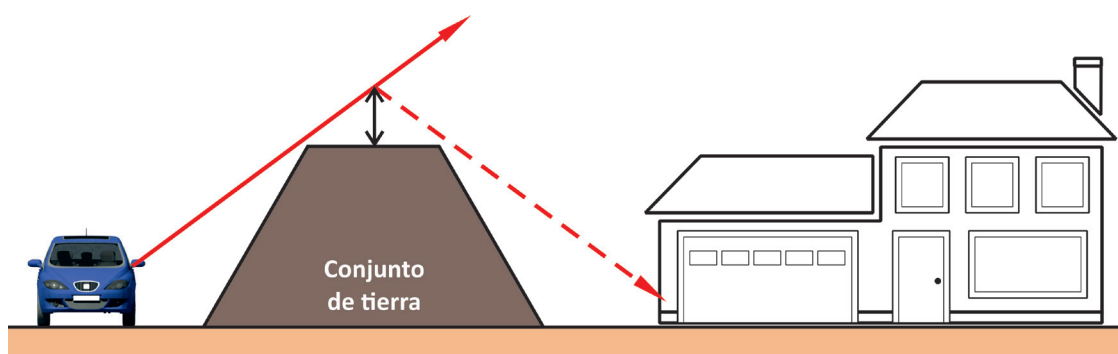


Figura 34: Comportamiento de las ondas sonoras frente a un caballón o dique de tierra.

4.2.3.2. Vegetación

Existe la creencia común de que la vegetación se puede emplear como pantalla contra el ruido. Por lo general, la vegetación no es una barrera eficaz contra el ruido y una franja de 20 m de ancho de árboles adecuadamente densos solo puede reducir el ruido hasta en 3 dB cuando obstruye la línea de visión entre la fuente y el receptor. El papel de la plantación en la reducción del ruido es principalmente psicológico (si no puede ver el tráfico, reduce la percepción del ruido), aunque esta puede ser una poderosa herramienta de mitigación en sí misma. A menudo, la eliminación de la vegetación entre las casas y la carretera puede desencadenar quejas por ruido, y los residentes experimentan un aumento percibido del ruido, en lugar de un aumento real. Esta debe ser una consideración importante al emprender cualquier retirada de vegetación al borde de la carretera.

4.2.4. Dispositivos especiales (juntas de dilatación)

El tránsito de vehículos por los empalmes de carreteras “tradicionales” puede provocar un aumento del ruido incluso superior a 10 dB(A); en su caso, con el fin de reducir el mencionado incremento, se podrán instalar las denominadas “juntas silenciosas”, entendiendo por tales aquellas juntas que, respecto a los tramos adyacentes, generan incrementos del nivel sonoro equivalente (LAeq) inferiores a los valores reportados en la siguiente tabla 5:

Tabla 5: Incrementos en los niveles de ruido inducidos por el tránsito de vehículo sobre “juntas silenciosas”.

Pequeñas juntas de expansión (< 50 mm)		Juntas de gran recorrido (> 50 mm)	
Tipo de vehículo	Decibelios (a)	Tipo de vehículo	Decibelios (a)
Ligero	1.5	Ligero	2.5
Pesado	2.0	Pesado	3.0

Para asegurar el eficaz funcionamiento de las citadas juntas, la instalación debe ser realizada por personal de probada experiencia, a fin de evitar desalineaciones verticales que inevitablemente aumentan su ruido, aunque no sean directamente imputables a la propia junta.

Para comprobar la reducción efectiva del ruido inducido por la instalación de juntas silenciosas en viaductos, puentes, etc., se deberán realizar mediciones del nivel sonoro, en la forma indicada en la legislación específica vigente.

En este caso, el método de caracterización a utilizar es el *Statistical Pass-By* (SPB), regulado por la Norma EN ISO 11819-1: “Medida de la influencia de las superficies de las carreteras en el ruido del tráfico. Método estadístico aplicado al tráfico de paso”.

4.2.5. Difractores en coronación de pantallas

El rendimiento acústico de una pantalla vertical independientemente del material que la compone se rige por la difracción del sonido en su borde superior. Si bien, cuando se agrega un elemento con ciertas geometrías en coronación de la pantalla, este elemento mejora el rendimiento respecto al índice de pérdida por transmisión de la propia pantalla. Sobre el comportamiento de la forma en coronación de una pantalla acústica se han realizado múltiples estudios en lo relativo al tamaño, materiales, forma, etc. Este apartado resalta a manera de resumen las formas más generales y utilizadas actualmente:

- **Coronación en forma de T.** Este perfil geométrico consiste en dos elementos acoplados entre sí formando un ángulo de 90 grados a manera de “T”. Aunque se pueden fabricar en diversos materiales y tamaños, de manera general un elemento de 1 m de ancho colocado en una pantalla vertical produce una atenuación aproximada de 1 dBA mayor que una pantalla delgada de altura igual a la altura efectiva de esta pantalla en forma de “T”. En pruebas de modelos a escala real, el *Transport Research*

Laboratory (TRL) informó de beneficios de 2 a 3 dBA cuando se usaban elementos de entre 1 m y 2 m de ancho junto con material absorbente, y un beneficio de 1,4 dBA para un elemento de 1 m de ancho sin material absorbente.

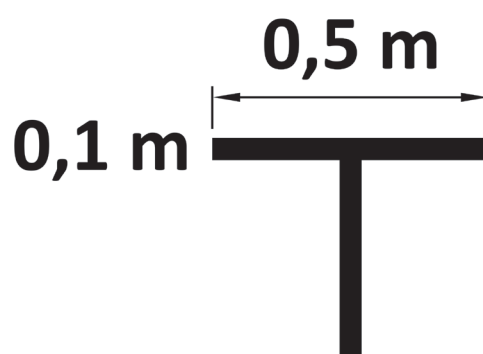


Figura 35: Detalle de coronación en forma de "T".

- **Coronación en forma de Y.** Una de las modificaciones desarrolladas en Japón a geometrías en forma de T ha sido la transformación del ángulo en el extremo de la terminación, creando así cuatro bordes de difracción. El lado del tráfico de la pantalla y en el interior de las pequeñas formas de "Y" están revestidos generalmente con materiales absorbentes de sonido. Diversos estudios han demostrado, con modelos a escala real, mejoras sustanciales para esta forma de "Y" con respecto a una pantalla vertical de igual altura. Se obtuvieron mejoras de hasta 10 dB sobre el desempeño de una pantalla vertical a aproximadamente 500 Hz, valor que se atribuye a la interferencia destructiva del sonido debido a la propia forma de las terminaciones. Al igual que el caso anterior, se debe tener en cuenta que los resultados tienden a exagerar el beneficio ya que no tienen en cuenta la altura efectiva de la pantalla vertical equivalente.

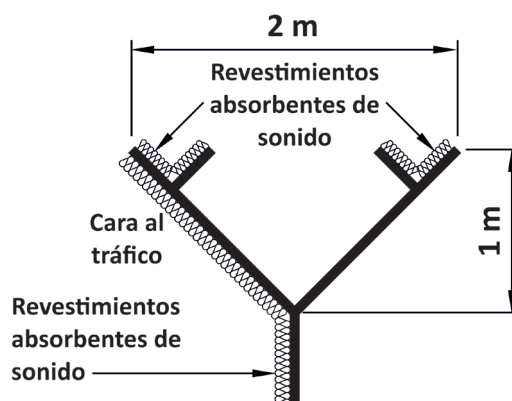


Figura 36: Detalle de coronación en forma de "Y".

- **Terminaciones tubulares.** Dentro de la diversidad de formas tubulares con pequeñas variaciones en el radio de la curvatura, materiales y tamaños, las formas más populares son cilíndricas o en forma de hongo y están fabricadas con materiales reflectantes o absorbentes de sonido. Algunos estudios basados en cálculos numéricos, con elementos de contorno, han obtenido mejoras de 3 dBA para un cilindro absorbente, en comparación con el rendimiento de una pantalla vertical reflectante de la misma altura total. No se encontraron diferencias significativas entre la pantalla vertical y la cubierta con un cilindro reflectante. En algunos estudios en pruebas *in situ* a gran escala han demostrado que un cilindro de 0,5 de diámetro proporciona una mejora de 2 a 3 dBA con un mayor efecto de mejora en el rango de 1 a 1,6 kHz. Concluyen que, aunque la mejora es poca, esta es equivalente a la que se obtendría elevando la altura de la pantalla vertical unos 2 m. La forma “cilíndrica” con frecuencia consiste en una sección en forma de hongo de 0,6 m de ancho que se puede sujetar fácilmente a la parte superior de las pantallas verticales existentes. En general, se estima que la mejora de este tipo de dispositivos es de aproximadamente 2 dB.

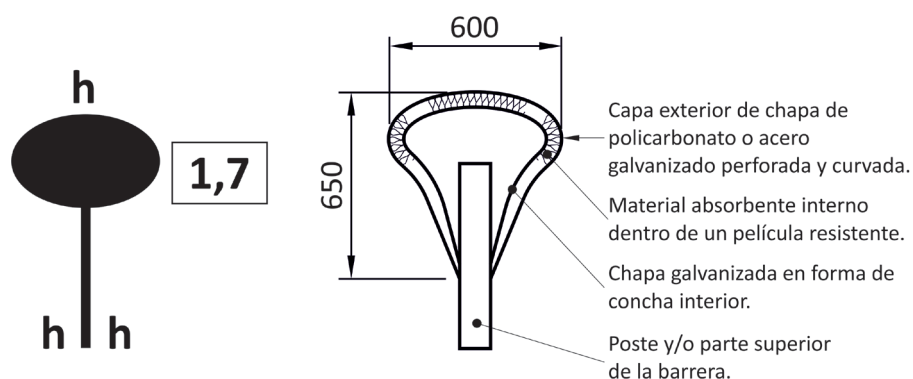


Figura 37: Detalle de coronación de tipo tubular.

- **Pantallas de múltiples bordes.** En el proceso de estudio de la forma “T”, se han investigado las mejoras de usar múltiples formas de difracción en coronación. Los resultados de modelos a escala real muestran mejoras de aproximadamente 2,5 dBA para pantallas con elementos de difracción en coronación. Cabe señalar que estas mejoras se expresan como relativas a una pantalla vertical de igual altura, y en estos resultados no se tiene en cuenta la atenuación adicional que se esperarí de una pantalla vertical de la altura efectiva de la pantalla de múltiples bordes.

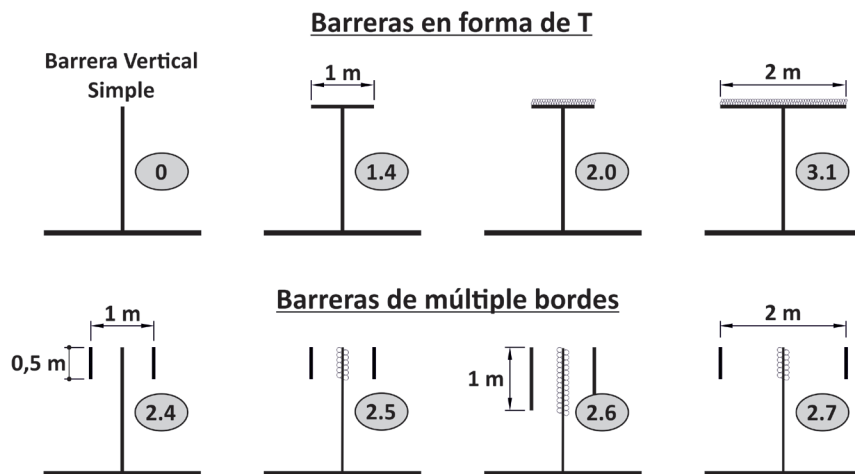


Figura 38: Diseños de pantallas de múltiples bordes.

- **Dispositivos de interferencia de fase pasiva.** El fenómeno de interferencia destructiva, que consiste en la atenuación de una onda debido a la diferencia de fase respecto a otra onda de la misma frecuencia, se emplea para crear dispositivos reductores de ruido para pantallas acústicas en su coronación capaces de mejorar la pérdida por inserción del conjunto. El dispositivo consiste en una caja abierta en la parte superior que se encaja en la pantalla acústica vertical. El sonido es difractado en el borde superior de la pantalla ingresando a la caja a través de cuatro canales en ángulo y, debido a las longitudes desiguales de estos canales se produce una interferencia destructiva en las salidas. Este tipo de dispositivos ofrecen mejoras de atenuación de hasta 6 dBA, pero realizando ensayos *in situ* de un modelo a escala evidencia mejoras por debajo de los 6 dBA. De hecho, algunos estudios demuestran mejoras de media de 1,9 dBA, de los cuales 0,7 dBA son atribuidos al efecto de interferencia, y el resto a la difracción en los bordes frontal y posterior del dispositivo.

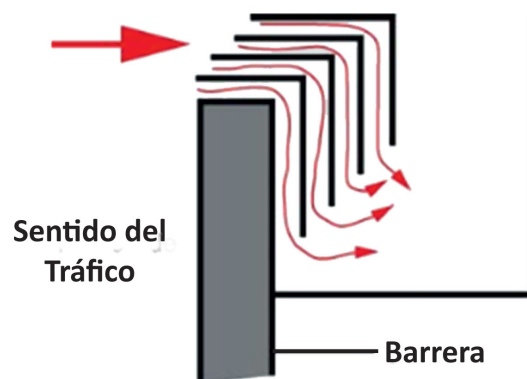


Figura 39: Detalle de dispositivos de interferencia de fase pasiva.

Aunque el dispositivo puede estar sintonizado a un ancho de banda estrecho debido a las propias restricciones geométricas del elemento difractor, a baja frecuencia no se alcanza una mejora mayor que empleando un simple elemento en forma de T, y para frecuencias superiores a 1 kHz se obtienen mejoras de hasta 10 dB para el ancho de banda sintonizado.

De manera general, la combinación de estas geometrías básicas en la coronación de una pantalla acústica, trae consigo una mejora en la pérdida por inserción debido a difracción que es provocada por la forma del elemento, modificando el campo acústico y creando interferencia y difracción que benefician la atenuación del sonido. En este sentido, algunos estudios han evaluado el comportamiento de presión debido a la modificación del material, forma y tamaño para un conjunto de elementos en coronación de una pantalla acústica, empleando métodos numéricos de elementos de contorno. Para ello, la siguiente figura muestra ilustraciones de pantallas probadas en el suelo rígido. Cada pantalla tiene una longitud infinita y la sección transversal de cada una es uniforme a lo largo de la misma. Atendiendo a su configuración se nombran tal como se muestran en la figura.

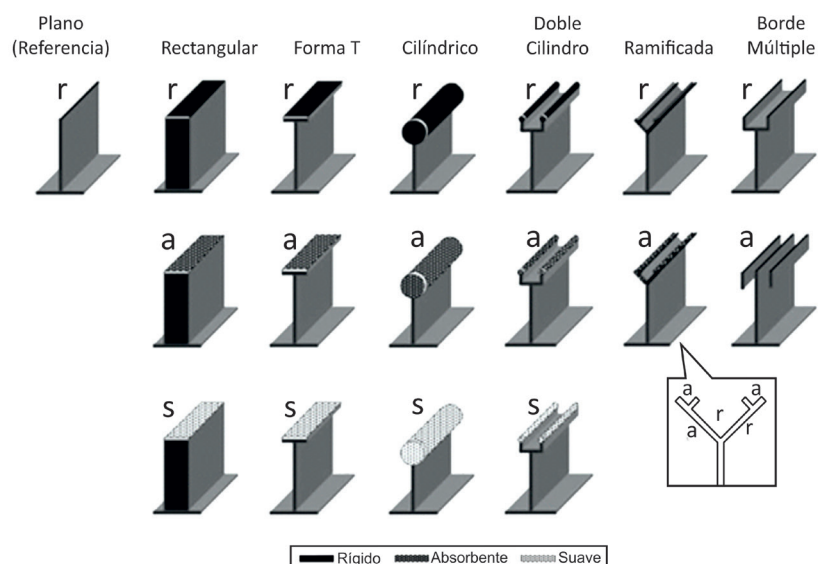


Figura 40: Detalle de tipologías de coronación en pantallas acústicas.

La pantalla con terminación de doble cilindro presenta dos bordes cilíndricos de 0,25 m de diámetro y separados por 0,75 m. Para la pantalla con terminación ramificada, las dos terminaciones a los extremos son más cortas y de un tamaño de la cuarta parte de la más grande, formando un ángulo recto en cada bifurcación. El tipo de pantalla denominada “múltiple terminación” incluye dos pantallas con diferente estructura de borde. La primera tiene dos bordes separados por 1 m entre sí,

mientras que la segunda tiene dos paneles laterales a ambos lados de la pantalla principal separados por 0,5 m.

La pantalla lisa, delgada y rígida, con altura de 3 a 10 m cada 1 m se emplean como pantallas de referencia. Así, los resultados de la pantalla lisa de 3 m de altura se utilizan como valor estándar cuando se evalúa el desempeño de las diferentes pantallas.

Los resultados son evaluados para una fuente a una distancia de 8 m en la línea central de la pantalla sobre una superficie de suelo rígido. La fuente se ha ubicado sobre la superficie del suelo para evitar los posibles efectos de interferencia que surgen cuando el sonido es reflejado por el suelo en el lado de la fuente. Esta interferencia hace que la evaluación de la eficiencia de la pantalla sea más difícil de determinar. Así, la siguiente figura muestra los resultados del índice de aislamiento partiendo de la referencia de la pantalla lisa a 3 m de altura. Las muestras se organizan de acuerdo con su configuración y rendimiento. Las posiciones más altas en la figura representan las pantallas más efectivas. La pantalla simple se coloca en la columna de la extrema izquierda haciendo referencia esta, se puede estimar la altura de la pantalla simple que proporcionará el mismo rendimiento que cada pantalla personalizada. Para indicar el tipo de acabado de la terminación, se han empleado las letras “s” para una terminación blanda; “r” para una terminación rígida y una “a” para una terminación absorbente.

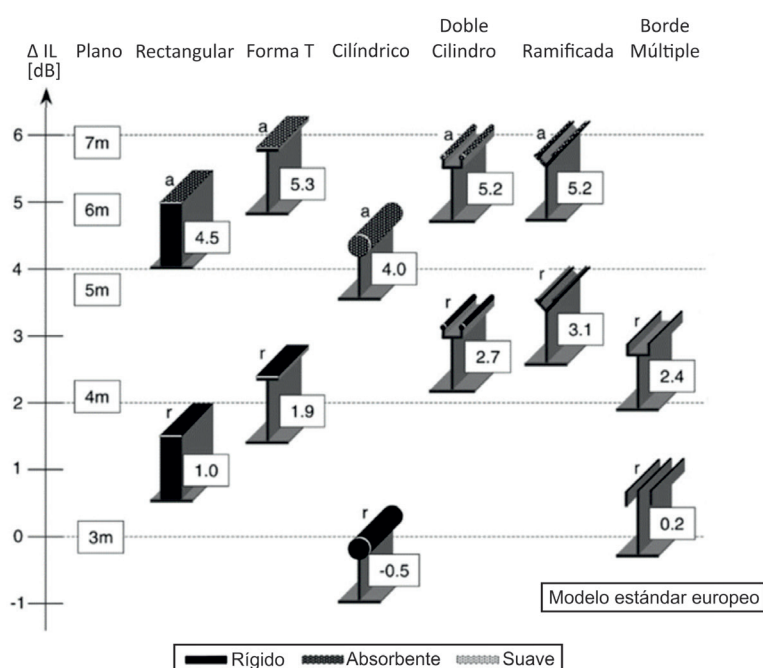


Figura 41: Resultados del análisis de efectividad para las diferentes tipologías de coronación en pantallas acústicas.

En general, los efectos de dispositivos en borde de coronación son superiores a los de diseños de pantallas convencionales verticales. Para el mismo diseño, una superficie absorbente produce aproximadamente un aumento de 2 a 4 dB en la pérdida por inserción IL respecto a una superficie rígida. Como resultado, una pantalla absorbente de 3 m de altura funciona de manera similar a una pantalla simple de 6 m de altura. Para superficies blandas, estos valores dan como resultados un aumento aproximado de 6 a 8 dB respecto a una pantalla simple equivalente de 10 de altura.

En algunos casos estos dispositivos añadidos pueden diseñarse para servir adicionalmente como jardineras de forma que permiten una mejor integración paisajística de las pantallas acústicas.



Figura 42: Vista de un difractor-jardinera después de su instalación sobre una pantalla de madera.

4.2.6. Cubiertas parciales o totales de la carretera. Galerías antirruido

Una galería antirruido es una solución híbrida en la que una pantalla en voladizo sustancial cubre completamente los carriles de tráfico del lado cercano, ubicándolos efectivamente en el túnel, y luego se extiende sobre algunos o todos los carriles de tráfico del lado opuesto. Esta es una forma de pantalla altamente efectiva y no tiene

las desventajas del aumento del ruido y la disminución de la calidad del aire asociados con los portales de los túneles.

Desde el punto de vista urbano y en zonas densamente edificadas, la mejor solución, es hacer pasar la carretera por un túnel o galería. Este tipo de alternativas tienen un mayor costo económico y comporta un riesgo de impacto durante las fases de construcción y de explotación, además no siempre es viable la construcción de galerías debido a la topografía, al estado del suelo, al drenaje del agua y a la reglamentación técnica correspondiente.



Figura 43: Cubierta parcial en la carretera A63 en Bidart (Francia).



Figura 44: Galería quasi-total en los accesos a Olabeaga en Bilbao.



Figura 45: Cubierta total de la vía en Italia.

Gracias a las nuevas tecnologías, en una zona edificada, una galería o tramo deprimido de túnel realizado en una roca dura puede ser una solución mejor y, en algunos casos, más económica que una carretera convencional a la que se le añada la indispensable protección contra el ruido. Estas soluciones permiten reducir considerablemente el número de personas expuestas al ruido, en particular en las grandes áreas urbanas. La cubierta completa o parcial de la carretera, contribuye, igualmente, a la atenuación del efecto túnel que se produce dentro del entorno del perímetro marcado por muros y partes del techo. La construcción de este tipo de galerías es muchas veces más económica que un túnel tradicional y en ciudades importantes del mundo se ha adoptado esta alternativa, que a su vez ha servido para reducir otros “costos ambientales” que la construcción de carreteras trae consigo, como la contaminación atmosférica, la seguridad vial, etc. En Holanda, la experiencia indica que el coste estimado de la cubierta de una autopista con dos vías de tres carriles es, aproximadamente, de 50 millones de dólares por km. En Noruega, para construcciones en galerías, se estiman unos valores de 10-15 millones de dólares por km, para una carretera de dos carriles, y de 30-50 millones de dólares, para una compuesta por seis carriles.

Así, la siguiente figura muestra algunas alternativas para dar cubrimiento total o parcial en una carretera a nivel del terreno o por debajo de este.

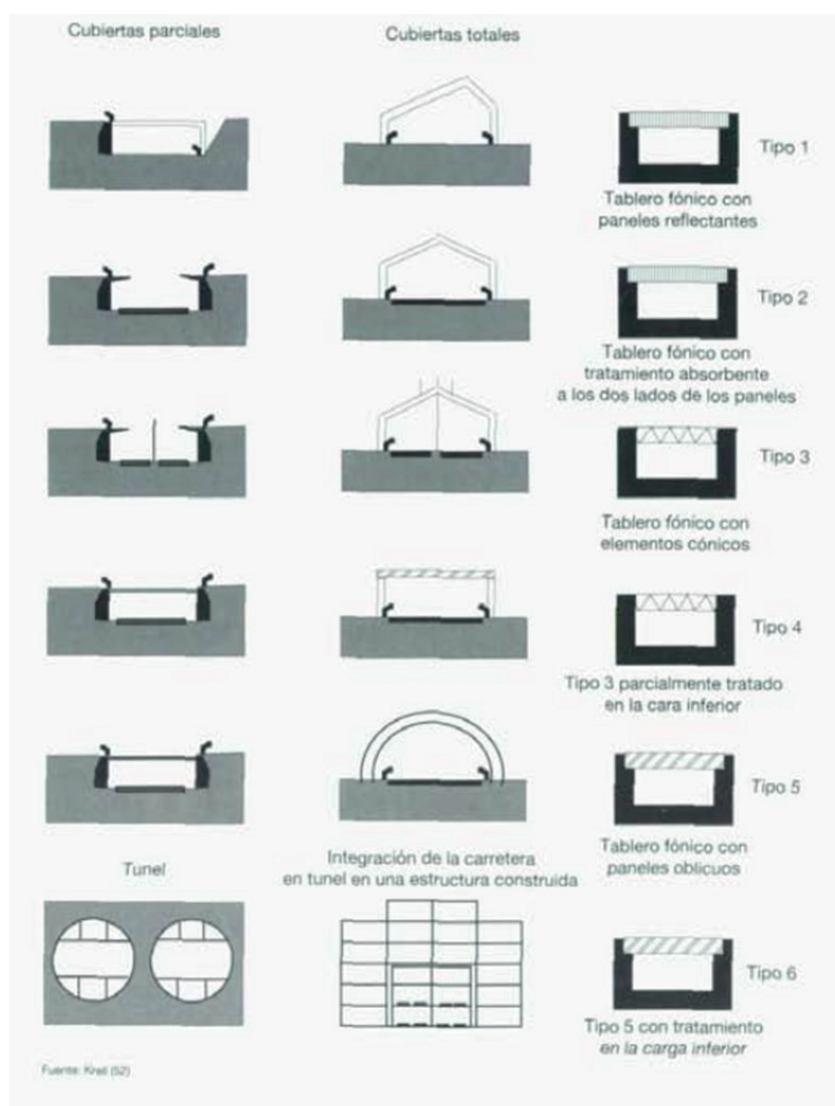


Figura 46: Detalle de las opciones existentes para la cubrición de una carretera.

Los túneles artificiales, que representan la cobertura total de la infraestructura vial, pueden construirse con estructuras portantes de acero u hormigón. Los módulos de cierre son generalmente de metal, hormigón o con placas transparentes de metacrilato.

Para las características técnicas de estos productos, ajustarse a lo informado en los respectivos párrafos según la tipología de paneles acústicos utilizados.

Por motivos de seguridad, iluminación, así como de evacuación de humos, las cubiertas pueden integrarse con sistemas de cribado total al aire libre con deflecto-

res, capaces de permitir tanto una buena iluminación como una buena ventilación de la infraestructura; en este caso, la pantalla consta de una estructura de soporte principal, a la que se fijan los paneles deflectores.

Los túneles artificiales y los sistemas de cubierta abierta son intervenciones capaces de garantizar la reducción de ruido necesaria para todos los receptores implicados, incluso en correspondencia con las plantas superiores de los edificios, para los que las intervenciones de protección con pantallas acústicas son generalmente insuficientes.

El sistema de protección acústica consistente en la construcción de túneles artificiales puede plantearse tanto como una intervención aislada como una continuación artificial de los túneles de carretera, en situaciones en las que los receptores se distribuyen por el tramo de entrada.

En ambos casos, las evaluaciones acústicas deben complementarse con controles de ingeniería de iluminación; en particular, cuando el túnel artificial se construya en continuidad con un túnel de carretera, el estudio de iluminación deberá considerar las posibles interferencias con el sistema de iluminación de este último.

De darse esta situación, la construcción del túnel artificial puede implicar la necesidad de dotar de sistemas adicionales, o también permitir una contención de la potencia instalada para el sistema de refuerzo del túnel de carretera.

En cuanto a la declaración de prestaciones para el marcado CE, en el caso del túnel artificial se trata de sus sistemas componentes fundamentales, es decir tanto el sistema de pared (pantalla) como el sistema de cubierta (cerrada o en el caso de rejilla defletores).

Por otra parte, y como se ha visto en apartados anteriores, el cubrir de manera total una carretera formando un túnel, implica mayores niveles de ruido en la boca de entrada y salida de este. De la misma forma, para el caso de galerías existen alternativas para reducir el nivel de ruido generado debido a las múltiples reflexiones en los contornos de este.

- **Paneles porosos de hormigón.** Son elementos pesados y de mayor dificultad para su instalación. Tienen un bajo coeficiente de absorción acústica entre $3 \leq DL\alpha \leq 5$ dBA.



Figura 47: Vista de paneles porosos de hormigón.

- **Paneles de PVC reciclado con lana mineral.** Son elementos relativamente ligeros y fáciles de instalar respecto a las soluciones basadas en hormigón. Presentan el inconveniente de que su uso se restringe a zanjas a cielo abierto de carreteras y vías férreas que no tienen unos requisitos de resistencia al fuego tan severos como en los túneles. También tienen un alto coeficiente de absorción acústica $12 \leq DL\alpha \leq 17$ dBA.

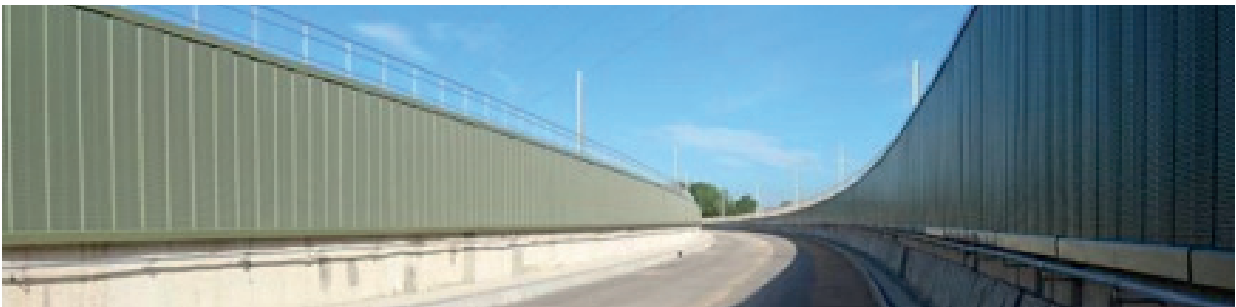


Figura 48: Vista de un revestimiento con panel de PVC reciclado con lana mineral.

- **Paneles de madera con fibra de vidrio.** Al igual que los paneles de PVC, la instalación de este tipo de paneles de madera es sencilla. Como inconveniente es de resaltar que su uso está restringido a zanjas a cielo abierto de carreteras y a vías férreas que no tienen requisitos especiales de resistencia al fuego. Como ventaja tienen un elevado coeficiente de absorción acústica, de en torno a $12 \leq DL\alpha \leq 17$ dBA.



Figura 49: Vista de paneles de madera con fibra de vidrio.

4.2.7. Sistemas de contención, distancia a obstáculos

Los criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos en la Red de Carreteras del Estado se establecen en la **Orden Circular 35/2014 sobre Criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos**. Serán de aplicación todos los criterios establecidos en la citada orden circular. En este apartado se resaltan algunos de los aspectos más importantes que deben ser tenidos en cuenta cuando se trata de proteger adecuadamente a los usuarios de la vía de un posible impacto contra una pantalla acústica.

La Orden Circular 35/2014, en su apartado 2.1 Consideraciones previas, indica que en el proyecto de una carretera se debe realizar un análisis de los márgenes de la plataforma para identificar los elementos o situaciones de potencial riesgo. En este sentido, hace una relación de posibles elementos o situaciones de potencial riesgo, entre las que se encuentran las siguientes:

- [...] Las dotaciones viales que sobresalgan del terreno, tales como báculos de iluminación, elementos de sustentación de carteles, pórticos y banderolas, postes SOS, **pantallas acústicas**, etc.

Por tanto, las pantallas acústicas constituyen un elemento de riesgo de acuerdo con la Orden Circular 35/2014.

Por otro lado, la Orden Circular 35/2014, en su apartado **2.2. Criterios de instalación** clasifica los elementos de riesgo según su nivel de riesgo, en su apartado b), indica lo siguiente:

b. Riesgo de accidente grave [...]

b.3. Velocidad de proyecto V_p superior a 60 km/h y existencia en las proximidades de:

- Elementos en los que un choque pueda producir la caída de objetos de gran masa sobre la plataforma (tales como pilas de pasos superiores, pórticos o banderolas de señalización, estructuras de edificios, **pantallas acústicas** y otros similares).

En caso de que la V_p sea igual o inferior a 60 km/h (caso en el que falta alguno de los requisitos para ser considerado como accidente grave), se considerará **riesgo de accidente normal**.

La distancia mínima en m, medida desde el borde exterior de la marca vial, a la que debe estar una pantalla acústica para no ser considerada un elemento de riesgo, se define en la tabla 1 de la mencionada Orden Circular 35/2014, y depende del tipo de carretera, trazado, pendiente de los márgenes y riesgo de accidente.

Tabla 6: Distancias por debajo de las cuales un obstáculo debe considerarse un riesgo.

Tipo de carretera	Tipo de alineación	Talud (*) transversal del margen (**) Horizontal: vertical	Riesgo de accidente	
			Grave o muy grave	Normal
Carreteras de calzada única	Recta, lados interiores de curvas, lado exterior de una curva de radio > 1 500 m	> 8:1	7,5	4,5
		8:1 a 5:1	9	6
		< 5:1	12	8
	Lado exterior de una curva de radio < 1 500 m	> 8:1	12	10
		8:1 a 5:1	14	12
		< 5:1	16	14
Carreteras con calzadas separadas		> 8:1	10	6
		8:1 a 5:1	12	8
		< 5:1	14	10
		> 8:1	12	10
		8:1 a 5:1	14	12
		< 5:1	16	14
		< 5:1	16	14
		< 5:1	16	14

Fuente: Tabla 1 de la Orden Circular 35/2014.

(*) En todo el texto los taludes transversales del margen se expresan mediante la relación horizontal: vertical.

(**) Entre el borde exterior de la marca vial y el obstáculo o desnivel.

Si una pantalla acústica se encuentra situada a una distancia del borde de la calzada menor a la indicada en la tabla 6, y no es posible su ubicación en otro lugar, es necesario protegerla adecuadamente mediante un sistema de contención de vehículos.

También será necesario protegerla si se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- Está situada entre las dos plataformas de una divergencia de salida o bifurcación de la calzada, a una distancia inferior a 60 m a partir del punto de apertura de los carriles completos.
- Está situada en la mediana y a menos de 60 m del comienzo de la misma, en el paso de calzada única a calzadas separadas.

4.2.7.1. Empleo de sistemas de contención con pantalla acústica integrada

El empleo de este tipo de sistemas debe estar debidamente justificado por la falta de disponibilidad del espacio transversal mínimo requerido para la implantación de una pantalla acústica independiente del sistema de contención, y se utilizarán únicamente cuando no sea posible el empleo de alguno de los métodos recogidos en los apartados anteriores.

Los sistemas de contención con pantalla acústica integrada deben estar ensayados y certificados de acuerdo a la norma europea EN 1317 (marcado CE). En aquellos casos en los que se haya incorporado una pantalla acústica a un sistema de contención existente, el conjunto resultante formado por dicho sistema de contención y la pantalla acústica es, a todos los efectos, un sistema de contención distinto del sistema original.

El fabricante del sistema de contención con pantalla acústica integrada debe presentar la documentación que acredite que, tanto el sistema de contención como la pantalla acústica con los que han sido realizados los ensayos de choque a escala real según EN 1317 del certificado, son los mismos que se van a utilizar en la implantación que corresponda y, en particular, que la pantalla acústica integrada en el sistema de contención tiene la misma configuración (misma altura, misma distancia entre soportes), misma geometría y dimensiones y mismos elementos materiales constituyentes que en los ensayos de choque según EN 1317. Además, el fabricante del producto debe acreditar que el sistema de contención no produce el desprendimiento de objetos de gran masa ($\geq 2,0$ kg), tanto durante los ensayos de impacto a escala real, como ante cualquier otro impacto concebible.

El terreno sobre el que se va a cimentar o apoyar el sistema de contención con pantalla acústica integrada (suelo controlado, asfalto, hormigón...) debe ser el mismo que el utilizado en los ensayos según EN 1317.

En el caso de existir alguna discrepancia entre la documentación presentada y el sistema de contención con pantalla acústica integrada ensayado y/o instalado en obra, será responsabilidad del fabricante la subsanación del error y, en su caso, las responsabilidades económicas o legales que puedan derivarse.

5

**Normativa técnica
de aplicación
a dispositivos
reductores
de ruido**

Este documento se centra en las normas aplicables para las áreas de ruido viario, no del ferroviario. La aplicación a un entorno industrial puede implicar otros tipos de ruido y, por lo tanto, otros indicadores (w , R_A , $tr...$) y está fuera del alcance de esta guía. De forma más general, las normas a aplicar dependen directamente del entorno y de la geometría de la infraestructura, así como del tipo de campo sonoro asociado (campo libre, campo difuso). Por lo tanto, corresponde a los proyectistas encargados de realizar el diseño identificar el tipo de ruido y los indicadores apropiados.

Los siguientes documentos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha, se aplica la última edición del documento de referencia, incluidas las modificaciones.

– **Norma de producto:**

UNE-EN 14388. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Especificaciones.

– **Normas de soporte relativas al comportamiento acústico:**

UNE-EN 1793-1. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 1: Características intrínsecas relativas a la absorción sonora bajo condiciones de campo acústico difuso.

UNE-EN 1793-2. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 2: Características intrínsecas relativas al aislamiento al ruido aéreo en condiciones de campo de sonido difuso.

UNE-EN 1793-3. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 3: Espectro normalizado de ruido de tráfico.

UNE-EN 1793-4. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 4: Características intrínsecas. Valores *in situ* de la difracción sonora.

UNE-EN 1793-5. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 5: Características intrínsecas. Valores *in situ* de la reflexión sonora en condiciones de campo sonoro directo.

UNE-EN 1793-6. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 6: Características intrínsecas. Valores *in situ* del aislamiento al ruido aéreo en condiciones de campo sonoro directo.

– **Normas de soporte relativas al comportamiento no acústico:**

UNE-EN 1794-1. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Comportamiento no acústico. Parte 1: Comportamiento mecánico y requisitos de estabilidad.

UNE-EN 1794-2. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Comportamiento no acústico. Parte 2: Requisitos en relación con la seguridad general y el medio ambiente.

– **Normas de soporte relativas al comportamiento a largo plazo:**

UNE-EN 14389:2020 Dispositivos para reducir el ruido del tráfico rodado. Procedimientos para evaluar el rendimiento a largo plazo.

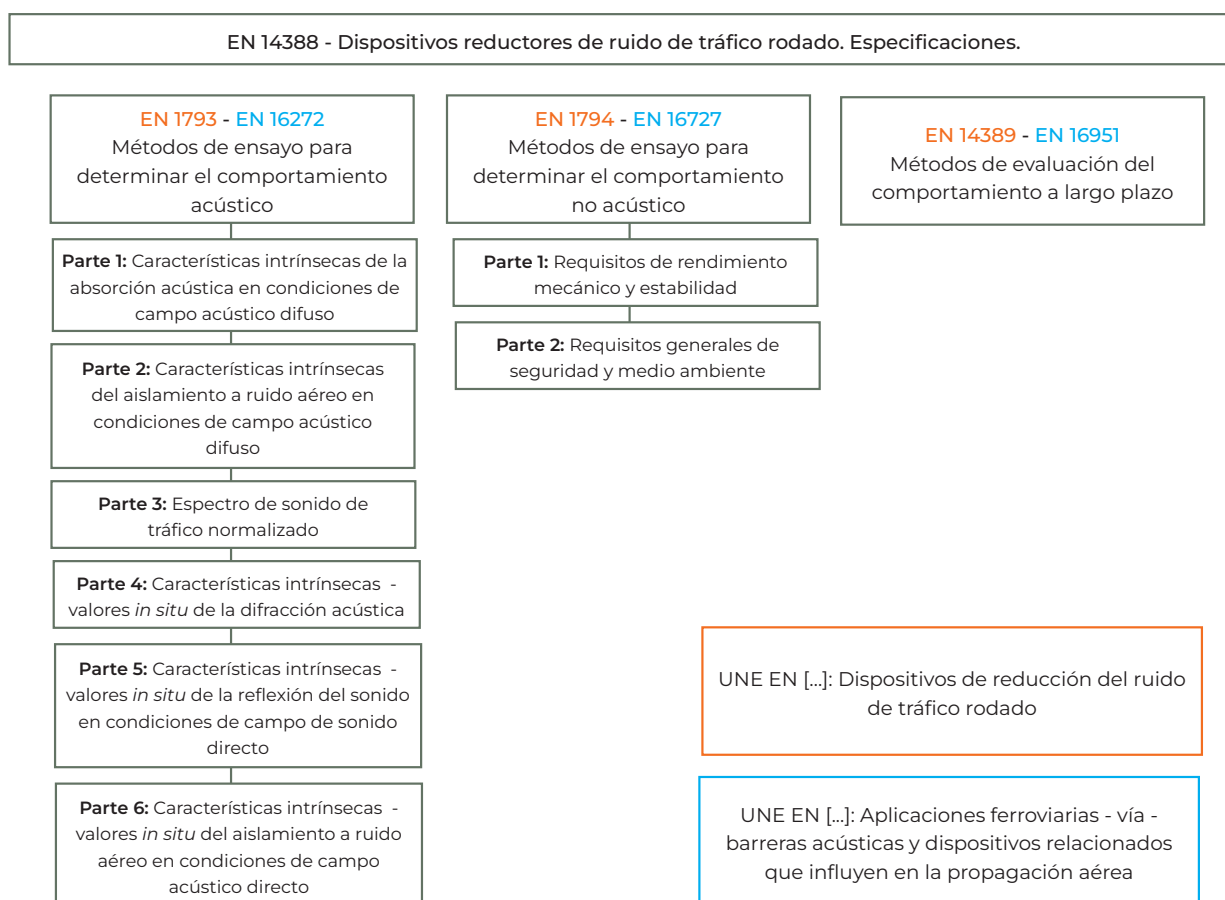


Figura 50: Nomenclatura de normas para dispositivos de reducción de ruido en el contexto del ruido vial y ferroviario.

5.1. Ensayos acústicos en campo difuso en cámaras normalizadas

5.1.1. Ensayo de absorción acústica en campo difuso conforme a la norma UNE-EN 1793-1

La absorción acústica valora la capacidad de un material para absorber la energía acústica que llega hasta él, convirtiendo esa energía en calor. La energía que no se absorbe se transmite a través de la pantalla o se refleja.

Cuando se instalan elementos de protección acústica en las carreteras se deben utilizar elementos absorbentes en la cara del tráfico para reducir la molestia adicional que se podría generar por el ruido reflejado en dichos elementos. Este tratamiento absorbente es necesario:

- Cuando los elementos acústicos, u otros elementos de la carretera puedan reflejar el ruido de esta hacia zonas desprotegidas.
- En carreteras en trinchera o superficies reflectantes que se enfrenten a otras, de forma que se pueda provocar un efecto de campo difuso, amplificando el ruido generado por el tráfico que circula por la vía.
- En las embocaduras de túneles o sus aproximaciones.
- Cuando el tráfico circule muy cerca de la pantalla acústica, en el caso de pantallas de altura similar a la altura de los vehículos, las reflexiones entre los vehículos y la propia pantalla puedan reducir notablemente la eficiencia de la misma (efecto *Noise Jumping*).

El procedimiento utilizado actualmente evalúa el comportamiento absorbente/reflectante de la pantalla en condiciones de campo reverberante, basándose en la norma de construcción UNE-EN 20354. Esta norma es adecuada para evaluar el comportamiento de estos elementos cuando el campo incidente es reverberante, como por ejemplo en túneles. La norma aporta valores que no se ajustan al comportamiento de los elementos absorbentes en campo libre, si bien ya se cuenta con una norma específica para la evaluación de esta propiedad al aire libre, la UNE-EN 1793-5.

– Norma de ensayo

El ensayo está descrito en la norma UNE-EN 1793-1 y debe ser ensayado por un laboratorio acreditado conforme a la norma UNE-EN ISO 17025, por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) en España o, en caso de laboratorios extranjeros, por una entidad internacional de acreditación que esté reconocida en España.

Se debe resaltar que la muestra debe ser medida sobre una superficie reflectante, no pudiendo ser evaluada su absorción en la misma disposición del ensayo de aislamiento, en la que la pantalla se aloja entre dos cámaras. El ensayo debería incluir al menos un poste en su configuración de medida.

También es importante asegurar el adecuado sellado perimetral de la pantalla, así como rellenar los huecos que pudieran quedar bajo el dispositivo, evitando los posibles efectos resonantes bajo la misma que podrían aportar una apariencia de absorción que no es real.



Figura 51. Disposición en laboratorio para ensayo de la absorción acústica.

Mediante esta norma en primer lugar se obtiene un espectro de coeficientes de absorción (α_{si}) por cada tercio de octava entre los 100 Hz y los 5000 Hz, con el que se obtiene un único valor de absorción DL_{α} , mediante la aplicación del espectro normalizado de ruido de tráfico de la norma UNE-EN 1793-3.

Esta norma solo evalúa pantallas planas, no siendo válida para la evaluación de pantallas con grandes discontinuidades y en especial con resonadores acústicos.

En la propia norma también se advierte que el valor único obtenido para la evaluación de la pantalla puede no ser válido en los casos en los que produzcan múltiples reflexiones, o bien en los que tras la reflexión, la onda acústica se vea sometida a algún tipo de difracción que puede acentuar las bajas frecuencias.

– Valor a declarar

DL_{α} en dB sobre el lado de absorción especificada de la pantalla. Aunque las primeras versiones de la norma UNE-EN 1793-1 incluía un anexo informativo con una serie de

clases (A0-A5), en la última versión de la norma se han eliminado las clases, ya que la propia incertidumbre de la medida podía hacer saltar a un producto de una clase a otra, por lo que se debe aportar únicamente el valor numérico del índice de absorción DL_{α} en dB en el marcado CE sin declarar clase alguna. Además, se debe aportar el espectro de absorción en función de la frecuencia (octavas o tercios de octava).

5.1.2. Ensayo de aislamiento acústico en campo difuso conforme a la norma UNE-EN 1793-2

El aislamiento acústico valora la capacidad del dispositivo de reducir la transmisión de la energía acústica que incide sobre el mismo.

La energía acústica que incide sobre un dispositivo reductor de ruido sobrepasa el dispositivo en parte por la energía que pasa a través del propio material (aislamiento), y en parte por la energía que bordea al dispositivo por efecto de la difracción. Por lo tanto la reducción acústica total del dispositivo dependerá del comportamiento del mismo en aislamiento y en difracción.

Sin embargo la reducción acústica total de los dispositivos reductores de ruido está condicionada y limitada principalmente por la difracción, es decir, por la energía acústica que pasa por encima y por los laterales de la pantalla. Como la mejora total está condicionada por la difracción, no tiene sentido aportar excesivo aislamiento acústico a la pantalla, ya que una gran parte de la energía estará bordeando a la misma.

Por lo tanto los elementos acústicos deben aportar un aislamiento acústico al menos igual a la atenuación máxima por difracción que consiguen en diseño incrementada en 15 dB (para condiciones de aislamiento total). Por encima de este valor se estaría despilfarrando el aislamiento, y por debajo de este valor la mejora de la pantalla se vería disminuida por la transmisión acústica.

El procedimiento utilizado actualmente evalúa el comportamiento aislante de la pantalla en condiciones de campo difuso (reverberante), basándose en la norma de construcción EN ISO 140-3. Esta norma es adecuada para evaluar el comportamiento de estos elementos cuando el campo incidente es reverberante, como por ejemplo en túneles acústicos a base de DRR o cuando se trate de pantallas enfrentadas a corta distancia y de mucha altura. La norma aporta valores que no se ajustan al comportamiento de los elementos aislantes en campo abierto (libre), si bien ya se cuenta

con una específica para la evaluación de esta propiedad al aire libre (UNE-EN 1793-6), que ya está incluida en la nueva versión de la norma UNE-EN 14388.

– Norma de ensayo

El ensayo está descrito en la norma EN 1793-2:2017 y debe ser ensayado por un laboratorio acreditado conforme a la norma UNE-EN ISO 17025, por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) en España o, en caso de laboratorios extranjeros, por una entidad internacional de acreditación que esté reconocida en España.

La muestra debe ser sellada como en el montaje normal de la pantalla en la obra. El ensayo debería incluir al menos un poste de soporte en su configuración de medida. El tamaño del poste utilizado para el ensayo dará validez sólo a obras en las que se instale ese poste de soporte o postes de soporte de tamaño superior, pero nunca inferiores. Así, por ejemplo, si en el ensayo se utiliza un poste de soporte HEA200, el ensayo y por lo tanto la declaración de prestaciones será válida sólo si en la obra se colocan perfiles HEA200 o superiores.

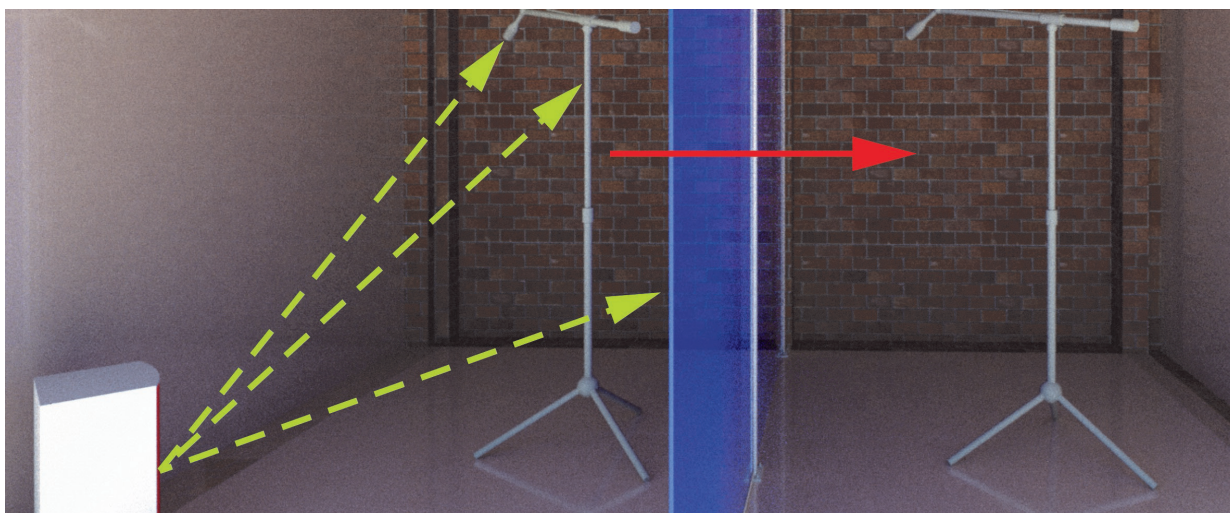


Figura 52: Disposición en laboratorio para ensayo del aislamiento acústico.

Mediante esta norma en primer lugar se obtiene un espectro de índices de reducción sonora (R_i) por cada tercio de octava entre los 100 Hz y los 5000 Hz, con el que se obtiene un único valor de aislamiento DL_{R_i} , mediante la aplicación del espectro normalizado de ruido de tráfico de la norma UNE-EN 1793-3.

Esta norma solo evalúa pantallas planas, no siendo válida para la evaluación de pantallas con grandes discontinuidades y en especial con resonadores acústicos.

En la propia norma también se advierte que el valor único obtenido para la evaluación de la pantalla puede no ser válido en los casos en los que produzcan múltiples reflexiones, o bien en los que tras la reflexión, la onda acústica se vea sometida a algún tipo de difracción que puede acentuar las bajas frecuencias.

– **Valor a declarar**

DL_R en dB para la configuración de elemento estructural y aislante con el sellado ensayado.

Aunque la antigua versión de la norma incluía un anexo informativo con una serie de clases (B0-B4), en la última versión de la norma se han eliminado las clases, ya que la propia incertidumbre de la medida podía hacer saltar a un producto de una clase a otra, por lo que se debe aportar únicamente el valor del índice de aislamiento DL_R en dB en el marcado CE sin declarar clase alguna.

En cualquier caso, también se debe aportar el espectro de aislamiento detallado en tercios de octava, para adecuar el uso de los dispositivos a cada proyecto específico.

5.2. Ensayos acústicos en campo directo

5.2.1. Ensayo de aislamiento acústico en campo directo conforme a la norma UNE-EN 1793-6

– **Generalidades**

La determinación del valor del índice de aislamiento acústico a ruido aéreo DL_{SI} se debe hacer de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN-1793-6, aplicado al dispositivo. El método puede utilizarse para calificar los productos que se instalan a lo largo de las carreteras, así como para verificar el cumplimiento de las especificaciones de diseño de los dispositivos reductores de ruido instalados.

El método permite verificar el comportamiento de los dispositivos reductores de ruido a largo plazo. Aunque los resultados de la parte 6 de la UNE-EN-1793 son coherentes con los resultados obtenidos en la parte 2 de la misma norma UNE-EN-1793, no se pueden considerar válidos, teniendo en cuenta la naturaleza del campo acústico que influye sobre la pantalla. Si bien el método evalúa la energía acústica que atraviesa el dispositivo, el empleo de un campo reverberante tal como indica la parte 2 de la

UNE-EN-1793, no tiene en cuenta las condiciones de propagación del medio donde se ubique la pantalla acústica.

Además, el método de ensayo descrito no es válido para determinar las características intrínsecas de la reflexión del sonido en dispositivos reductores de ruido que vayan a instalarse en condiciones reverberantes (túneles o trincheras profundas).

Dado que en la mayoría de las circunstancias los dispositivos reductores de ruido trabajan en campo libre, para determinar si en un proyecto determinado una pantalla acústica trabaja bajo condiciones de campo directo (libres) o de campo difuso (reverberantes) se debe aplicar una relación de distancias en un corte transversal de la configuración elegida, tal como se muestra en la figura 9. Por un lado, se deben determinar las distancias libres de las pantallas (W) y las distancias cubiertas por la misma ($e = W + \text{suma de } h_i$). Se considera campo reverberante cuando $W/e \leq 0,25$.

– Norma de ensayo

El ensayo está descrito en la norma UNE-EN 1793-6 y debe ser ensayado por un laboratorio acreditado conforme a la norma UNE-EN ISO 17025, por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) en España o, en caso de laboratorios extranjeros, por una entidad internacional de acreditación que esté reconocida en España."

La muestra se debe montar de la misma forma que se montaría en una instalación real en la obra, con los mismos componentes y juntas de sellado. La medición se realiza sobre un área definida en la pantalla de forma que el área de evaluación esté al menos a 2 m de cualquier borde. El ensayo se debe realizar al menos en un área que contenga un poste y en un área que no lo contenga, por lo tanto, como mínimo se debe contar con una muestra de 4 m de altura y 6 m de ancho (ver figura 53).

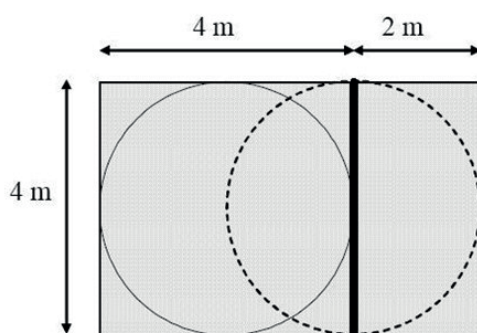


Figura 53: Medidas mínimas en laboratorio para ensayo del aislamiento acústico.

El tamaño del poste utilizado condicionará la validez del ensayo. De forma que el ensayo será válido sólo en obras en las que se instale ese poste de soporte o postes de soporte de tamaño superior, pero nunca inferiores. Así, por ejemplo, si en el ensayo se utiliza un poste de soporte HEA300, el ensayo y por lo tanto la declaración de prestaciones será válida sólo si en la obra se colocan perfiles HEA300 o superiores.

Mediante esta norma en primer lugar se obtiene un espectro de índices de aislamiento sonoro (SI_i) por cada tercio de octava entre los 100 Hz y los 5000 Hz, con el que se obtiene un único valor de aislamiento DL_{SI} , mediante la aplicación del espectro normalizado de ruido de tráfico de la norma UNE-EN 1793-3.

Las mediciones se realizan en el rango de frecuencia de 100 Hz a 5000 Hz. La aplicación del método de medida con estas dimensiones conduce a resultados válidos en el rango de frecuencia de 200 Hz a 5000 Hz (los valores en tercio de octava 100, 125 y 160 Hz, sin embargo, pueden conservarse a título informativo, pero no se tienen en cuenta en el cálculo del indicador único). Es con este rango de frecuencias que se determinan los indicadores de desempeño global DL_{SI} en aislamiento que sirve a ambos:

1. A los fabricantes para determinar las prestaciones de sus productos;
2. A los proyectistas para definir los niveles mínimos de prestaciones buscados.

Esta norma es válida para la evaluación de pantallas con discontinuidades y con formas complejas y volumétricas. Además, tiene la ventaja de que el método podría servir para ser utilizada con la pantalla instalada *in situ*, con el fin de comprobar las prestaciones finales de la pantalla instalada.

– Valor a declarar

En el ensayo se debe valorar el aislamiento en la zona del poste estructural ($DL_{SI, P}$) y en una zona del elemento acústico ($DL_{SI, E}$), así como el valor global de la pantalla ($DL_{SI, G}$), obtenida como media energética de ambos valores en poste y en el centro de los elementos acústicos.

Se deben presentar, además, los valores del índice de aislamiento acústico a través de los postes SI_P , de la muestra SI_E para un ancho de banda de 1/3 de octava entre 100 Hz y 5 Hz, para adecuar el uso de los dispositivos a cada proyecto específico.

La incertidumbre de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas de acuerdo a la norma UNE-EN-1793-6 se deben evaluar, preferiblemente, de acuerdo con la

guía ISO/IEC 98. En el informe se debe citar la incertidumbre expandida, junto con el correspondiente factor de cobertura para una probabilidad de cobertura del 95 %, tal y como se define en la guía ISO/IEC 98-3.

5.2.2. Ensayo de reflexión acústica en campo directo conforme a la UNE-EN 1793-5

– Generalidades

La determinación del valor del índice de evaluación de la reflexión del sonido DL_{RI} se debe hacer de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 1793-5, aplicado a dispositivos reductores de ruido diseñados para carreteras en condiciones de campo directo. Esta norma puede aplicarse *in situ*, cuando los dispositivos reductores de ruido están instalados o para productos que vayan a instalarse a lo largo de las carreteras. Los resultados de las mediciones del método descrito en la norma para la reflexión del sonido no son directamente comparables con los resultados obtenidos en el método de laboratorio según norma UNE-EN-1793-1. Además, el método de ensayo descrito en la norma UNE-EN-1793-5 no es válido para determinar las características intrínsecas de la reflexión del sonido en dispositivos reductores de ruido que vayan a instalarse en condiciones reverberantes (túneles o trincheras profundas).

Las condiciones reverberantes se definen por el medio de la envolvente, e, a través de la carretera, formada por el dispositivo objeto de ensayo, los lados de la trinchera o los edificios como se muestra en la figura 9 de estas Especificaciones.

Las condiciones se definen como reverberantes cuando el porcentaje de espacio abierto en la envolvente es menor o igual al 25 %, es decir, las condiciones reverberantes se producen cuando $w/e \leq 0,25$ donde $e = w + h_1 + h_2$.

– Norma de ensayo

El ensayo está descrito en la norma UNE-EN 1793-6 y debe ser realizado por un laboratorio acreditado conforme a la norma UNE-EN ISO 17025, por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) en España o, en caso de laboratorios extranjeros, por una entidad internacional de acreditación que esté reconocida en España.

Para que los resultados sean válidos para un rango de frecuencia completo, las dimensiones mínimas de la muestra deben estar compuestas de elementos acús-

ticos, que se extienda al menos a lo largo de 4 m y con una altura mínima de 4 m y dos postes de 4 m de altura a ambos lados.

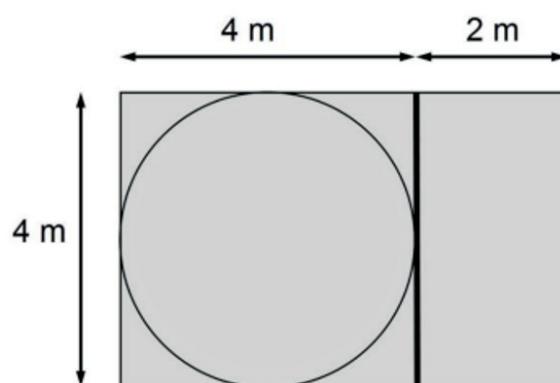


Figura 54: Esquema de la mínima muestra plana requerida para la medición del índice de reflexión en el rango de frecuencia de 200 Hz a 5 kHz.

Para aplicaciones *in situ* utilizando un único elemento acústico para alcanzar la altura total, el dispositivo se debe construir como un único elemento que sea representativo de la aplicación *in situ*.

Para aplicaciones *in situ* utilizando elementos apilados para alcanzar la altura total el dispositivo de ensayos se debe construir tal como se use *in situ*.

– Valor a declarar

Se debe obtener un valor del índice de evaluación de la reflexión del sonido DL_{RI} . La incertidumbre de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas de acuerdo a la norma UNE-EN-1793-5 se deben evaluar, preferiblemente, de acuerdo con la Guía ISO/IEC 98. En el informe se debe citar la incertidumbre expandida, junto con el correspondiente factor de cobertura para una probabilidad de cobertura del 95 %, tal y como se define en la Guía ISO/IEC 98-3.

Se deben presentar, además, los valores del índice de reflexión RI para un ancho de banda de 1/3 de octava entre 100 Hz y 5 Hz, para adecuar el uso de los dispositivos a cada proyecto específico.

5.3. Evaluación de las prestaciones de las pantallas acústicas

La evaluación de las prestaciones de las pantallas acústicas se realiza mediante los ensayos iniciales de tipo (ITT en el esquema CPR subyacente al proceso de

marcado CE). Es parte del proceso de precalificación del producto y consiste en una declaración de prestaciones (DoP) firmada por el representante legal o persona delegada en la empresa que resume el rendimiento de la pantalla acústica después de los cálculos o ensayos de laboratorio realizados de acuerdo con la norma del producto UNE-EN 14388.

Este capítulo proporciona una guía para evaluar las siguientes prestaciones comúnmente requeridas en los diseños de pantallas acústicas para aplicaciones en carretera.

Tabla 7: Listado de ensayos para la evaluación de las prestaciones de las pantallas acústicas.

Paneles acústicos de cualquier tipo		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características acústicas:		
Para pantallas instaladas en campo difuso:		
1. Índice de absorción en campo difuso	UNE-EN 1793-1 (*)	DL α
2. Índice de aislamiento en campo difuso	UNE-EN 1793-2 (*)	DLR
Para pantallas instaladas en campo directo:		
3. Índice de evaluación de la reflexión del sonido en campo directo	UNE-EN 1793-5 (*)	DLRI
4. Índice de aislamiento acústico en poste en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	DLSI, P
5. Índice de aislamiento acústico en elemento en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	DLSI, E
Características no acústicas:		
6. Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar Fd50 o Fsegura con SF $\geq$ 1.5 (**)	UNE-EN 1794-1 ANEXO A (**)	Carga de diseño en kg/m ²
7. Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar Fd50 o F segura con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5 (**)	UNE-EN 1794-1 ANEXO A (**)	Carga de ensayo en kg/m ² (Carga de ensayo = Carga de diseño x Coef. de seguridad)
8. Peso propio	UNE-EN 1794-1 ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
9. Peso mojado	UNE-EN 1794-1 ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
10. Peso mojado reducido	UNE-EN 1794-1 ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²

Continuación		
Paneles acústicos de cualquier tipo		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características no acústicas:		
11. Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico (***)	UNE-EN 1794-1 ANEXO B	El panel debe resistir el peso mojado de los elementos acústicos de la pantalla acústica más alta
12. Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-1 ANEXO B (**)	Carga de diseño de kg/m ² y carga estática vertical de los elementos superiores en kg
13. Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras.	UNE-EN 1794-1 ANEXO C	Satisfactorio / No satisfactorio.
14. Carga normal (90°) debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-1 ANEXO E	Carga de diseño en kN/2x2
15. Resistencia a cargas dinámicas: Riesgo de caída de trozos desprendidos (***)	UNE-EN 1794-2. ANEXO B	Clase
16. Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2. ANEXO E	Clase
17. Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza	UNE-EN 1794-2. ANEXO A	Clase
18. Comportamiento a largo plazo de las características acústicas: durabilidad	UNE-EN 14389	Durabilidad en años para cada clase de exposición

(*) Los ensayos a realizar y los correspondientes informes a presentar serán en campo difuso o en campo directo en función de la ubicación de las pantallas conforme a lo indicado en el punto 2.2.5 de este documento. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo difuso se presentarán los informes de los ensayos 1 y 2. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo directo se presentarán los informes de los ensayos 3, 4 y 5. Los informes de ensayo deben incluir explícitamente, mediante fotografías y texto escrito, el sistema de sellado realizado en el laboratorio entre el panel y el poste y entre paneles si los hubiere. Dichos sistemas de sellado se han de reproducir igual cuando las pantallas se instalen en la obra.

(**) En el caso de que los paneles acústicos tengan en su composición algún tipo de adhesivo de unión entre sus componentes, el ensayo de carga de viento deberá realizarse después de realizar un ensayo de envejecimiento con al menos 10 ciclos de humedad-sequedad de los paneles para garantizar la funcionalidad del adhesivo a lo largo de la vida útil del panel. Los paneles a ensayar deberán pesarse en seco y posteriormente sumergirse completamente en agua durante 24 h, luego deben sacarse y dejarles drenar, en su misma posición de empleo. Posteriormente se procederá a su pesado hasta que el panel vuelva a su peso seco con una tolerancia del 5 % sobre su peso seco inicial antes de volver a sumergirse y repetir así el proceso hasta completar 10 ciclos. Una vez completados esos paneles serán los que se usen para realizar los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15.

(***) En los informes de los ensayos 6,7, 8, 11, 12, 14 y 15 se deberá indicar explícitamente la longitud de los elementos acústicos ensayados.

Todos los ensayos arriba indicados deben realizarse con el mismo modelo de panel, con los mismos componentes, espesores y densidades de los materiales que constituyen el panel y con el mismo tipo de sellado entre paneles y entre paneles y postes. De forma que, por ejemplo, si los ensayos acústicos 4, 5, y 6 se han realizado colocando una junta de goma EPDM entre el panel acústico y el poste de soporte, el ensayo de carga de viento 6 y 7, se tiene que realizar con la misma junta de goma EPDM entre el panel y el poste de soporte.

La lista anterior recoge los puntos en los que se articula el anexo ZA de la norma UNE-EN 14388.

Alguna de esas características no tiene sentido que sean exigidas en determinadas tipologías de pantallas o en determinadas situaciones. Por ejemplo, no tendría sentido exigir la evaluación de la transparencia en pantallas acústicas de hormigón o evaluar la resistencia a las cargas originadas por la retirada de la nieve, si en la zona donde se ubican las pantallas nunca nieva.

Para cada prestación que se evalúe, es conveniente consultar los puntos siguientes en los que se hace referencia a la norma técnica que las soporta.

En general, la norma técnica que las soporta solo proporciona un método de verificación y medición del rendimiento y permite una clasificación de los productos. Los valores umbral o mínimos se deben establecer en el proyecto de ejecución de las pantallas acústicas. En su defecto los indicados en esta guía serán los de aplicación.

Los informes de ensayos de las propiedades acústicas según UNE-EN 1793-1, UNE-EN 1793-2; UNE-EN 1793-5 y UNE-EN 1793-6, deberán incluir un informe de evaluación de la muestra ensayada, emitido por el laboratorio de ensayo, con la verificación de que tanto la configuración de la muestra como los materiales, geometrías, dimensiones y recubrimientos protectores (si existen) cumplen con lo especificado por el fabricante en la descripción del producto incluida en el informe de ensayo y de que la muestra ensayada se ha instalado según el esquema especificado por el fabricante e incluido en dicho informe.

5.3.1. Características acústicas

Los sistemas antirruído para infraestructuras viarias tienen tanto propiedades directamente relacionadas con la función de los dispositivos reductores del ruido (características acústicas), como con sus propiedades mecánicas, seguridad, compatibilidad ambiental, etc. (características no acústicas).

Dicho esto, se considera oportuno aclarar cómo los dispositivos reductores del ruido para infraestructuras viarias deben en todo caso cumplir con las indicaciones reglamentarias del sector que, para la práctica totalidad de los elementos que lo componen, exigen estar provistos del marcado CE.

En este sentido, el capítulo 7 contiene las indicaciones relativas a los métodos de aceptación y control de los materiales que adoptará la dirección de obra antes de su instalación (incluidos aquellos componentes para los que no se requiera el marcado CE obligatorio).

Las características acústicas requeridas para los sistemas antirruido que se construirán a lo largo de las infraestructuras viarias se pueden dividir en las dos categorías siguientes:

Características intrínsecas:

Esta categoría se relaciona con las características específicas del producto antirruido, independientemente de la ubicación de los receptores y el efecto esperado de reducción de ruido en correspondencia con los mismos.

En particular, en el caso de DRR instalados en un campo acústico difuso (como, por ejemplo, zanjas profundas con edificios altos a ambos lados de la infraestructura, o como revestimiento fonoabsorbente de túneles), las características acústicas intrínsecas a evaluar son las siguientes:

- Absorción acústica, según las normas UNE-EN 1793-1 y UNE-EN 1793-3.
- Aislamiento acústico, según las normas UNE-EN 1793-2 y UNE-EN 1793-3.

Por otro lado, en el caso de sistemas antirruido instalados en campo acústico libre, es decir, en las condiciones de campo abierto típicas de las pantallas acústicas, se deben evaluar las siguientes características acústicas intrínsecas:

- Índice de reflexión del sonido, según la norma UNE-EN 1793-5.
- Índice de aislamiento acústico, según la norma UNE-EN 1793-6.
- Índice de difracción en el borde superior, según la norma UNE-EN 1793-4 (exclusivamente para pantallas acústicas con dispositivos añadidos).

Estas características intrínsecas sirven para comparar los paneles acústicos de los distintos fabricantes y para ser comparados con los valores adoptados por el proyectista en el estudio acústico.

Características extrínsecas:

Las pantallas acústicas son unas estructuras instaladas a lo largo de una vía de transporte terrestre (carretera, autopista, ferrocarril, línea de transporte urbano) que constituyen un obstáculo a la propagación del ruido desde esta vía de transporte y hacia una zona colindante a proteger (construcción sensible, zonas “tranquilas” a preservar, etc.).

Dimensionadas en el marco de un estudio acústico específico (longitud, altura, ubicación, etc.) en función de la configuración de la vía, el tráfico, los objetivos acústicos a alcanzar, las características intrínsecas de los paneles acústicos a utilizar y la situación del área a proteger, permiten mitigar el ruido generado por la infraestructura de transporte en la zona considerada.

Así, la mejora acústica (o atenuación proporcionada por la protección) esperada en la fachada del edificio afectado puede oscilar entre 0 y unos 15 dB(A) en función de los distintos parámetros expuestos anteriormente.

Esta mejora acústica resultante en la fachada del edificio por la construcción de una pantalla acústica, no debe confundirse con el rendimiento de aislamiento intrínseco de la pantalla acústica declarado por el fabricante.

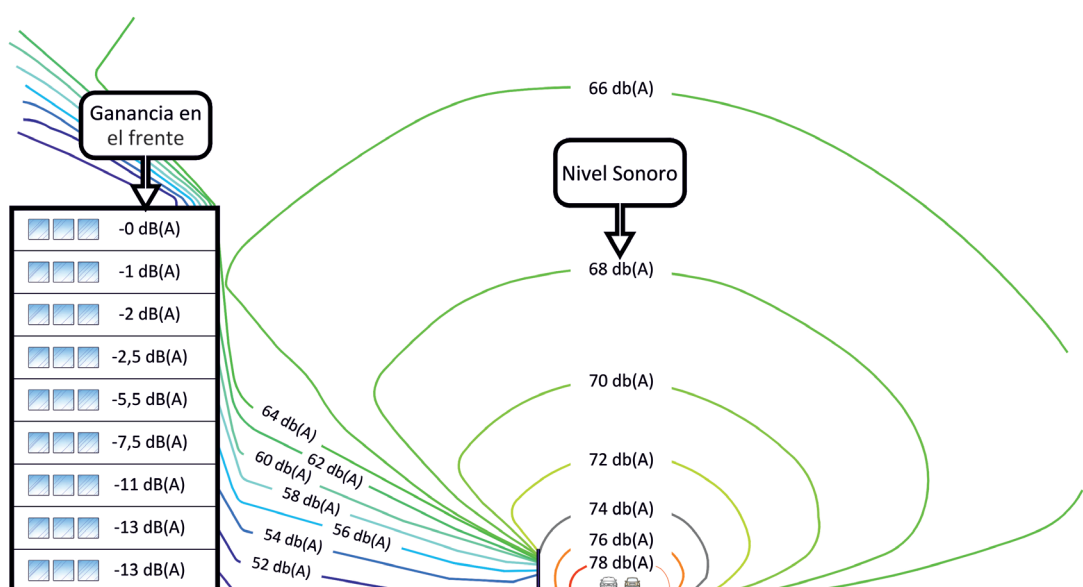


Figura 55: Mejora acústica variable según el área considerada.

Estas características extrínsecas, se refieren por lo tanto a la eficiencia acústica (pérdida por inserción) de las pantallas acústicas instaladas, y debe entenderse como diferencia entre los niveles de presión sonora en una serie de puntos ubicados en

el terreno e identificados como receptores, antes y después de la construcción de la pantalla acústica. Estas características no dependen solo del producto, sino también del proyecto acústico que incluyó las características intrínsecas mínimas del producto en los cálculos para determinar la longitud, altura y ubicación de las pantallas acústicas necesarias, así como de una correcta instalación de dichas pantallas.

En los siguientes párrafos se distinguen y detallan las características acústicas intrínsecas y extrínsecas de los sistemas de reducción de ruido para infraestructuras viarias.

5.3.1.1. Características acústicas intrínsecas: absorción acústica

Se entiende por absorción acústica la capacidad de reducir la energía sonora reflejada por el sistema antirruido asociadas a las propiedades mecánicas del material o materiales que componen el elemento.

Las características intrínsecas de la absorción del sonido, es decir, la reflexión del sonido, deben determinarse para ambas condiciones del campo acústico para el que se puede utilizar el sistema antirruido:

- **Campo acústico difuso:** cuando se trata de pantallas acústicas instaladas según lo descrito en el punto 2.3 de este documento.
- **Campo acústico directo:** cuando se trata de pantallas acústicas normalmente instaladas en campo libre.

En el mercado existen sistemas antirruido con absorción acústica concentrada en pequeñas porciones de la superficie del DRR; por ejemplo, el uso de placas reflectantes transparentes, con un marco estructural integrado por la presencia de elementos metálicos perforados fonoabsorbentes.

Si se instalan en un campo acústico difuso, estos elementos absorbentes realizan su función de absorción de sonido, contribuyendo al rendimiento acústico general del sistema; en cambio, si se instala en campo directo, prevalece la reflexión del sonido por efecto de la mayor superficie transparente, mientras que la contribución en términos de rendimiento es escasa o nula.

El uso del método de evaluación adecuado permite una implementación efectiva de los productos y su correcta comparación en el mercado, como se detalla a continuación:

- **Caso de campo acústico difuso:** La característica acústica intrínseca a declarar es el coeficiente de absorción sonora α_{NRD} en bandas de tercio de octava entre 100 Hz y 5 kHz.
- **Caso de campo acústico directo:** La característica acústica intrínseca a declarar es el índice de reflexión RI en bandas de tercio de octava entre 100 Hz y 5 kHz.

El rendimiento se resume en el índice de evaluación, que se indica como:

- DL_{α} , para productos sometidos a ensayo, de acuerdo con la norma UNE-EN 1793-1.
- DL_{RI} , para productos ensayados, de conformidad con la norma UNE-EN 1793-5.

Para obtener los índices de evaluación, se deben utilizar los espectros de ruido del tráfico rodado, conforme está informado en la norma UNE-EN 1793-3.

Los valores del índice de evaluación DL_{α} (dBA) deben ser expresados por un valor numérico en dB en ponderación A según indica la UNE-EN 1793-1.

Los ensayos de laboratorio deben realizarse sobre muestras que representen plenamente todos los tipos de productos y/o materiales que componen el sistema anti-ruido (metal, hormigón, madera, vidrio, PMMA, etc.), así como el tipo de perfiles estructurales de soporte.

La evaluación de las prestaciones del sistema de la pantalla acústica debe realizarse teniendo en cuenta las diferentes proporciones de cada superficie, con las características acústicas relativas en el caso de combinar distintos materiales en una misma pantalla acústica (por ejemplo, en pantallas mixtas metálicas-metacrilato).

5.3.1.2. Características acústicas intrínsecas: aislamiento acústico

Se entiende por aislamiento acústico la capacidad de reducir la energía sonora transmitida por el sistema antiruido.

Las características intrínsecas de insonorización deben determinarse tanto para las condiciones de campo acústico a las que puede estar destinado el sistema de supresión de ruido, a saber, en particular:

- **Campo acústico difuso:** cuando se trata de pantallas acústicas instaladas según descrito en el punto 2.3 de este documento.

- **Campo acústico directo:** cuando se trata de pantallas acústicas normalmente instaladas en campo libre.

El rendimiento se resume en el índice de evaluación, que se indica como:

- **Caso del campo acústico difuso:** la característica acústica intrínseca a declarar es el índice de reducción acústica R , en bandas de tercio de octava entre 100 Hz y 5 kHz, tal como se indica en la norma UNE-EN 1793-2.
- **Caso del campo acústico directo:** la característica acústica intrínseca a declarar es el Índice de aislamiento acústico SI , en bandas de tercio de octava entre 100 Hz y 5 kHz, tal como lo indica la norma UNE-EN 1793-6

Ambos métodos requieren que los resultados se expresen en función de la frecuencia en bandas de tercio de octava que van desde 100 Hz a 5 kHz.

El rendimiento medido en función de la frecuencia se resume en el índice de evaluación, que se indica como:

- DL_R para productos sometidos a ensayo, de acuerdo con la norma UNE-EN 1793-2;
- DL_{SI} para productos sometidos a ensayo, de conformidad con la norma UNE-EN 1793-6.

Para obtener los índices de evaluación, se deben utilizar los espectros de ruido del tráfico rodado, conforme informado en la norma UNE-EN 1793-3.

El valor del índice de evaluación DL_{SI} o DL_R , deben ser expresados por un valor numérico en dB, respectivamente, en conformidad con las normas UNE-EN 1793-6 y UNE-EN 1793-2.

Si el sistema antirruído objeto del proyecto presenta el acoplamiento de materiales de diferente naturaleza (como, por ejemplo, paneles transparentes superpuestos, interpuestos o en todo caso intercalados con paneles opacos, paneles de diferentes materiales en todo caso alternados, etc.), con el fin de proporcionar el rendimiento acústico del sistema de pantalla es esencial evaluar el índice de aislamiento acústico DL_{SI} .

La evaluación antes mencionada es el resultado de una serie de mediciones realizadas en correspondencia con los componentes individuales y los diversos tipos de uniones identificados en una muestra instalada en un campo abierto. El informe de ensayo debe contener evidencia de todos los valores medidos.

La metodología de ensayos en campo abierto podrá aplicarse sobre la pantalla instalada, a petición de la dirección de obra, para evaluar la correcta instalación en obra, o para evaluar el mantenimiento de las características iniciales a lo largo del tiempo (comprobaciones previstas en el plan de mantenimiento).

Las medidas para la aceptación de la instalación deberán realizarse en las posiciones identificadas por la dirección de obra, pero siempre en un tramo con las mismas medidas del ensayo inicial de tipo. Respecto a los valores nominales de precalificación, se admitirá una desviación con respecto a la medida declarada en la certificación del producto no superior a 2 dB en cuanto al aislamiento acústico, expresado con el índice DL_{SI} .

Se utilizarán los mismos procedimientos y posiciones de medición para verificar la durabilidad de los materiales utilizados con referencia al envejecimiento (condiciones meteorológicas, efectos químico-físicos), como se especifica a continuación.

5.3.2. Características no acústicas

Este apartado identifica las características no acústicas de los DRR para infraestructuras viarias, cuya norma de referencia incluye la UNE-EN 1794-1 y la UNE-EN 1794-2, así como las normas de serie UNE-EN 1991 (Eurocódigo 1) y UNE-EN 1997 (Eurocódigo 7) en lo que se refiere a la resistencia a las cargas.

Los DRR, que se ubican principalmente al borde de la calzada, están sometidos a acciones mecánicas derivadas de su propio peso, del empuje aerodinámico de los vehículos en tránsito, así como de la carga del viento; además, en ocasiones pueden verse sometidos a la carga adicional de la nieve acumulada por los vehículos de limpieza, así como verse afectados por el impacto de piedras desprendidas de la calzada. Si el diseño del sistema antirruído prevé su integración con la pantalla de seguridad, también hay que tener en cuenta la posibilidad de impacto del vehículo en la vía.

En los siguientes párrafos se detallan mejor las características antes mencionadas, así como las demás (principalmente de tipo estructural) definidas dentro de las normas UNE-EN 1794-1 y las normas de la serie UNE-EN 1991 y UNE-ENV 1997.

Asimismo, cabe señalar que, si bien el diseño de los elementos individuales que integran los DRR deben realizarse de conformidad con la normativa citada, para los DRR

en su conjunto y en cada uno de sus componentes estructurales, a efectos de los controles de seguridad, deberán tenerse en cuenta todas las actuaciones y prescripciones previstas por la legislación vigente. Estas comprobaciones deberán realizarse tanto para los elementos estructurales individuales que componen el DRR, cimentaciones incluidas, como para el conjunto del sistema.

En el caso de inserción del DRR en una estructura (puentes, viaductos, etc.), se deberán realizar los controles de seguridad de los elementos estructurales individuales (pretiles, bordillos, vigas, etc.), también se llevará a cabo sobre los que puede afectar el sistema de supresión de ruido.

En la siguiente tabla 8, se enumeran todas las propiedades que deben ser consideradas en el diseño de un DRR para infraestructuras de transporte por carretera, con indicación de las correspondientes normas de referencia actualmente en vigor.

Tabla 8: Características no acústicas a declarar con indicación de la norma de referencia.

Características no acústicas	Estándares de referencia
Resistencia a la carga aerodinámica y estática	UNE-EN 1794-1 (apéndices A y B) UNE-ENV 1991-2-4 Eurocódigos / NTC2008
Resistencia al impacto causado por piedras	UNE-EN 1794-2 (apéndice C)
Riesgo de caída de trozos desprendidos	UNE-EN 1794-2 (apéndice B)
Seguridad de colisión para los ocupantes del vehículo que impacta	UNE-EN 1794-1 (apéndice D)
Seguridad de colisión	UNE-EN 1317-1 UNE-EN 1317-2
Resistencia a la carga dinámica provocada por la retirada de la nieve	UNE-EN 1794-1 (apéndice E)
Resistencia al fuego	UNE-EN 1794-2 (apéndice A)
Protección del medio ambiente	UNE-EN 1794-2 (apéndice C)
Vías de escape en caso de emergencia	UNE-EN 1794-2 (apéndice D)
Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2 (apéndice E)
Transparencia	UNE-EN 1794-2 (apéndice F)

Además de las características no acústicas que se muestran en la tabla anterior, también se considerarán como tales, aunque no estén específicamente reguladas, las siguientes:

- Resistencia a los agentes atmosféricos (que atañe, sobre todo, al riesgo de estancamiento del agua).
- Colores (en relación al uso de colores de la gama RAL prevista por el proyecto).

Cada una de las características no acústicas enumeradas anteriormente se describe en detalle en los siguientes párrafos.

5.3.2.1. Resistencia al impacto por piedras

Los sistemas antirruído colocados a lo largo de las infraestructuras viarias deben resistir los impactos provocados por las piedras levantadas de la superficie de la calzada, sufriendo como máximo daños superficiales.

La conformidad de un sistema antirruído para infraestructuras viarias con los requisitos de resistencia al impacto causado por piedras debe demostrarse mediante un ensayo experimental, de conformidad con la norma UNE-EN 1794-1 (apéndice C).

Las características de impacto provocadas por las piedras deben ser certificadas por un laboratorio acreditado.

5.3.2.2. Riesgo de caída de fragmentos desprendidos

La conformidad de un sistema antirruído para infraestructuras viarias con los requisitos de seguridad en caso de caída de fragmentos tras impactos o colisiones, debe demostrarse de conformidad con la norma UNE-EN 1794-2 (anexo B).

Cuando las pantallas acústicas se instalen sobre viaductos, muros de contención, etc. de forma que puedan generar riesgo de accidente grave por caída de partes desprendidas, deberá presentarse evidencia de la realización de los ensayos descritos en la norma y comprobar que los valores declarados satisfacen los requisitos establecidos para alcanzar, al menos, la Clase 3, según la mencionada norma.

Los fragmentos de la pantalla resultantes de roturas tras impactos violentos, no deberán constituir elementos de peligro para los ocupantes de los vehículos ni para las demás personas que se encuentren en las inmediaciones de la pantalla.

En cuanto a los materiales frágiles (por ejemplo, láminas transparentes), se prevé el uso de láminas reforzadas como, por ejemplo, láminas de PMMA con refuerzo interior realizado con hilos de poliamida o cables de acero inoxidable.



Figura 56: Imágenes de un ensayo de riesgo de caída de trozos desprendidos sobre pantalla de metacrilato reforzado.

También se considera oportuno subrayar que, tras impactos violentos, los paneles (mientras permanezcan intactos) en ningún caso deben caer, creando peligro para las personas que se encuentran debajo, tanto en el lado de la carretera como en el lado del receptor. Para este tipo de productos se suele utilizar el uso de sistemas de cables de seguridad, que fijan el panel a la estructura portante de la pantalla acústica.

En general, en el caso de pantallas colocadas sobre puentes que sobrevuelan otras infraestructuras de transporte o viviendas, así como para las pantallas situadas en las inmediaciones de viviendas o zonas en las que es probable que se desarrollen actividades humanas, los criterios de aceptación y de ensayos a realizar se definen de acuerdo con el Anexo B de la norma UNE-EN 1794-2.

Podrá eximirse de este requisito a los dispositivos reductores de ruido cuyos elementos de montaje y fijación se hayan diseñado de forma que permitan la retención de trozos desprendidos e impidan la existencia de riesgo por esta causa o bien, cuando se instalen sistemas adicionales de retención con este propósito.

En el informe de este ensayo debe indicarse con claridad las dimensiones de la muestra ensayada. Las características descritas en este punto deben ser certificadas por un laboratorio acreditado.

5.3.2.3. Resistencia en colisiones

Se debe demostrar la conformidad de un sistema antirruido para infraestructuras viarias con los requisitos de seguridad en colisión para los ocupantes del vehículo impactante de conformidad con la norma UNE-EN 1794-1 (anexo D).

En la mayoría de los casos, los sistemas de supresión de ruido no están obligados a resistir el impacto con un vehículo, a menos que hayan sido diseñados para tal fin y probados en su totalidad para hacerlo (barreras integradas de seguridad y de ruido).

Los impactos con los vehículos deben evitarse bien protegiendo la pantalla acústica mediante una barrera de seguridad, o proporcionando una distancia adecuada de la infraestructura de transporte, o prescribiendo un sistema integrado de seguridad y antirruido; en todo caso, los sistemas antirruido de superficie deberán instalarse a una distancia suficiente de las barreras de seguridad, para poder garantizar su funcionamiento sin interferencias a consecuencia de las deformaciones debidas a los impactos más probables sobre estos elementos.

En particular, en lo que respecta al uso de la carretera, el parámetro de referencia está representado por el “ancho de trabajo W”, tal como se define en la norma UNE-EN 1317-2 citada por el mismo.

El mencionado parámetro es detectado y certificado por laboratorios de choque autorizados, mediante ensayos a realizar tanto con vehículo ligero (TB11 según la misma norma), como con vehículo pesado (diferente según el nivel de contención requerido).

La posición recíproca de los dos sistemas se determina entonces sobre la base de la siguiente metodología:

- En el caso de carreteras de nueva construcción, el sistema antirruido debe colocarse a una distancia tal que garantice el ancho de trabajo certificado “W” de la barrera de seguridad.
- Si las indicaciones anteriores no son técnicamente aplicables, se deben prever sistemas combinados de seguridad y antirruido, capaces de satisfacer los criterios de seguridad expresados en las normas UNE-EN 1317-1 y UNE-EN 1317-2.

5.3.2.4. Resistencia a la carga dinámica provocada por la retirada de nieve

En aquellas zonas donde la limpieza de nieve es una operación de mantenimiento habitual durante el periodo invernal, una pantalla antirruido podría resultar dañada por la nieve y el hielo despedidos por las máquinas quitanieves. La carga que pro-

voca la nieve proyectada se denomina carga dinámica ocasionada por la retirada de nieve. La magnitud y la altura de la carga dependen de la velocidad y del tipo de quitanieves, así como de la distancia entre la pantalla antirruído y el borde de la carretera.

La conformidad de un sistema antirruído para infraestructuras viarias con los requisitos de resistencia a la carga dinámica provocada por la remoción de nieve debe demostrarse mediante un ensayo a escala real de conformidad con la norma UNE-EN 1794-1 (apéndice E).



Figura 57: Imagen del ensayo de carga de nieve de una pantalla acústica metálica.

No obstante, los clientes de los sistemas de reducción de ruido tienen derecho a especificar la no aplicabilidad del requisito de resistencia a la carga dinámica causada por la remoción de nieve.

Las características de resistencia a la carga dinámica causada por la retirada de la nieve deben ser certificadas por un laboratorio acreditado.

5.3.2.5. Resistencia al fuego

Los sistemas de supresión de ruido de la infraestructura vial pueden estar expuestos a las llamas de la vegetación seca u otro material en las proximidades; además, pueden surgir llamas de mayor intensidad como resultado de accidentes.

En caso de incendio, el comportamiento de los revestimientos utilizados para los túneles o de las cubiertas parciales o totales de las infraestructuras de transporte es especialmente crítico.

La conformidad de un sistema antirruido para infraestructuras viarias con los requisitos de resistencia al fuego de la maleza debe demostrarse mediante un ensayo experimental, como se indica en la norma UNE-EN 1794-2 (anexo A).

La muestra ensayada debe tener la misma composición que el sistema de supresión de ruido que realmente se instalará; si, por ejemplo, queremos caracterizar la resistencia al fuego de un sistema antirruido compuesto por paneles de diferentes materiales, colocados a diferentes alturas del suelo, la muestra de ensayo debe estar formada por paneles del mismo tipo y con la misma posición relativa.



Figura 58: Detalle del proceso de ensayo de fuego de una pantalla acústica de madera.

A este respecto, sin embargo, cabe señalar que el mencionado ensayo no contempla aspectos como la clase de reacción al fuego de los materiales que lo componen individualmente, la toxicidad de los humos liberados en presencia de combustión, etc.

Por ejemplo, en el caso de pantallas antirruido compuestas por paneles de dos materiales diferentes, con un cambio de tipo a partir de 2 m del suelo, los paneles colocados a mayor altura no están expuestos a la llama del ensayo como lo estarán los que están cerca del suelo.

En consideración a lo anterior, el ensayo especificado en la norma UNE-EN 1794-2 (apéndice A) debe por lo tanto ser entendido sólo como una certificación con-

vencional de algunas características del producto, ya que no puede proporcionar garantías con respecto a los requisitos de seguridad en presencia de una carga de fuego elevada.

Para garantizar los requisitos mínimos de seguridad en caso de una carga de fuego elevada, se aplican los siguientes criterios:

- Mantener una distancia mínima de 8 m entre los sistemas de reducción de ruido para infraestructuras viales que contengan materiales no combustibles y los sitios más cercanos con presencia de personas y/o materiales inflamables; para distancias más cortas, los sistemas antirruído deben estar contruidos totalmente con materiales incombustibles.
- No utilizar el ensayo especificado en la norma UNE-EN 1794-2 (apéndice A) para proporcionar información sobre la seguridad contra incendios de los revestimientos utilizados para túneles o para revestimientos parciales o totales de infraestructuras viales; en tales casos, es necesario evaluar la carga de fuego y la temperatura máxima que se puede alcanzar en caso de incendio, de acuerdo con las autoridades competentes.
- Para evitar la propagación de la combustión a lo largo de los sistemas antirruído fabricados con materiales incombustibles, estos sistemas deberán incluir, al menos cada 150 m, un tramo de al menos 6 m de longitud contruido con materiales incombustibles.
- A ambos lados de cada vía de escape y/o acceso de emergencia, los sistemas antirruído deberán incluir un tramo de al menos 3 m de longitud contruido con materiales incombustibles.
- Los materiales, combustibles e incombustibles, utilizados en la construcción de los sistemas antirruído, en caso de incendio, no deben desarrollar humos tóxicos, ni provocar la caída de material inflamado, ni producir gotas o hilos incandescentes que puedan ser arrastrados por el viento.

La labor del proyectista es evaluar la carga de fuego para lo cual ha de considerar la adopción de todas las precauciones necesarias en cuanto a la elección de la tipología de los DRR y de los materiales que los componen, así como sus características. Las características de resistencia al fuego deben ser certificadas por un laboratorio acreditado.

5.3.2.6. Resistencia a los agentes atmosféricos

Toda la pantalla debe construirse de manera que se evite el estancamiento de agua en todos los puntos; en particular, con respecto a los paneles compuestos, el agua debe escapar fácilmente de los paneles individuales y no estancarse tanto entre el panel y el panel, como entre el panel inferior de la pantalla y la superficie de apoyo.

El material fonoabsorbente, que debe fijarse de forma que no pueda moverse ni doblarse, también debe protegerse para que no absorba agua y no se dañe con facilidad.

5.3.2.7. Protección del medio ambiente

En la norma UNE-EN 1794-2 (apéndice C) se especifican los requisitos de protección ambiental.

Además, si lo considera necesario, el proyectista puede especificar requisitos adicionales en el caso de condiciones que se consideren más onerosas de lo normal.

En detalle, el fabricante de las pantallas acústicas para uso en carretera debe declarar clara y completamente:

- La denominación de los materiales individuales que componen el sistema antirruido, utilizando para ello la nomenclatura química y evitando los nombres comerciales.
- Las sustancias resultantes de la descomposición, tras la exposición natural al medio ambiente en el que se insertan, durante toda la vida útil del sistema antirruido.
- Sustancias resultantes de la exposición al fuego del sistema antirruido.
- Las condiciones físicas o químicas que podrían dar lugar a la liberación de sustancias potencialmente nocivas o tóxicas para los seres humanos y el medio ambiente.
- Los materiales que componen el sistema antirruido que pueden reciclarse y en qué medida, indicando las restricciones de uso.
- Los materiales que componen el sistema antirruido que se reciclan y en qué medida.
- Los materiales que componen el sistema antirruido se eliminarán de acuerdo con procedimientos particulares, que deben especificarse en detalle.

- Cualquier beneficio relacionado con la reutilización de los materiales que componen el sistema antirruído, indicando todas las limitaciones existentes en las condiciones de procesamiento.

Para todas las declaraciones anteriores, el fabricante del sistema de reducción de ruido para infraestructuras viarias también puede hacer uso de los certificados emitidos por los fabricantes de los materiales de los componentes individuales.

5.3.2.8. Protección contra vandalismo

Los actos de vandalismo más frecuentes en las pantallas acústicas para infraestructuras viarias se refieren principalmente a:

- El robo o rotura de componentes.
- El pintado de grafitis.

En el primer caso, sigue siendo necesario adoptar todas las medidas posibles para impedir o, en todo caso, limitar la accesibilidad, extracción y transporte de los componentes, adoptando para ello los sistemas más adecuados (dispositivos o métodos de montaje destinados a impedir el acceso o retirada de paneles), según procedimientos que se someterán a la aprobación de la dirección de obra.

Con respecto a los denominados “graffiti”, es decir dibujos y/o escritos que ensucian, desfiguren u ofendan, con el fin de limitar las consecuencias de este vandalismo, en los puntos de mayor accesibilidad del sistema antirruído, las superficies de los materiales susceptibles de alteración (paneles transparentes, metálicos, de hormigón, PVC, etc.) deberán someterse a un adecuado tratamiento de protección, que facilite la eliminación de las pintadas.

La identificación de los tramos de pantalla acústica en correspondencia con los cuales se debe realizar el tratamiento mencionado, así como la definición del más adecuado al contexto y los materiales a utilizar, se realizarán como parte de las actividades de planificación de la intervención.

La aplicación de tratamientos protectores también puede ser objeto de oferta de mejora por parte de la empresa licitante, tanto en el caso de que en el diseño no se hayan previsto, como en una ampliación de lo indicado en las bases de licitación.

La definición precisa de los tramos de pantalla en correspondencia con los que prever el tratamiento antigrafiti y de las modalidades con las que realizar dicho tratamien-

to es absolutamente necesaria, ya que la eliminación de grafitis, si se realiza sobre soportes no tratados previamente, da resultados que no siempre son satisfactorios y, en todo caso, depende del tipo de material constitutivo del producto antirruido y de las características químicas de las pinturas utilizadas, así como del tiempo transcurrido entre la ejecución del grafiti y la limpieza del mismo.

En este sentido, de hecho, la eliminación de pintadas requiere un intenso tratamiento mecánico y químico, a base de disolventes, que es caro, contamina y, a menudo, deja halos, decoloraciones o daña el soporte.

A continuación, se indican los sistemas de tratamiento protector previstos para la eliminación de pintadas, distinguiéndose según los diferentes materiales con los que están fabricados los paneles antirruido:

- Los paneles transparentes (PMMA, policarbonato o vidrio) se pueden equipar con una película antigrafiti, o con un tratamiento previo a través de pintura transparente específica.
- El resto de superficies compactas, en cambio, pueden ser convenientemente tratadas con pinturas de poliuretano bicomponente, al agua, sin disolventes, transparentes o pigmentadas, o con pinturas de poliuretano fluorado de muy alta durabilidad y alto contenido en sólidos volumétricos, teniendo también la función de aumentar la resistencia a la corrosión y, cuando sea necesario, formar una buena base para la aplicación de dióxido de titanio fotocatalítico.
- En superficies porosas (madera, hormigón poroso, etc.), el tratamiento antigrafiti debe en todo caso garantizar una limpieza eficaz, a realizar con productos adecuados, sin dañar el soporte.

Los métodos de uso de las pinturas protectoras deben estar claramente descritos en fichas técnicas específicas, en las que también se indiquen los productos que se utilizarán para la eliminación de grafiti, posiblemente diferenciados según el soporte.

Es preferible realizar los ciclos de recubrimiento protector en la obra, cuando sea posible.

Los tratamientos deben garantizar una eliminación efectiva y completa de la pintada (al menos en el plazo de un año desde la ejecución de la pintada). Los productos utilizados deben garantizar unas prestaciones protectoras de al menos cinco años,

permitiendo en este plazo al menos 20 operaciones de tratamiento de eliminación de pintadas sobre el mismo soporte, sin tener que repetir el tratamiento preventivo después de cada eliminación.

La garantía de eliminación debe aplicarse a todos los productos actualmente en el mercado utilizados para la ejecución de grafitis, ya sean aerosoles acrílicos, sintéticos o bituminosos.

Los productos antigrafiti deben ser estables en el tiempo y no cambiar de tonalidad por los rayos UV o los agentes atmosféricos.

Además, si los productos utilizados tienen características hidrofugantes comprobadas, el tratamiento anteriormente descrito hace superfluos los tratamientos destinados a impermeabilizar o hidrofugar la superficie del soporte, cuando así lo exija el pliego de condiciones.

Finalmente, cabe señalar que la eficacia de los protectores antigrafiti debe ser validada mediante pruebas realizadas en laboratorios independientes, según la norma ASTM D7089.

Alternativamente a la aplicación de productos antigrafiti sobre la superficie de las pantallas acústicas se puede optar por colocar mallas metálicas, adecuadamente protegidas frente a la corrosión, ancladas sobre las pantallas y separadas de éstas lo suficiente para que la aplicación del grafiti sobre la superficie de la pantalla acústica no sea posible. Estas mallas metálicas pueden servir adicionalmente como soporte de plantas trepadoras que ayuden a una mejor integración paisajística de la pantalla acústica:





Figura 59: Ejemplos de mallas de protección antigrafiti sobre pantallas acústicas de hormigón y madera.

También existen en el mercado dispositivos añadidos (difractores) indicados en el punto 4.2.5 que están diseñados para servir adicionalmente como jardineras de forma que permitan una mejor integración paisajística de las pantallas acústicas y eviten la aplicación de grafitis:

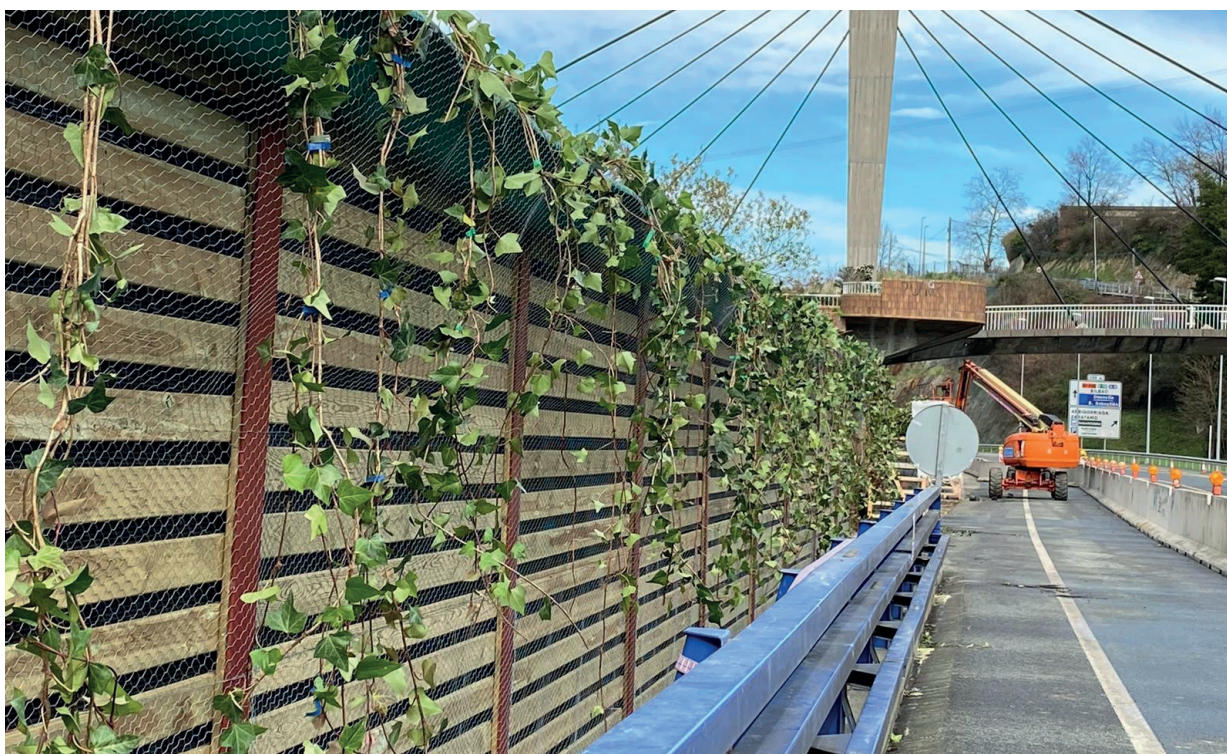


Figura 60: Vista de un difractor-jardinera después de su instalación sobre una pantalla acústica de madera.



Figura 61: Vista de un tramo de pantalla de madera con un difractor-jardinera, con malla que evita la aplicación del grafiti. Se observa en las pantallas vegetales de los laterales la existencia de grafitis.

5.3.2.9. Vías de escape en caso de emergencia

La creación de algunos sistemas de reducción de ruido para las infraestructuras viarias limita el acceso a las áreas adyacentes, tanto dentro de la superficie de la carretera como en otros contextos; en correspondencia con estas áreas, el acceso directo puede ser requerido en cambio en circunstancias particulares, tales como:

- Mantenimiento.
- Ayuda en caso de accidente.
- Vías de escape para los ocupantes del vehículo en caso de accidente.

Los mismos pasos, utilizados como accesos de emergencia, también pueden actuar como vías de escape. En particular, las vías de evacuación de emergencia presentes en un sistema antiruido para infraestructuras viarias deben cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 1794-2 (apéndice D). En la fase de proyecto debe darse una indicación precisa sobre la distancia máxima entre vías de evacuación.

Las puertas de servicio deberán contar con dispositivos de apertura que puedan accionarse desde el exterior con el uso de llaves y desde el interior con barra antipánico; además, en caso necesario, se deberán prever escaleras de servicio en correspondencia con estas aperturas, respetando las normas de seguridad vigentes.



Figura 62: Vista de un tramo de pantalla metálica con una puerta de emergencia.

La señalización de la presencia de las puertas de servicio deberá realizarse de acuerdo con las normas previstas para las salidas de emergencia.

Las citadas puertas, que deberán tener unas dimensiones de al menos 85 cm de ancho libre y 190 cm de alto libre, estarán realizadas con los mismos elementos acústicos que integran el sistema antirruído o equivalente; además, deben poder abrirse fácilmente incluso en caso de heladas.

Las puertas pueden ser sustituidas por interrupciones o solapes de la pantalla, según las indicaciones del proyectista como se refleja en la figura 72 de esta guía.

En cuanto a las puertas de servicio, no se requieren valores particulares de absorción acústica; en este sentido, el índice de evaluación del poder de insonorización (DLR) de las puertas de servicio, calculado de conformidad con la norma UNE-EN 1793-2, debe asumir valores incluidos en la misma categoría a la que pertenecen los elementos acústicos utilizados.

5.3.2.10. Reflexión de la luz

El fenómeno del reflejo de la luz solar o de los faros de los vehículos durante la noche en los sistemas de supresión del ruido de la carretera, para muchos ángulos de ataque, puede ser lo suficientemente fuerte como para confundir o deslumbrar a los conductores, comprometiendo la seguridad vial.

El efecto depende de muchos parámetros específicos de los productos y de los lugares de instalación, por lo que no es posible establecer un valor límite único para la reflectividad. Sin embargo, en la fase de diseño, es recomendable tener valores de reflectividad determinados en condiciones normalizadas.

En lo que respecta a los sistemas antirruido para uso en carretera o, en cualquier caso, cerca de carreteras, los valores de reflectividad se miden de acuerdo con el método de prueba prescrito por la norma UNE-EN 1794-2 (apéndice E).

En cualquier caso, siempre que sea necesario, se deben tomar precauciones especiales para evitar fenómenos de reflexión óptica diurna y nocturna, utilizando eventualmente pinturas con bajo índice de reflexión.

Las características de reflexión de la luz deben estar certificadas por un laboratorio acreditado.

5.3.2.11. Transparencia

En cuanto al fenómeno de la transparencia, en los sistemas de reducción de ruido para infraestructuras viarias se consideran generalmente los dos aspectos siguientes:

- Transparencia para las personas que viven más allá de los sistemas antirruido (transparencia estática).
- Transparencia para los usuarios de la infraestructura del transporte por carretera (transparencia dinámica).

En detalle, la transparencia estática es importante por razones estéticas, mientras que la transparencia dinámica ayuda a la orientación de los conductores y contribuye a la seguridad, especialmente en la carretera.

En lo que respecta a los sistemas de reducción de ruido para infraestructuras viales, se deben proporcionar valores de transparencia estática y dinámica, calculados de acuerdo con el método de prueba prescrito por la norma UNE-EN 1794-2 (apéndice F). Las características de transparencia deben ser certificadas por un laboratorio acreditado.

5.3.2.12. Sistemas de protección de aves para láminas transparentes

En este punto se describen las distintas medidas destinadas a evitar los choques de aves con pantallas y vallados perimetrales. Se trata de elementos que se incorporan

para aumentar su visibilidad y forzar un cambio de trayectoria de las aves (habitualmente se trata de una elevación de vuelo) evitando así la colisión.

Las pantallas acústicas transparentes instaladas en los márgenes de las vías causan mortalidad de aves que colisionan con ellas al no percatarse de su presencia. Para prevenir este conflicto será preferible optar, siempre que sea viable, por la instalación de pantallas opacas.

- Este conflicto aparece con mayor frecuencia en pantallas situadas en márgenes de puentes y viaductos, ya que muchas aves vuelan siguiendo la trayectoria de los cursos fluviales.
- Para evitar este problema se recomienda incorporar a las pantallas transparentes marcas de un color que contraste fuertemente con el color del paisaje del entorno, especialmente durante el atardecer y el anochecer, períodos de mayor movilidad de las aves. Los colores más recomendables en entornos naturales serán el blanco y el naranja utilizado en equipamientos de advertencia. Se elegirá uno u otro en función de cuál sea el que ofrezca el mejor contraste respecto al color del entorno (figura 63).
- En paisajes de interés para la avifauna que tienen durante una parte importante del año tonalidades ocres o marrones (humedales, ambientes esteparios, etc.), las marcas deberán ser de color claro, preferiblemente blanco. Este color además aumenta su visibilidad en los períodos crepusculares, que coinciden con una mayor intensidad de desplazamientos de aves.
- En otros contextos paisajísticos con predominio de tonos verdes se pueden utilizar marcas de color naranja además del blanco. Otra opción es combinar ambos colores (figura 64: B1 y B2).
- Las franjas verticales son el tipo de marca más adecuado. Deberán tener una anchura mínima de 0,5 cm (o hasta 2 cm si existe poco contraste con el fondo) y una separación máxima entre ellas de 10 cm. Estas franjas deberán cubrir al menos el 15 % de la superficie de la pantalla.
- Las marcas pueden colocarse fácilmente mediante adhesivos para reducir la mortalidad causada por pantallas ya instaladas.
- Se desaconseja la colocación de adhesivos con siluetas de rapaces (figura 65). Este no es un sistema efectivo, ya que las aves no las reconocen como sus depredadores.

dadores, como sería su objetivo, aunque se ha reportado en algún caso que se ha conseguido efectividad cuando la densidad de adhesivos alcanza un alto grado de recubrimiento de la pantalla.

- Se comercializan también adhesivos no visibles para los humanos, pero que reflejan la luz ultravioleta y que serían visibles por las aves. Sin embargo estos sistemas no disponen todavía de seguimientos contrastados que avalen su efectividad.



Figura 63: Pantalla transparente con franjas verticales para impedir las colisiones de aves.

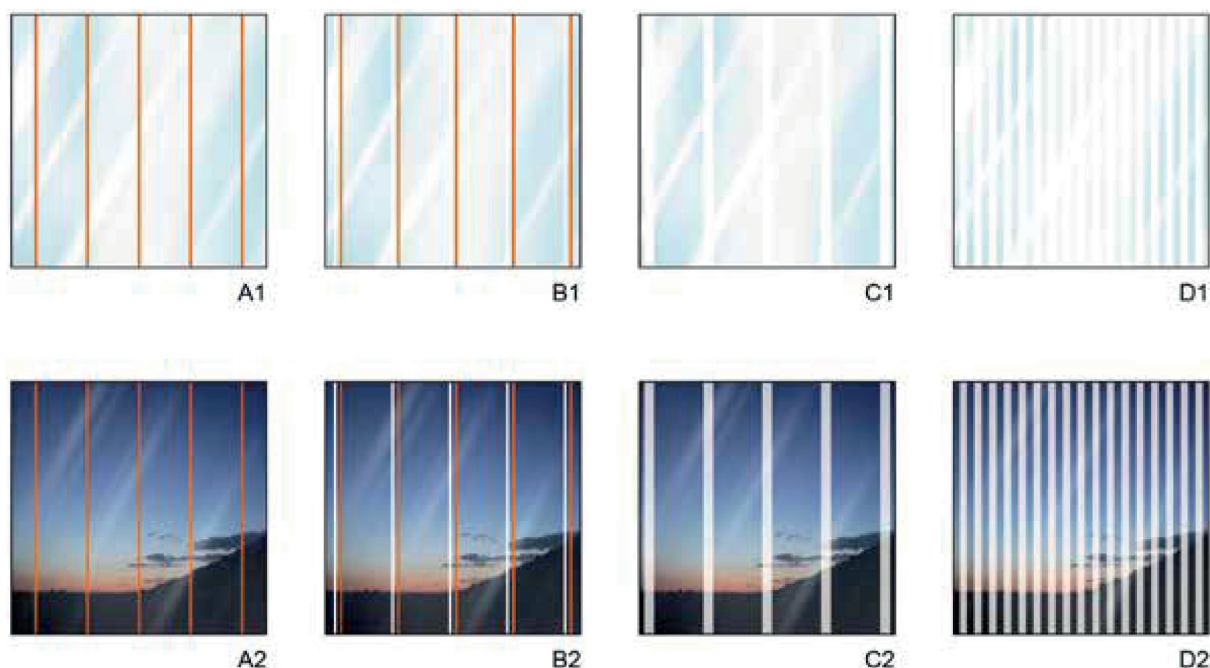


Figura 64: Esquema que muestra distintas opciones de señalización de pantallas mediante franjas verticales. Se trata de utilizar los colores que garantizan el máximo contraste con el fondo en los momentos en los que hay mayor intensidad de desplazamientos de aves.



Figura 65: Pantalla transparente con siluetas de rapaces que no son efectivas para impedir las colisiones de aves.

5.3.2.13. Durabilidad

Las pantallas acústicas a instalar junto a las carreteras, no sólo deben cumplir sus requisitos de comportamiento acústico y diseño estructural de acuerdo con los pliegos de condiciones detallados en los proyectos, sino también mantener su rendimiento durante al menos 15 años (vida útil requerida).

Las características acústicas y no acústicas de las pantallas pueden degradarse significativamente a lo largo de su vida útil si no se instalan o mantienen de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o si los materiales no son apropiados para las condiciones y agentes meteorológicos del entorno de implantación.

Siempre que un cambio en los agentes ambientales del entorno (humedad, temperatura, radiación UV, etc.) pueda afectar a la estabilidad dimensional de los materiales utilizados en la construcción, el diseño deberá permitir asumir tales cambios, garantizando que el comportamiento acústico y no acústico sigue cumpliendo las características requeridas.

Los sistemas antirruido, además de las características acústicas y no acústicas descritas anteriormente, también deben mantener las prestaciones declaradas durante toda la duración de su “vida útil”, que la norma UNE-EN 14389 define como “el período de tiempo durante el cual se debe mantener el rendimiento del dispositivo que le permita cumplir con las características de rendimiento identificadas en la norma UNE-EN 1794, partes 1 y 2”.

En este sentido, los elementos estructurales deberán mantener unas prestaciones mínimas de seguridad, mientras que los elementos acústicos deberán mantener tanto sus características estructurales como las prestaciones acústicas declaradas.

5.3.2.13.1. Durabilidad de las características acústicas

La idoneidad del comportamiento a largo plazo de los elementos acústicos debe establecerse de acuerdo a lo indicado en la norma UNE-EN 14389 y deberá proporcionarse el valor garantizado al final de la vida útil del producto, para los índices acústicos DL_{α} , DL_R , DL_{RI} y/o DL_{SI} , según corresponda al caso, para cada una de las clases de exposición que resulten de aplicación, enumeradas en la tabla 1 del anexo A de la mencionada norma.

El valor garantizado al final de la vida útil establecida, para cualquiera de los índices acústicos DL_{α} , DL_R , DL_{RI} y/o DL_{SI} que resulte de aplicación al caso, no deberá resultar inferior al valor especificado al inicio en 2 o más dBA.

La norma de referencia para los requisitos de durabilidad de las prestaciones acústicas de los sistemas antirruído está constituida por la norma UNE-EN 14389, dentro de la cual el fabricante está obligado a declarar la reducción estimada de las prestaciones acústicas del dispositivo de reducción del ruido de tráfico en las clases de exposición indicadas, asumiendo que se mantiene de acuerdo con sus recomendaciones.

En este sentido, en base a las indicaciones dadas en la citada norma, es responsabilidad del fabricante de los sistemas de supresión de ruido declarar la durabilidad de las características acústicas de cada tipo de elemento acústico producido, la cual viene determinada por lo siguiente parámetros:

- Tipo de sitio de instalación.
- Condiciones ambientales normalizadas (basado en EN 60721-3-4 “Clasificación de las condiciones ambientales” - Parte 3 - Sección 4”).
- Uso del producto.
- Programa de mantenimiento.

La durabilidad de las características acústicas debe expresarse por la degradación de las prestaciones (utilizando a este respecto los índices de evaluación **índice de reflexión RI e índice de aislamiento acústico SI, expresados en decibelios), que es función de los años de instalación del sistema antirruido.**

En detalle, la durabilidad de las características acústicas se puede establecer de las dos formas que se indican a continuación:

- Elaboración de un informe técnico que certifica el comportamiento acústico de la pantalla en el tiempo, con base en la retroalimentación obtenida de la experiencia anterior.
- Ejecución de pruebas de rendimiento repetidas en el tiempo, de conformidad con la norma UNE-EN 1793-5 y 1793-6.

En el caso de las pruebas de rendimiento, una sección significativa del sistema de supresión de ruido bajo investigación se prueba de acuerdo con la norma UNE-EN 1793-5 y UNE-EN 1793-6 y los resultados se comparan con una nueva sección de referencia de fábrica del mismo sistema antirruido (mismos componentes y mismos métodos de instalación).

Si las pruebas de funcionamiento se realizan para verificar la durabilidad acústica de un sistema antirruido instalado, el contratista deberá proporcionar una muestra de referencia, que puede consistir en elementos acústicos de repuesto, idénticos a los instalados (mínimo 16 m²), o de un espécimen construido e instalado expresamente antes de la construcción de la obra, de acuerdo con los mismos procedimientos (norma UNE-EN 1793-5 y UNE-EN 1793-6).

5.3.2.13.2. Durabilidad de las características no acústicas

Los elementos estructurales y acústicos de las pantallas acústicas deberán mantener los factores de seguridad mínimos aceptables al final de su vida útil, por lo que todos los elementos empleados en la construcción de las pantallas deberán ser resistentes a la corrosión electrolítica y/o química, ser dimensionalmente estables y tener una alta resistencia al envejecimiento en las condiciones y agentes meteorológicos del entorno de implantación.

La idoneidad del comportamiento a largo plazo para las características no acústicas de las pantallas, debe establecerse de acuerdo a lo indicado en la norma UNE-EN 14389 y deberá proporcionarse el valor garantizado para la vida útil del producto, expresado en años, para cada una de las clases de exposición enumeradas en la tabla 1 de la mencionada norma, que resulten de aplicación al caso.

El valor garantizado para la vida útil del producto deberá ser acorde con los requisitos del proyecto constructivo.

La evaluación de la durabilidad de las características no acústicas de cada tipo de elemento estructural y acústico de un sistema antirruido se realiza en base a las indicaciones dadas en la norma UNE-EN 14389.

Por lo tanto, el fabricante debe presentar un certificado sobre la duración de la vida útil esperada, en relación con las características de cada elemento, tal como se indica en la citada norma; en particular, esta certificación también debe incluir la siguiente información:

- Las condiciones ambientales utilizadas para la evaluación (con referencia a la norma CEI UNE-EN 60721-3-4).
- Los procedimientos de diseño utilizados (como, por ejemplo, los eurocódigos estructurales).
- Las pruebas que condujeron a la determinación de la duración declarada.

Un sistema antirruido debe estar realizado de tal forma que, después de la prueba y por un período de tiempo igual a la “vida útil”, dicho sistema no requiera mantenimiento, excluyendo trabajos por causas accidentales y limpieza de pintadas.

En este sentido, la norma UNE-EN 14389 indica una vida útil de 30 años para los elementos estructurales y de 15 años para los elementos acústicos, en condiciones específicas; no obstante, la referida regla especifica que también podrá preverse en el proyecto de las obras una “vida útil” inferior o superior a la indicada anteriormente.

Al finalizar la obra, el instalador deberá entregar al cliente un plan de mantenimiento de la obra, para ser utilizado en el período siguiente a la duración de la “vida útil”, especificando las actividades a realizar, los materiales, equipos y competencias profesionales a utilizar, así como los cargos por cada componente del sistema antirruido y por cada actividad programada.



6

Fase de proyecto

6.1. Caracterización de la situación acústica: tipos de estudios de ruido

El planteamiento de medidas de protección acústica generalmente viene motivado por el resultado de un determinado estudio acústico que evalúa y cuantifica la problemática existente o prevista.

En el caso de las carreteras, la normativa contempla las siguientes situaciones:

- Carreteras existentes. La normativa exige la evaluación periódica y la reducción progresiva de la afección acústica asociada a los grandes ejes viarios, por medio de los siguientes instrumentos:
 - En las carreteras existentes con un tráfico superior a 3 000 000 de vehículos anuales, el titular debe evaluar cada cinco años los niveles sonoros asociados a la misma, por medio de los mapas estratégicos de ruido (MER).
 - A partir de los resultados de este estudio, se elaboran los planes de acción contra el ruido (PAR), donde se definen las medidas concretas que se consideren oportunas, que determinarán las acciones prioritarias que se deban realizar en caso de superación de los objetivos de calidad acústica (OCA), o de aquellos otros criterios elegidos por las administraciones competentes.
 - Para el diseño concreto de las medidas desde el punto de vista constructivo, resulta necesario realizar proyectos de construcción de protecciones acústicas (PCPA). Normalmente, estos proyectos cuentan con un estudio acústico más detallado que los PAR, orientado a las zonas de rebase de OCA previamente detectadas.
- Proyectos de carreteras. Los proyectos de nuevas infraestructuras o de modificación de las existentes incluyen generalmente un estudio acústico. Se puede diferenciar entre dos niveles de estudio:
 - En los estudios de impacto ambiental (EslA), se analiza el impacto acústico de las distintas alternativas, y generalmente se realiza una primera valoración de las medidas necesarias para cumplir los valores admisibles.
 - Los proyectos de construcción incluyen estudios acústicos más detallados sobre la alternativa seleccionada en el EslA (en su caso). El estudio analiza el diseño final del proyecto, y define las medidas a nivel constructivo.

La siguiente figura muestra el esquema general de los estudios antes mencionados:

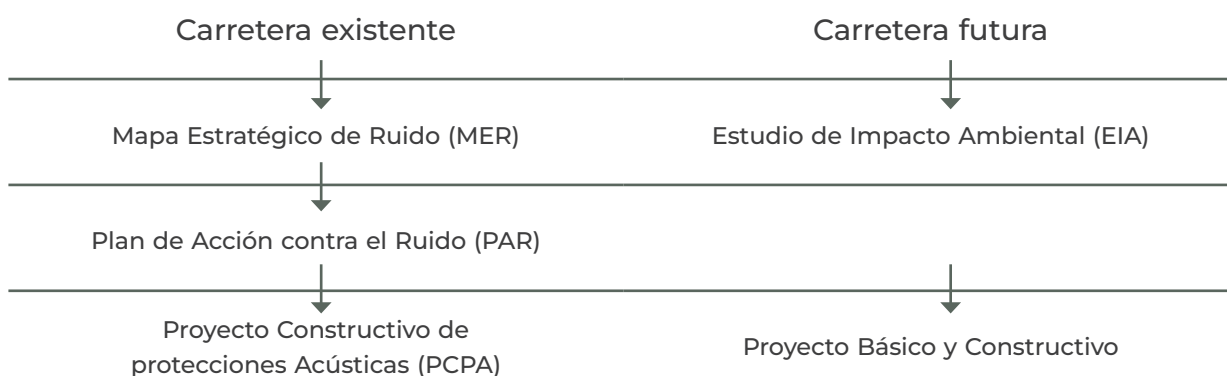


Figura 66: Tipos de estudios de ruido.

Todos los estudios antes mencionados se basan en la predicción de los niveles sonoros por medio de programas informáticos. De forma complementaria, puede ser necesario realizar mediciones acústicas para comprobar los modelos y estudiar en detalle ciertas problemáticas específicas.

6.2. Campañas de medición de niveles sonoros

El objetivo de la campaña de mediciones es obtener el grado de correlación del modelo teórico con la realidad registrada *in situ* y contar con un registro de los niveles acústicos actuales.

Se seguirá la metodología establecida en el anexo IV del Real Decreto 1367/2007, ubicando el sonómetro en un trípode a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo y separado al menos 1,2 m de cualquier fachada o paramento. Para la medición se podrán escoger otras alturas, si bien estas 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.

Las mediciones se dividirán en los tres periodos día (7-19 h), tarde (19-23 h) y noche (23-7 h) y se llevarán a cabo en un día laborable y con condiciones meteorológicas estables. Cada una de las mediciones tendrá una duración mínima de una hora para cumplir con los tiempos de medición especificados en el Real Decreto 1367/2007.

Aunque las mediciones indicadas son el mínimo especificado en el Real Decreto 1367/2007, dada la variabilidad del tráfico a lo largo del día, se deben realizar, en la medida de lo

posible, estas mediciones empleando estaciones de registro en continuo de los niveles sonoros que nos permiten conocer los niveles de ruido a lo largo de las 24 horas del día.

6.2.1. Puntos de medición

La selección de los puntos de medición más adecuados para desarrollar la campaña de cada uno de los estudios se llevará a cabo teniendo en cuenta la presencia de edificaciones sensibles cerca de la carretera (viviendas, centro sanitarios, docentes o culturales), la presencia de otras fuentes de ruido viarias o ferroviarias y las zonas pre- visiblemente más afectadas. De forma general, se propondrá un punto de medición como mínimo por zona de actuación (en el caso de los PCPA derivados de los PAR) o agrupación de receptores sensibles.

6.2.2. Datos de tráfico

Para relacionar los niveles sonoros medidos con los modelos informáticos, se necesita conocer la intensidad y tipo de tráfico durante el tiempo de la medición. Para obtener estos datos se pueden utilizar tres métodos diferentes:

3. Realizar un conteo de tráfico simultáneo durante el tiempo de medición acústica. Para determinar el volumen de tráfico en el área de análisis de los niveles sonoros, como primera opción, se propone la realización de una campaña específica de aforo que permita obtener la intensidad horaria (IH). Considerando los periodos de análisis de ruido, la campaña de aforo de tráfico tendrá que tener una duración suficiente para obtener datos de tráfico horario en cada uno de los periodos de tráfico (día, tarde y noche).
4. Obtener *a posteriori* los datos de la estación de aforo anterior y posterior al punto de medición el día de la campaña.
5. Otro método, es utilizar datos de tráfico de años anteriores en el mismo periodo de tiempo de la medición. No se debe utilizar el mismo número del día/mes si no el mismo día y semana de dicho mes. Se deben seleccionar los datos de los cinco últimos años y hacer una prognosis del tráfico en el momento de las mediciones. Existen tres opciones para realizar la prognosis:

- Opción 1: analizar el histórico de las estaciones de aforo y utilizar el crecimiento interanual y el promedio de dicho periodo:

$$IMH_T = IMH_U * (1 + \overline{IMH})^n$$

IMH_T = IMH estimada en el momento de las mediciones.

IMH_U = IMH del último año disponible.

n = es el número de años entre IMH_U y IMH_T .

$\overline{IMH}$ = Promedio de la variación interanual de la IMH de los 5 últimos años desde el último año disponible:

$$\overline{IMH} = \frac{\sum Var(IMH)}{n}$$

- Opción 2: analizar el histórico de las estaciones de aforo y calcular la tasa de crecimiento anual compuesto TCAC del periodo de los cinco últimos años:

$$IMH_T = IMH_U * (1 + TCAC)^n$$

IMH_T = IMH estimada en el momento de las mediciones.

IMH_U = IMH del último año disponible.

$$TCAC = \left(\frac{IMH_U}{IMH_I} \right)^{(1/n)} - 1$$

IMH_I = IMH 5 años anteriores al último año disponible.

n = es el número de años entre IMH_U y IMH_T .

TCAC = Tasa de crecimiento anual compuesto.

- Opción 3: considerar la tasa de crecimiento anual del 1,44 % según indica la “Nota de Servicios 5/2014 de prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de estudios de tráfico de los estudios informativos anteproyectos y proyectos de carreteras” publicada por el MITMS:

$$IMH_T = IMH_U * (1 + 1.44 \%)^n$$

IMH_T = IMH estimada en el momento de las mediciones.

IMH_U = IMH del último año disponible.

n = es el número de años entre IMH_U y IMH_T .

6.2.3. Ajuste de los niveles sonoros

El método de prognosis de la IMH seleccionado debe de ser el mismo el utilizado para calcular las IMH anuales en el proceso de modelado acústico. Se asumirá que la distribución de vehículos en las categorías del CNOSSOS, la velocidad y el resto de los parámetros son equivalentes a los datos medios utilizados en el modelo acústico.

Los niveles sonoros medidos se deben ajustar comparando la IMH_T con la IMH_A anual:

$$dB_{Aju} = \left(10 * \log \frac{IMH_T}{IMH_A} \right)$$

dB_{Aju} = el ajuste de decibelios a los niveles sonoros medidos.

6.3. Modelos predictivos

6.3.1. Información de partida

6.3.1.1. Delimitación del ámbito de estudio

El ámbito del estudio acústico vendrá delimitado por la longitud del tramo de carretera objeto de análisis y por una banda con un ancho determinado, que puede ser variable. En todo caso, debe incluir al menos las zonas abarcadas por las isófonas correspondientes a los OCA o valores límite de inmisión (VLI) aplicables.

A efectos de cálculo, se tomarán las precauciones necesarias para prolongar el inicio y final del tramo la longitud suficiente para tener en cuenta la continuidad de la emisión acústica de la carretera y poder efectuar con el rigor necesario los cálculos de los niveles sonoros de inmisión en los extremos del ámbito en estudio.

6.3.1.2. Información cartográfica

La cartografía a emplear en los estudios será la generada al objeto para el proyecto asociado y contará con una escala mínima 1:1.000 en el entorno de la carretera. Alternativamente, podrá emplearse información cartográfica de características similares proporcionada por la dirección del contrato.

Dicha cartografía será completada en la extensión necesaria para cubrir la totalidad del ámbito de estudio con la información disponible en las fuentes y recursos cartográficos oficiales, disponibles de forma gratuita, en formato abierto y con calidad suficiente. Concretamente, los modelos de cálculo serán completados a partir del modelo digital del terreno (MDT, en adelante) proporcionado por el IGN, aplicando el paso de malla más detallado disponible (2 o 5 m). Este producto está basado en la interpolación a partir de la nube de puntos LIDAR del plan nacional de ortofotografía aérea (PNOA). Cuando sea posible, a partir del MDT se extrapolarán curvas de nivel cada 1 m. En caso de modelos especialmente complejos, se puede realizar la siguiente simplificación:

- Curvas de nivel cada 1 m para completar, en caso de que sea necesario, los primeros 100 m a cada lado de los ejes de la/s carretera/s estudiada/s.
- Curvas de nivel cada 5 m desde las curvas anteriores hasta el final del ámbito de estudio.

El MDT final será objeto de revisión para realizar los ajustes oportunos e identificar posibles modificaciones no contempladas, tales como diques de tierra, muros de contención o cualquier otro elemento topográfico que pudiera alterar la propagación del ruido.

En caso de tratarse de una nueva infraestructura, el modelo correspondiente a la situación futura será modificado para incluir el trazado en tres dimensiones del proyecto (MDT y ejes).

6.3.1.3. Definición de la carretera

La geometría de los ejes se obtendrá normalmente de la cartografía empleada en el estudio y se crearán tantas plataformas como tenga/n la/s carretera/s en estudio, comprobando los anchos en cada caso. Estos ejes se incorporarán al modelo por el centro de la calzada, disponiendo un eje por sentido siempre que haya una mediana entre ellos.

El dato de anchura de los ejes, asimilable a las plataformas, tendrá en cuenta la anchura total de arcén a arcén. Además de la información geométrica, los ejes contendrán los datos necesarios para la modelización del ruido (tráfico, pavimento, etc.) y deberán estar definidos tridimensionalmente e insertados en el modelo de tal manera que nunca se vean “enterrados” por el terreno.

El eje deberá estar definido de tal manera que tenga en cuenta el sentido de la marcha del tráfico, así como elementos estructurales (viaductos) que impliquen que el eje no esté posado sobre el MDT.

En el caso de los viaductos y pasos superiores, se deberá tener en cuenta en los modelos acústicos, el apantallamiento que producen dichos elementos sobre las fuentes de ruido incluidas en el modelo.

Además, se deberán de incluir los datos de tráfico con desglose horario y características del pavimento acorde con los especificados en las categorías del método CNOSSOS y detallados en los epígrafes de esta guía 6.3.2.1 y 6.3.2.2 respectivamente.

6.3.1.4. Pantallas acústicas y muros existentes

Se elaborará un inventario de las pantallas acústicas y muros existentes, incluyendo tanto las convencionales como los diques de tierra y otros obstáculos significativos.

Como criterio, se inventariarán todos los muros siempre y cuando tengan 2 o más metros de altura y sean totalmente opacos, a excepción de las pantallas acústicas que serán inventariadas a partir de 1 m de altura.

Estos obstáculos de oposición a la propagación del sonido serán modelizados en el *software* con especial precaución teniendo en cuenta las siguientes pautas:

- Propiedades acústicas en cuanto a absorción y reflexión. De forma general, las pantallas acústicas de metacrilato y los muros se considerarán como elementos totalmente reflectantes ($\alpha = 0$). Para las pantallas metálicas o de hormigón fonoabsorbente, si se desconocen sus propiedades se aplicará genéricamente un coeficiente de absorción $\alpha = 0,8$.
- Se definirá la altura relativa de las pantallas y muros. En caso de pantallas sobre viaducto, siempre que sea posible se simularán aplicando el atributo de “autoapantallamiento” (u opción equivalente según el *software* empleado) de la carretera.

6.3.1.5. Zonificación acústica

Se elaborará una capa con la zonificación acústica de los municipios afectados por el área de estudio. Para elaborar dicha zonificación se parte de dos situaciones:

- Municipios que en cumplimiento de la normativa vigente han desarrollado y aprobado su zonificación acústica.
- Municipios que en el momento de la realización del proyecto aún no lo han hecho.

En los municipios que cuentan con zonificación acústica, se incluirán las áreas establecidas en el mismo.

Para el resto de los municipios del área de estudio, se realizará una propuesta de zonificación acústica a partir de la clasificación y calificación del suelo, aplicando los siguientes criterios:

Tabla 9: Categorías de zonificación urbanística y ejemplos de categorías “urbanísticas” correspondientes.

Categoría de zonificación acústica	Ejemplo de categorías “urbanísticas” correspondientes
Categoría A: sectores del territorio con predominio del suelo de uso residencial	Uso global residencial, núcleo rural, espacios libres y zonas verdes en zonas residenciales
Categoría B: sectores del territorio con predominio del suelo de uso industrial	Uso global productivo, uso industrial, puerto
Categoría C: sectores del territorio con predominio del suelo de uso recreativo y de espectáculos	Las zonas identificadas con estas categorías suelen encontrarse dentro de capas de planeamiento tales y como: sistemas generales de equipamientos, uso global terciario y uso global de equipamientos. En cada caso será necesario atender al uso específico de la zona para poder asignar la categoría correspondiente
Categoría D: sectores del territorio con predominio del suelo de uso terciario distinto del contemplado en el párrafo anterior	
Categoría E: sectores del territorio con predominio del suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera de una especial protección contra la contaminación acústica	
Categoría F: sectores del territorio afectados por sistemas generales de infraestructuras de transporte y otros equipamientos públicos que los reclamen	Sistema general de comunicaciones, red viaria y de ferrocarril e infraestructuras básicas de los sistemas generales
Categoría G: espacios naturales que requieran de una especial protección contra la contaminación acústica	Zonas dentro de los espacios protegidos, o bien zonas expresamente declaradas por los ayuntamientos, que requieran de una especial protección contra el ruido, que cuenten con OCA expresamente definidos

De acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 1367/2007, sólo se definen zonas de las categorías A, B, C, D o E en los suelos clasificados como urbanos o urbanizables. En estos casos, de cara a la definición de los OCA/VLI, se diferenciará entre los siguientes supuestos:

- Áreas urbanizadas existentes: terrenos que ya estaban urbanizados antes de la entrada en vigor del Real Decreto 1367/2007 (suelos urbanos o urbanizables ya desarrollados antes del 24 de octubre de 2007).
- Nuevas áreas urbanizadas: suelos urbanizables sin desarrollar o urbanizados con posterioridad al 24 de octubre de 2007, así como áreas tranquilas expresamente delimitadas por los ayuntamientos.

6.3.1.6. Edificios

Se elaborará un inventario de edificios a partir de las capas gráficas de elementos edificados y los datos alfanuméricos facilitados por la Dirección General del Catastro. A partir de esta información, se definirá inicialmente la geometría, altura, uso y estado.

Los criterios generales que debe cumplir la capa de edificios a emplear en el estudio son los siguientes:

- La precisión exigida será la correspondiente a la información catastral obtenida.
- No se podrán agrupar como un único edificio edificaciones claramente aisladas y separadas (sin medianera común), ni aquellas que presentan características geométricas dispares.
- Cuando sea posible o recomendable, se dividirán aquellos edificios que presenten volúmenes, claramente identificables y divisibles horizontalmente, cuando cada uno de ellos esté destinado a un uso predominante distinto.
- En el entorno próximo del eje de la carretera (25 m a cada lado), no se admitirán desajustes entre la topografía y la base de los edificios (“enterramientos”). Si fuera necesario, se creará un elemento cartográfico que defina correctamente la base de apoyo en el terreno del edificio.

Los edificios serán clasificados en función de su uso según la información catastral, asignado a cada edificación el uso mayoritario de la parcela catastral a la que pertenece.

En la siguiente tabla se muestra la correspondencia entre los usos definidos en el catastro y los que deben ser asignados en el estudio acústico:

Tabla 10: Correspondencia entre los usos definidos en el catastro y los que deben ser asignados en el estudio acústico.

Cod catastro	Uso catastro	Uso estudio acústico
E	Cultural	Docente o cultural
R	Religioso	
Y	Sanidad y beneficencia	Sanitario
V	Residencial	Residencial
I	Industrial	Industrial
J	Industrial agrario	
K	Deportivo	Recreativo/Espectáculos
T	Espectáculos	
O	Oficinas	Terciario
C	Comercial	
G	Ocio y hostelería	
A	Almacén-Estacionamiento	Otros
M	Obras de urbanización y jardinería, suelos sin edificar	
B	Almacén agrario	
Z	Agrario	
P	Edificio singular	Sin determinar (comprobar caso a caso para atribuir a alguna de los usos anteriores)
O	Sin determinar	
-	Otros	

Además del uso, se obtendrá la siguiente información:

- Estado del edificio: en uso, deteriorado o en construcción, a partir de la información del catastro.
- Número de viviendas de los edificios residenciales en uso, obtenidas inicialmente del catastro.
- Número de plantas y altura, obtenidas inicialmente del catastro.

En los edificios de uso residencial, se realizará una estimación del número de habitantes. Para ello, se utilizarán los datos del padrón municipal más reciente, a nivel de sección censal. Los edificios tendrán asociados unos determinados OCA o VLI, en función de la zona acústica donde se encuentren.

Por último, se recabarán los datos sobre el número de alumnos en centro docentes y camas disponibles en centros sanitarios (hospitales y residencias).

Se verificará que la capa obtenida contempla todos los edificios existentes en la fecha de realización del estudio, mediante visitas a campo documentadas, capturas de ortofotos actualizadas, etc.

6.3.2. Metodología de cálculo (CNOSSOS-EU)

El método de cálculo empleado para la realización de los estudio de ruido es el recomendado en la legislación acústica vigente para el ruido de tráfico rodado, denominado “Método CNOSSOS” o *Common Noise Assessment Methods in EU*, método común y de aplicación obligatoria a partir del 1 de enero de 2019 para la realización de mapas de ruido para todos los países de la Unión Europea según lo establecido en la Directiva (UE) 2015/996 de la Comisión de 19 de mayo de 2015 por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, modificada por la Directiva Delegada (UE) 2021/1226.

6.3.2.1. Datos de tráfico

Para el cálculo de los niveles sonoros se utilizarán los datos de tráfico para los tres periodos analizados: día (de 7:00 a 19:00 h), tarde (de 19:00 a 23:00 h) y noche (de 23:00 a 7:00 h). Las fuentes de información serán dos principalmente:

- Estudio de tráfico elaborado como parte de un proyecto asociado al estudio acústico.
- Estaciones de aforo de la Red de Carreteras del Estado.

El tráfico será desglosado en cinco categorías distintas de vehículos (ligeros, dos categorías de pesados y dos categorías de motos), tal y como exige el método CNOSSOS.

Tabla 11: Categorías de vehículos para el análisis del tráfico.

Categoría	Nombre	Descripción	
1	Vehículos ligeros	Turismos, furgonetas, camionetas $\leq 3,5$ toneladas, todoterrenos, vehículos polivalentes incluidos remolques y caravanas	
2	Vehículos pesados medianos	Vehículos medianos, camionetas $> 3,5$ toneladas, autobuses, autocaravanas, entre otros, con dos ejes y dos neumáticos en el eje trasero	
3	Vehículos pesados	Vehículos pesados, turismos y autobuses, con tres o más ejes	
4	Vehículos de dos ruedas	4a	Ciclomotores de dos, tres y cuatro ruedas
		4b	Motocicletas con y sin sidecar, triciclos y cuatriciclos

En el caso de emplear datos oficiales existentes, a partir de los datos de IMH de las estaciones de aforo, definidos en dos categorías (ligeros y pesados), y de los datos objetivos en las estaciones permanentes donde se disponga de un desglose total de los tráficos en tipos de vehículos, se definirá el reparto de la IMH entre las cinco categorías del CNOSSOS, aplicando la siguiente correspondencia:

Tabla 12: Relación entre categorías CNOSSOS y categorías de mapas de tráfico.

Categoría CNOSSOS		Categoría mapa de tráfico	
1	Vehículos ligeros	2	Coches
		3	Coches con caravana
		4	Camionetas
		5	Tractores agrícolas
2	Vehículos pesados medianos	6	Camiones sin remolque
		10	Autobuses
3	Vehículos pesados	7	Camiones articulados
		8	Trenes de carretera
		9	Vehículos especiales
4a	Ciclomotores de dos, tres y cuatro ruedas	-	-
4b	Motocicletas con y sin sidecar, triciclos y cuatriciclos	1	Motos

A partir de estos datos, se obtendrá en cada tramo la IMH para cada periodo horario (día, tarde y noche) y para una de las cinco clases de vehículo.

Se muestran en las siguientes tablas ejemplos del análisis de los datos de tráfico viario.

Tabla 13: Ejemplos de datos de tráfico viario (I).

Datos de tráfico viario							
Identificación eje		IMH Ligeros (Cat. 1)			IMH pesados medianos (Cat. 2)		
Carretera	Sentido	Día	Tarde	Noche	Día	Tarde	Noche
A-67	Oeste-Este	1393,2	1532,9	144,2	54,8	16,5	5,5
	Este-Oeste	1764,9	1021,3	163,4	38,6	11,8	3,7
S-10	Norte-Sur	1883,2	1356,1	316,4	91,4	33,8	8,6
	Sur-Norte	2085,3	1582,3	293,3	51,0	19,7	9,6

Tabla 14: Ejemplos de datos de tráfico viario (II).

Datos de tráfico viario									
Identificación eje		IMH pesados (Cat. 3)			IMH motocicletas (Cat. 4b)			Velocidad (km/h)	
Carretera	Sentido	Día	Tarde	Noche	Día	Tarde	Noche	Ligeros	Pesados
A-67	Oeste-Este	101,4	30,6	10,3	44,6	45,5	4,6	120	90
	Este-Oeste	71,4	21,8	6,9	54,0	30,4	5,0	100	90
S-10	Norte-Sur	155,6	57,5	14,6	36,8	25,0	5,9	80	80
	Sur-Norte	86,9	33,5	16,4	38,4	28,3	5,5	80	80

6.3.2.2. Tipología de pavimento

Se realizará una correspondencia entre el tipo de pavimento existente y las 15 categorías definidas por el método CNOSSOS. Esta correspondencia se basará en la tabla incluida a continuación, que podrá ser revisada por la dirección del estudio en el transcurso de los trabajos:

Tabla 15: Correspondencia entre el tipo de pavimento y la correspondencia estatal.

Tipo de pavimento		Correspondencia estatal
0	Superficie de referencia	AC16
NL-01*	1-capa ZOAB	PA-8
NL-02	2-capas ZOAB	PA-11 (4 cm-1 capa);
NL-03	2-capas ZOAB (<i>fine</i>)	PA-16 (4 cm 1 capa);
NL-04*	SMA-0/5	SMA 5
NL-05	SMA-0/8	SMA 8 (En uso desde aprobación OC 3/2019)
NL-06	Cemento cepillado	HF 5, HF 4.5, HF 4, HF 3.5
NL-07*	Cemento cepillado optimizado	Hormigón ranurado optimizado.
NL-08*	Cemento pulido	Hormigón con cepillado fino.
NL-09*	Superficie estabilizada	Hormigón con áridos expuestos.
NL-10*	Bloques en espiga	Adoquines textura suave.
NL-11*	Bloques no colocados en espiga	Adoquines textura rugosa.
NL-12*	Bloques silenciosos	Bloques de hormigón prefabricados silenciosos.
NL-13	Capa delgada A	BBTM 8A, BBTM 11A (3 cm)
NL-14	Capa delgada B	BBTM 8B, BBTM 11B (3 cm)

Los tipos de pavimento marcados con un asterisco (por ejemplo, NL-01*) son tipologías que no se utilizan generalmente en las carreteras de la Dirección General de Carreteras, por lo que normalmente no serán considerados en los estudios de ruido.

Por otro lado, los tipos NL-01 a NL-03 tienen asociadas unas condiciones especiales de uso que hacen que su utilización esté condicionada a determinadas zonas del territorio. Estos aspectos deberán ser considerados a la hora de configurar escenarios post-operacionales:

- Zonas sin problemas de heladas.
- Altitud inferior a 1200 m.
- Régimen de lluvias constante.
- Zonas con precipitación media anual ≥ 600 mm.

En la siguiente tabla, extraída de la “Guía básica de recomendaciones para la aplicación de los métodos comunes de evaluación del ruido en europa (CNOSSOS-EU)” elaborada por el MITERD junto al CEDEX, se indican los niveles de variación de la potencia acústica previstos para un eje viario con una IMD tipo de 600 vehículos/hora según las características del método CNOSSOS:

Tabla 16: Niveles de variación de la potencia acústica para un eje viario según las características del método CNOSSOS.

Tipo de pavimento		Velocidades de circulación			
		30 km/h	50 km/h	90 km/h	120 km/h
0	AC16	0 dB (A)	0 dB (A)	0 dB (A)	0 dB (A)
NL-01*	PA-8	-1,1 dB (A)	-1,2 dB (A)	-2 dB (A)	-2,1 dB (A)
NL-02	PA-11 (4 cm-1 capa)	-3,8 dB (A)	-3,9 dB (A)	-3,9 dB (A)	-3,2 dB (A)
NL-03	PA-16 (4 cm 1 capa)	-4,7 dB (A)	-5dB (A)	-4,8 dB (A)	-3,8 dB (A)
NL-04*	SMA 5	-0,5 dB (A)	-0,8 dB (A)	-1,2 dB (A)	-1,2 dB (A)
NL-05	SMA 8. (En uso desde	-0,2 dB (A)	-0,3 dB (A)	-0,6 dB (A)	-0,6 dB (A)
NL-06	aprobación OC 3/2019)	0,2 dB (A)	0,7 dB (A)	1,3 dB (A)	1,3 dB (A)
NL-07*	HF 5, HF 4.5, HF 4, HF 3.5	-0,7 dB (A)	-0,4 dB (A)	-0,2 dB (A)	-0,2 dB (A)
NL-08*	Hormigón ranurado optimizado	-0,1 dB (A)	0,6 dB (A)	2,1 dB (A)	2,7 dB (A)
NL-09*	Hormigón con cepillado fino	0,6 dB (A)	1,4 dB (A)	1,7 dB (A)	1,5 dB (A)

Continuación		Velocidades de circulación			
Tipo de pavimento		30 km/h	50 km/h	90 km/h	120 km/h
NL-10*	Hormigón con áridos expuestos	0,5 dB (A)	1,3 dB (A)	1,9 dB (A)	1,9 dB (A)
NL-11*	Adoquines textura suave	2,2 dB (A)	4 dB (A)	5,2 dB (A)	5,1 dB (A)
NL-12*	Adoquines textura rugosa	-0,5 dB (A)	-0,7 dB (A)	-1,3 dB (A)	-1,3 dB (A)
NL-13	Bloques de hormigón prefabricados silenciosos	-1,6 dB (A)	-2 dB (A)	-2,5 dB (A)	-2,2 dB (A)
NL-14	BBTM 8A, BBTM 11A (3 cm)	-2 dB (A)	-2,6 dB (A)	-3,1 dB (A)	-2,7 dB (A)

6.3.2.3. Velocidad de circulación

Se definirá la velocidad límite para ligeros y pesados en cada tramo o subtramo, teniendo en cuenta tanto los límites genéricos establecidos por el Reglamento General de la Circulación como los límites específicos establecidos mediante señales de tráfico, e identificados en el trabajo de campo.

6.3.2.4. Pendiente

Para el cálculo de las correcciones por pendiente, el programa de cálculo se configurará para que considere la pendiente real de cada segmento, ajustando adecuadamente el sentido o sentidos de circulación de este.

6.3.2.5. Cruces e intersecciones

El método de cálculo aplica una corrección para el efecto de aceleración y deceleración en intersecciones con semáforos y rotondas, por los que deben identificarse estos elementos en todas las carreteras convencionales incluidas en el estudio.

6.3.2.6. Absorción

Se realizará un mapa de absorción del terreno con coeficientes G entre 0 y 1 a partir de los usos del suelo existentes, que pueden ser obtenidos del SIOSE.

6.3.2.7. Parámetros de configuración del modelo acústico

Se deberán utilizar los siguientes parámetros para configurar el modelo acústico:

- Líneas topográficas: se consideran todas las curvas de nivel como elementos difractantes.
- Características del suelo: se utilizará el mapa de absorción.
- Edificios: se consideran todos los edificios totalmente reflectantes.
- Pantallas acústicas: las características acústicas en cuanto a las propiedades de absorción y reflexión de las pantallas se definen en base al tipo de material constituyente de la pantalla (hormigón, metacrilato, metálica, madera, vegetal, etc.).

Como la normativa nacional no establece condiciones meteorológicas para el cálculo para los mapas de ruido, se han usado los porcentajes de ocurrencia de condiciones favorables a la propagación que establece la recomendación del *EC Working Group of Assessment of Exposure to Noise en su Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure* (WG-AEN-2006):

- 50 % de condiciones favorables durante el periodo día.
- 75 % de condiciones favorables durante el periodo tarde.
- 100 % de condiciones favorables durante el periodo noche.

Por otra parte, se aplican los datos promedio de temperatura y humedad relativa registrados en la estación meteorológica más representativa de la Agencia Estatal de Meteorología con respecto al área de estudio en cada caso y en coordinación con la dirección del estudio.

El análisis de la afección acústica y la definición de las medidas correctoras se basa en el cálculo de los niveles sonoros previstos en los edificios. El cálculo de los mismos se realizará por medio de receptores en fachada.

De acuerdo con la normativa, se dispondrán receptores a una distancia de 0,1 m de la fachada, y se calcula al menos un punto cada 5 m con un mínimo de un punto por cada fachada con independencia de su longitud. El programa se configurará de manera que se evalúe el ruido incidente y no el reflejado por la propia

fachada. En cuanto a la altura, de cara a la definición de medidas correctoras se recomienda evaluar todas las plantas de los edificios, con una primera línea de receptores a 1,5 m del terreno y líneas adicionales con una equidistancia vertical de 3 m.

Los planos de isófonas no resultan necesarios para realizar esta evaluación y no siempre ofrecen resultados coherentes con los resultados en fachada. Sin embargo, resultan imprescindibles para calcular la servidumbre acústica y para analizar situaciones determinadas (por ejemplo, si se desea conocer la superficie de espacios naturales afectada por una determinada huella).

6.3.3. Escenario actual

Se definen en este apartado las características del escenario de cálculo correspondiente a la configuración actual de la carretera. Este será el único escenario de cálculo para los PCPA de carreteras existentes, y también se debe incluir como punto de partida en los proyectos de nuevas infraestructuras o de modificación de las existentes.

6.3.3.1. Datos de tráfico

El escenario preoperacional debe coincidir con el momento de realización de estudio y los datos de partida empleados tendrán la fecha de actualización más reciente posible. En ciertos casos, puede resultar conveniente realizar proyecciones a futuro, especialmente cuando se espere un aumento significativo del tráfico.

De cara a la obtención de los datos, se pueden producir dos casuísticas:

- Caso 1: se realizan aforos actualizados en la zona de estudio y por tanto se cuenta con datos actuales. Dichos datos son utilizados directamente en el modelo.
- Caso 2: se utilizan datos de años anteriores y se hace una prognosis utilizando algunos de los métodos descritos en el punto 6.2.2 de estas instrucciones, siendo la IMHT el valor a introducir en el modelo.

Además de la carretera objeto de estudio, en el estudio se deberán incluir las fuentes de ruido significativas que pueden afectar a las edificaciones dentro del área de estudio.

6.3.3.2. Niveles de referencia

De acuerdo con la normativa, en las carreteras existentes el objetivo a alcanzar será el cumplimiento de los OCA dispuestos en el anexo II tabla A del Real Decreto 1367/2007.

6.3.3.3. Escenario post-operacional

Se entiende como escenario post-operacional el escenario posterior a cualquier cambio en la vía que pueda cambiar sus niveles de ruido, por ejemplo, cambios en el trazado, aumento de la capacidad de la vía, etc. Este escenario será evaluado en los proyectos de construcción o modificación de infraestructuras, no siendo aplicable a los PCPA de carreteras existentes.

Por norma general, a no ser que una fuente de ruido desaparezca como consecuencia de las acciones propuestas, se deben incluir todas las fuentes sonoras incluidas en el escenario preoperacional.

6.3.4. Niveles de referencia

En el Real Decreto 1367/2007 en su disposición adicional tercera se describe como nueva infraestructura la construcción de un nuevo trazado que requiera declaración de impacto ambiental o la modificación de una infraestructura preexistente sujetas a declaración de impacto ambiental, que permitan la duplicidad de la máxima intensidad de vehículos por hora que pueden pasar por ese tramo de carretera. En el resto de los casos la infraestructura se considerará existente.

Por tanto, en el escenario post-operacional se debe discernir las infraestructuras que son consideradas nuevas y las que son existentes. En caso de una estructura nueva, los niveles de inmisión provocados por la misma deberán cumplir los VLI dispuestos en el anexo III tabla A del Real Decreto 1367/2007. Por su parte en los proyectos que no cumplan esta condición se evaluarán los OCA dispuestos en el anexo II tabla A del Real Decreto 1367/2007.

Además, se deberán adoptar las medidas necesarias para evitar que, por efectos aditivos derivados directa o indirectamente de su funcionamiento, se superen los OCA. Puede considerarse que la superación es debida al proyecto cuando los niveles sonoros aumentan con respecto a los calculados en la situación preope-

racional, debiendo analizarse asimismo la contribución de los ejes proyectados a los niveles sonoros globales.

6.3.5. Propuesta y simulación de medidas correctoras

Una vez evaluados los niveles sonoros, se propondrán medidas correctoras en aquellos tramos en los que se superen los niveles admisibles (OCA / VLI).

Las medidas pueden actuar sobre los siguientes elementos:

- Actuaciones sobre el foco emisor: engloba todas las medidas que afectan a la carretera, tales como cambios de trazado, soterramientos, limitaciones de velocidad, cambios de pavimento o políticas de gestión del tráfico que reduzcan su intensidad.
- Actuaciones sobre el medio de propagación: obstáculos a la propagación del ruido: pantallas acústicas y caballones.
- Actuaciones en el receptor: en caso de que las actuaciones sobre el foco emisor y el medio de propagación sean insuficientes, se pueden plantear actuaciones en el propio receptor, como puede ser el aislamiento de fachada, a fin de conseguir que se cumplan al menos los OCA aplicables al medio interior habitable (tabla B del anexo II del Real Decreto 1367/2007).

En los siguientes apartados, la presente Guía se centra en el diseño de pantallas acústicas.

6.4. Diseño acústico de pantallas

6.4.1. Criterios de diseño geométrico

A la hora de diseñar la pantalla, resulta necesario tener en cuenta su esquema general de funcionamiento. Como se aprecia en la siguiente figura, en torno a una pantalla se definen las siguientes zonas:

- Zona de luz: en esta zona hay visión directa entre el emisor y el receptor, donde la pantalla no interrumpe la propagación directa del sonido.

- Zona de sombra: en esta zona se interrumpe la visión directa, y el sonido se transmite mediante difracción a partir de la coronación de la pantalla. La atenuación se puede cuantificar entre 5 y 25 dB (según el modelo CNOSSOS), y su magnitud depende de la frecuencia y de la “diferencia de caminos” entre la línea de visión directa fuente-receptor y la línea fuente-pantalla-receptor.
- Zona de penumbra: se define una zona de transición en torno a la línea de visión rasante, donde la atenuación es más limitada (0-5 dB).

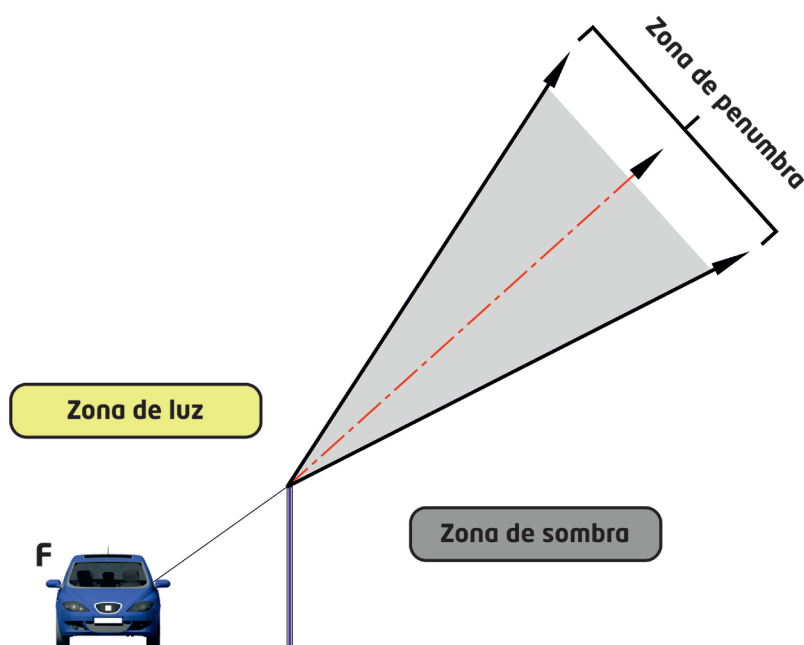


Figura 67: Esquema general de funcionamiento de la pantalla.

La pantalla tiene un diseño óptimo cuando los receptores se encuentran en la zona de sombra (atenuación superior a 5 dB), y se maximiza la diferencia de caminos.

Durante el proceso de diseño de pantallas acústicas se deben tener en cuenta estos parámetros. Los parámetros se deberán optimizar mediante un modelo acústico considerando la eficacia de la pantalla como especifica el epígrafe 6.4.2.

6.4.1.1. Ubicación de pantallas con respecto a la infraestructura

Por norma general, las pantallas son más eficaces cuando se encuentran muy próximas a la fuente sonora. En la siguiente figura, la pantalla A resulta más eficaz que

la B (mayor diferencia de caminos), mientras que la C resulta totalmente ineficaz al dejar al receptor en la zona de penumbra.

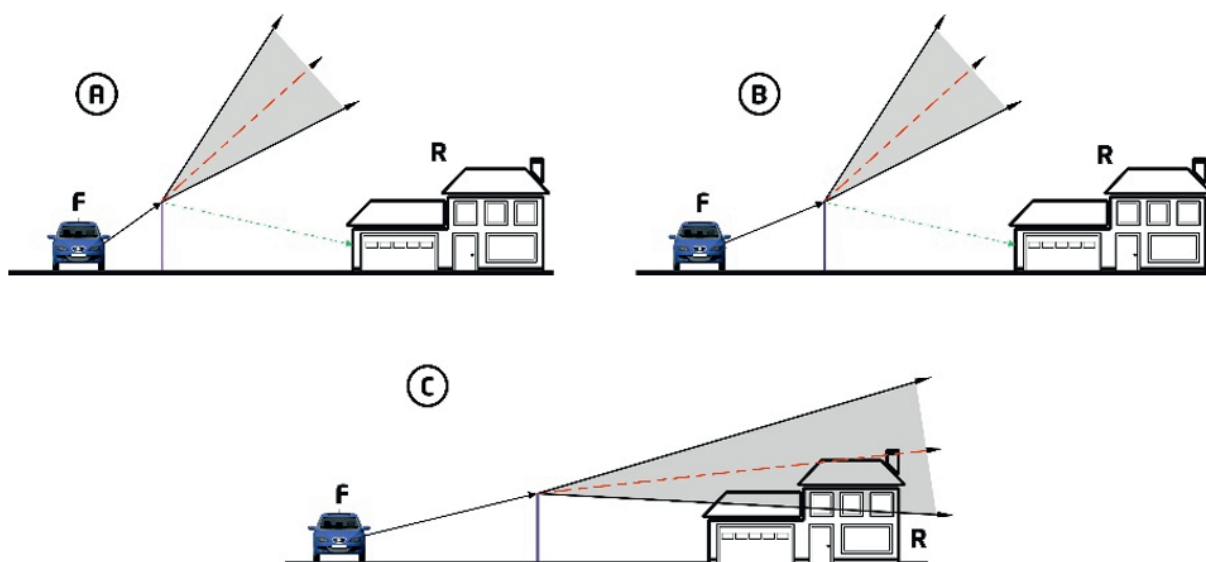


Figura 68: Zona de penumbra (en gris) y diferencia de caminos en función de la posición de la pantalla con respecto al receptor (R) y el foco de ruido (F).

La ubicación de la pantalla también viene delimitada por elementos físicos existentes como pueden ser muros o desmontes que permitan aumentar la altura de la pantalla respecto al receptor. En estos casos, puede resultar más eficaz una pantalla en la cota superior, próxima a los receptores.

6.4.1.2. Altura

La altura óptima de la pantalla se definirá en cada caso en función de los objetivos a alcanzar (cumplimiento de OCA / VLI), y dependerá de la posición relativa entre el emisor y el receptor (distancia, altura relativa y presencia de obstáculos).

Como norma general, las pantallas deberán crear una “sombra acústica” en las zonas a proteger. Una pantalla que deja a los receptores en la zona de penumbra (atenuación inferior a 5 dB) se considera ineficaz e ineficiente en términos de coste/beneficio.

Por otra parte, la altura máxima de la pantalla vendrá delimitada por su eficacia o por una altura límite establecida por la dirección del contrato que generalmente se basa en un balance entre la complejidad técnica, el coste y las correcciones acústicas

esperadas. Generalmente, las pantallas tienen una altura a partir de la cual la reducción de ruido puede considerarse mínima y por tanto esa altura puede considerarse como óptima.

Una pantalla proporciona un nivel de reducción del ruido insignificante si no es lo suficientemente alta para cortar la línea visual entre la calzada y el receptor.

6.4.1.3. Longitud

Como punto de partida, se recomienda alargar las pantallas antes y después del receptor dos veces la distancia existente entre el receptor y la pantalla (para receptores a menos de 100 m de la pantalla). Este criterio puede variar en función de la topografía y del trazado de la carretera (por ejemplo, cuando el receptor se encuentra en el interior o el exterior de una curva), y en todo caso se debe optimizar a partir de los resultados del modelo acústico.

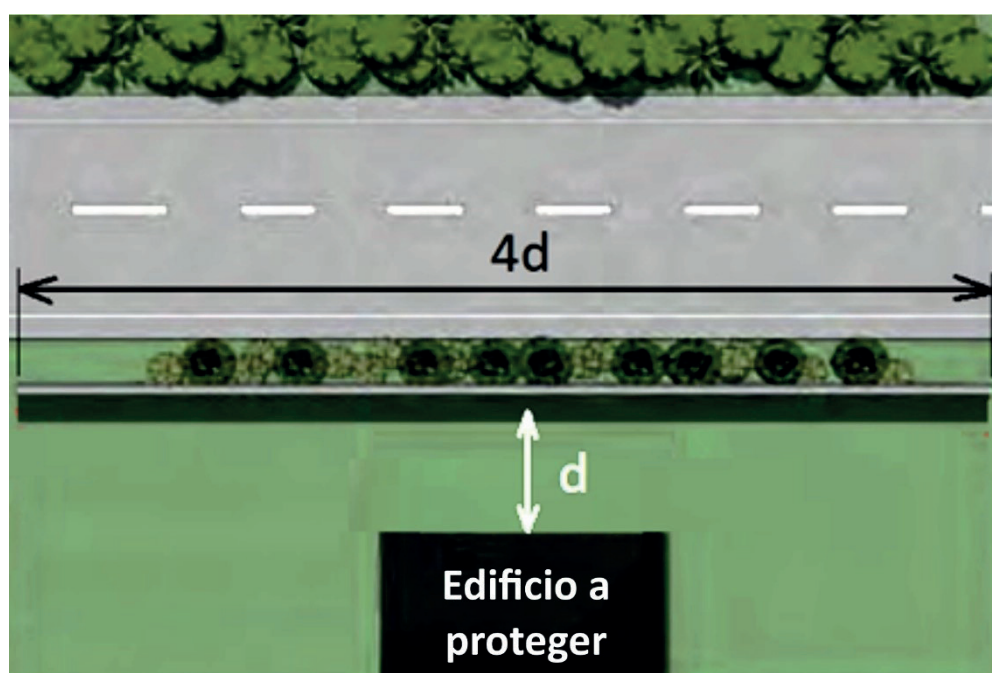


Figura 69: Detalle de la distancia de pantalla recomendada en base a la distancia entre el receptor y el emisor.

Se deben tener en cuenta las limitaciones físicas de los elementos que componen las pantallas acústicas para optimizar la longitud. Por ejemplo, se recomienda utilizar distancias estándares entre perfiles.

6.4.1.4. Análisis del efecto de posibles reflexiones

En el caso de posicionar una pantalla acústica de forma opuesta a otro receptor sensible, se deberá tener en consideración las reflexiones que se producen, ya que pueden llevar a un incremento de los niveles de presión sonora en los receptores opuestos. La siguiente figura muestra un ejemplo de afección negativa de una pantalla sobre un receptor:

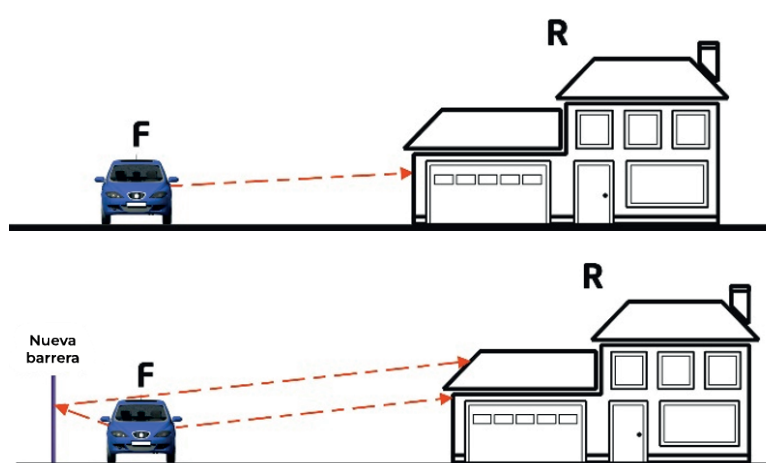


Figura 70: Posibles efectos derivados de pantallas acústicas en receptores secundarios (I).

En el caso de pantallas paralelas, las reflexiones entre ambas pueden provocar una reducción significativa de su eficacia, como se aprecia en la siguiente figura:

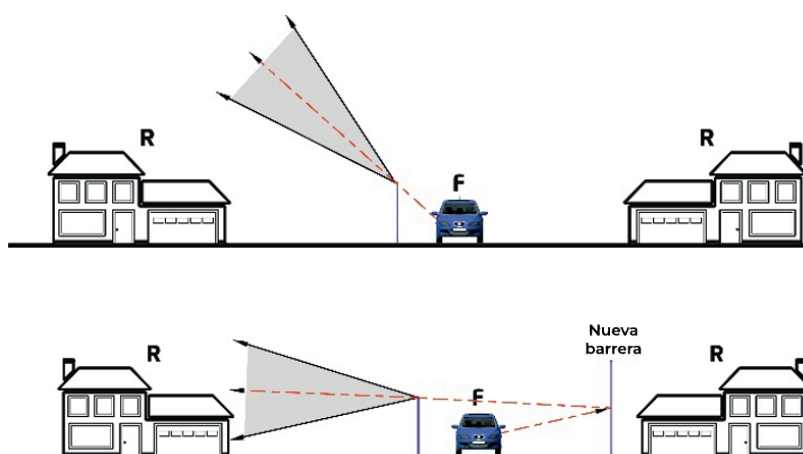


Figura 71: Posibles efectos derivados de pantallas acústicas en receptores secundarios (II).

En casos como los anteriores, se recomienda que las pantallas tengan un acabado absorbente para reducir la contribución de las reflexiones.

6.4.1.5. Discontinuidades/accesibilidad

En el diseño de las pantallas deberán tenerse en cuenta los accesos a propiedades adyacentes a las carreteras, la continuidad de instalaciones y servicios, las estructuras elevadas como puentes y pasarelas y la necesidad de accesos para el mantenimiento y conservación de la infraestructura.

Desde el punto de vista acústico, las discontinuidades en las pantallas provocan disminuciones drásticas en su eficacia, por lo que deben ser evitadas en la medida de lo posible. En ciertos casos, como en las salidas o entradas a las autovías, puede resultar necesario definir pantallas paralelas. En estos casos, se recomienda solapar las pantallas en una longitud suficiente (al menos de tres a cuatro veces la distancia entre ambas pantallas), y disponer de material absorbente en este tramo para evitar reflexiones múltiples.

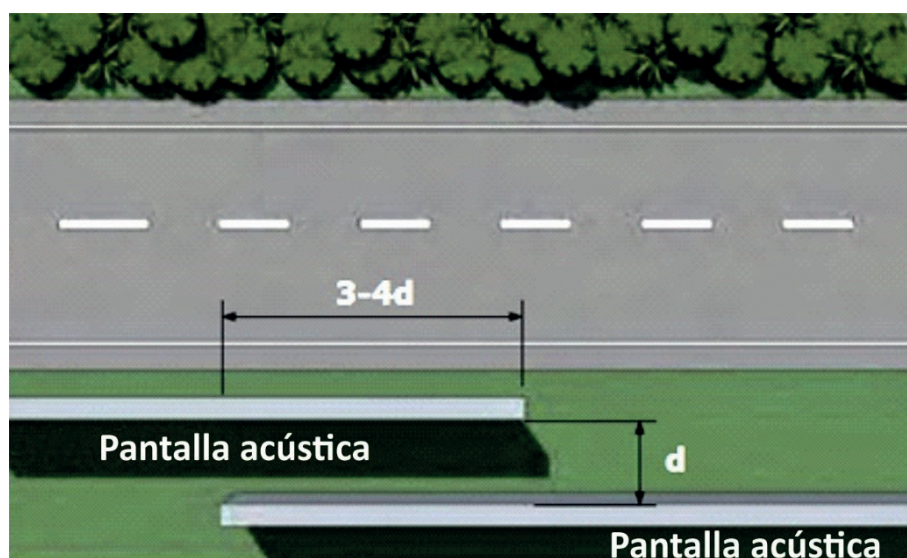


Figura 72: Distancia mínima de solape recomendada entre dos pantallas paralelas.

6.4.2. Criterios de dimensionamiento

6.4.2.1. Definición de criterio coste/beneficio

Como se describe en el apartado 3 (normativa), el estudio de ruido deberá perseguir, en función de su naturaleza, el cumplimiento de los OCA o de los VLI aplicables en las zonas acústicas correspondientes. No obstante, estos objetivos deben perseguirse con criterios de racionalidad económica. Tal y como indica la normativa de referencia:

- En el caso de las infraestructuras existentes donde se superan los OCA, las administraciones deberán adoptar las medidas necesarias para la mejora acústica progresiva del medio ambiente hasta alcanzar el objetivo de calidad fijado, normalmente mediante la aplicación de planes de acción y otros planes zonales.
- En el caso de infraestructuras nuevas, se deben establecer las medidas que resulten económicamente proporcionadas, tomando en consideración las mejores técnicas disponibles.

La normativa española no establece criterios concretos para la priorización de actuaciones ni para la valoración de la racionalidad económica de las medidas propuestas, dejando su definición a las distintas administraciones competentes.

Los criterios que aquí se describen establecen una métrica común en términos de coste/beneficio y han sido diseñados como instrumento para decidir el dimensionamiento idóneo de las pantallas.

Así, para cada configuración propuesta, se calculará el cociente C/B (coste/beneficio), definido como €/habitante equivalente beneficiado, con el siguiente contenido:

C: Coste de la medida (€)

El coste de las pantallas se puede estimar a partir de costes unitarios por superficie, que pueden ser ajustados en casos concretos (por ejemplo, cuando la pantalla requiera una cimentación especial). A modo de ejemplo, se puede aplicar la siguiente tabla:

Tabla 17: Coste de pantalla según tipo de material, altura y cimentación.

Coste de pantalla (€/m ²) según material, altura y tipo de cimentación				
Tipo de pantalla		Tipo de cimentación		
Material	Altura (m)	Zapata corrida	Micropilotes	Pilotes
Hormigón	2	468,27 €	261,70 €	245,74 €
	3	438,83 €	228,51 €	215,21 €
	4	395,43 €	288,32 €	226,16 €
	5	369,15 €	270,72 €	220,99 €

Coste de pantalla (€/m²) según material, altura y tipo de cimentación				
Tipo de pantalla		Tipo de cimentación		
Material	Altura (m)	Zapata corrida	Micropilotes	Pilotes
Metal	2	531,80 €	292,56 €	276,60 €
	3	503,38 €	259,37 €	246,07 €
	4	457,71 €	319,18 €	257,02 €
	5	427,95 €	301,58 €	251,85 €
Metacrilato	2	519,77 €	280,52 €	264,56 €
	3	493,43 €	249,43 €	236,12 €
	4	439,40 €	300,87 €	238,71 €
	5	412,15 €	285,78 €	236,05 €

B: Beneficio de la medida (Nº de habitantes equivalentes beneficiados)

El concepto de habitante equivalente (H_{eq}) unifica en una misma unidad todos los edificios sensibles. Así:

- En los edificios de viviendas, cada habitante afectado contará como un H_{eq} .
- En los edificios sensibles con ocupación permanente, como los hospitales o las residencias, el número de H_{eq} será definido como la ocupación media del edificio (nº de personas).
- En otros edificios sensibles que no están ocupados permanentemente, como los colegios o los centros culturales, se define también a partir de la ocupación media, teniendo en cuenta asimismo el porcentaje del tiempo en que está ocupado.
- En cada periodo (nº de personas/día) y la ocupación media de las viviendas.

Siguiendo este criterio, una residencia con 200 camas computa como 200 H_{eq} :

$$\frac{200 \text{ pax}}{1,8 \text{ pax}/v_{eq}} = 111 v_{eq}$$

En el caso de un colegio con 300 alumnos y horario de 8:00 a 14:00 (6 h), el cómputo para el periodo día¹ (7:00-19:00 h) sería el siguiente:

$$300 \text{ pax} * 6 \text{ h} / 12 \text{ h} = 150 H_{eq}$$

Por otra parte, se computan como beneficiados los H_{eq} que experimentan una mejora acústica, en términos de *insertion loss*, de, al menos, 5 dB(A), tanto si superaban o no los valores límite, y teniendo en cuenta todas las fuentes sonoras. Este criterio pretende establecer un requisito mínimo de eficacia en términos de mejora para la salud y el bienestar de las personas.

Se trata de este modo de evitar la inversión en medidas cuyo rendimiento puede ser suficiente para el cumplimiento de los niveles de referencia, pero que no supone ninguna mejora significativa. A modo de ejemplo, una pantalla que reduce los niveles de 56 a 55 dB(A) puede ser suficiente para cumplir los OCA en una determinada vivienda, pero no mejora de forma apreciable el confort sonoro de sus habitantes, por lo que resulta totalmente ineficaz e ineficiente.

6.4.2.2. Cálculo de habitantes equivalentes afectados y beneficiados

El cálculo de los habitantes equivalentes afectados y beneficiados se basará en los resultados de la simulación acústica por fachadas.

Todos los resultados serán redondeados a la unidad.

Dado que la finalidad última de este cálculo es determinar la eficacia de las medidas en las viviendas y otros edificios sensibles, el cálculo se realizará en todas las plantas de los edificios. Los receptores en fachada se ubicarán según los siguientes criterios:

- La primera fila de receptores se situará una altura de 1,5 m, y se dispondrán filas adicionales cada 3 m hasta alcanzar la altura máxima del edificio.
- Los puntos del receptor se colocarán aproximadamente a 0,1 m delante de las fachadas de los edificios.

¹ En los periodos tarde y noche no está ocupado y por lo tanto no se debe evaluar.

- Se considerará una separación máxima en la fachada entre receptores (ínter distancia) de 5 m y mínima de 0. Por lo tanto, se pondrán receptores en todas las fachadas independientemente de su longitud.
- Los receptores en fachada serán representados mediante “polígonos lineales” que abarquen la longitud de fachada evaluada.

A partir de los resultados obtenidos en fachada, se contabilizarán los H_{eq} según lo establecido en el anexo II de la Directiva 2002/49/CE, modificada por Directivas 2015/996 y 2021/1226:

Tabla 18: Análisis del cómputo de H_{eq} en base a diferentes casos.

Caso:		Cómputo:
Se conoce la ubicación de las viviendas en el edificio (por ejemplo: viviendas aisladas, casas adosadas o pareadas...)		Se asignan todos los H_{eq} de cada vivienda el nivel correspondiente al receptor en fachada más expuesto de la misma
No se conoce la ubicación de las viviendas en el edificio (edificios de apartamentos, edificios no residenciales)	Se sabe que sólo hay una fachada expuesta al ruido	Se reparten los H_{eq} del edificio entre los receptores de la fachada expuesta de forma proporcional a su longitud
	Se desconoce cuántas fachadas están expuestas al ruido o varias lo están	Se calcula la mediana de los niveles sonoros, y se reparten los H_{eq} del edificio entre los receptores en fachada de la mitad superior del conjunto de datos

Se consideran como H_{eq} afectados aquellos que superan los niveles de referencia (OCA o VLI) sin medidas.

Para el cálculo de los H_{eq} beneficiados es necesario comparar, en cada vivienda, la situación con y sin medidas. Esta comparación se realizará del siguiente modo:

- En las viviendas unifamiliares, se comparará el nivel máximo de los receptores con y sin medidas. Si la diferencia entre ambos es igual o superior a 5 dB(A), se computan como beneficiados todos los habitantes del edificio.
- En los edificios con varias viviendas, a partir de los resultados de la simulación sin medidas se identifican las fachadas más expuestas (percentil 50 de los tramos más expuestos) y se dividen los H_{eq} de forma proporcional a la longitud. En estas fachadas, el número de habitantes equivalentes se mantiene constante en los distintos escenarios, y se calcula en cuáles se producen reducciones iguales o superiores a 5 dB(A).

6.4.2.3. Optimización de pantallas acústicas

Una vez definidas gráficamente las pantallas, se parte de una altura de 2 m y se van elevando metro a metro hasta conseguir el objetivo de eliminar todas las superaciones y reducir los niveles sonoros en al menos 5 dB en todos los receptores con superación, o bien hasta alcanzar la altura máxima de diseño.

La altura máxima de las pantallas se establece por defecto en 5 m, pudiendo elevarse hasta los 6 m para proteger centros culturales, docentes o sanitarios, o bien edificios residenciales de cuatro plantas o más. Las pantallas que se cimenten sobre estructuras tendrán la altura limitada por la capacidad portante de la propia estructura; en caso de estructuras existentes la altura máxima será generalmente de 2 m.

En las distintas tentativas de diseño se registran los resultados, calculando:

- N° de H_{eq} que permanecen afectados.
- N° de H_{eq} beneficiados, tanto si estaban afectados como si no lo estaban.
- El presupuesto de la pantalla prevista, calculado a partir de su superficie.
- El parámetro C/B .

Este cálculo se realizará de forma independiente para cada pantalla, pudiendo agruparse varias cuando actúen de forma conjunta sobre los mismos receptores.

Finalmente, se seleccionará la configuración de pantalla que cumpla las siguientes premisas:

- El número de H_{eq} afectados con la pantalla es 0, o no se reduce (en números enteros) al aumentar la altura de la pantalla.
- En caso de que haya varias configuraciones que cumplan la condición anterior, se seleccionará aquella que tenga un menor C/B .

La dirección del estudio podrá establecer unos parámetros mínimos de admisión de las pantallas, en términos de eficacia o eficiencia, por ejemplo:

- El cociente C/B no podrá ser inferior a x €/habitante equivalente beneficiado.
- El cociente N° de H_{eq} beneficiados/ N° de H_{eq} afectados sin medidas debe ser superior al x %.

- En caso de que no se consigan alcanzar los objetivos de diseño con las alturas máximas de pantallas, se mantendrá la propuesta siempre que proporcionen una protección mínima (5 dB(A) de reducción en algún receptor y eliminación de un mínimo de X % de la población con superación de OCA).

6.4.3. Criterios de elección de tipología

La elección de la tipología de las pantallas tendrá en cuenta los siguientes aspectos:

- Criterios acústicos. Como se describe en el apartado 6.4.1.4., las pantallas que puedan afectar negativamente a receptores situados en la margen contraria de la carretera deberán contar con un acabado absorbente.
- Coste. Deberá analizarse el coste de las distintas tipologías de pantalla, teniendo en cuenta tanto su construcción e instalación como la necesidad de mantenimiento y su durabilidad. En ciertos casos, se considerará también la necesidad de realizar expropiaciones o reposiciones de servicios.
- Estética. Se buscará la integración visual de la pantalla en su entorno, teniendo también en cuenta la tipología del resto de pantallas existentes o previstas.
- Intrusión visual. En ciertos casos, como las pantallas construidas muy cerca de edificios, se puede plantear el uso de pantallas transparentes de metacrilato para minimizar la sombra y permitir mantener las vistas. Como norma general, se recomienda que los 2 o 3 m inferiores sean opacos, ya que a esas alturas las pantallas suelen ser objeto de actos de vandalismo (pintadas, roturas del metacrilato...) y no se mantiene su transparencia.

6.5. Diseño estructural

El objetivo de los siguientes párrafos es el de definir una metodología y criterios básicos para el diseño estructural de los distintos elementos que componen las pantallas acústicas: paneles, anclajes, cimentaciones...

En concreto se va a hacer referencia a los siguientes puntos:

- Normativa de aplicación.
- Características mínimas a cumplir por los materiales.

- Niveles de control.
- Criterios a considerar en el dimensionamiento.
- Acciones a considerar.
- Verificaciones resistentes.
- Deformaciones/movimientos admisibles y criterios para su obtención.
- Exigencias específicas de los distintos elementos para asegurar la durabilidad.

6.5.1. Normativa de aplicación (acciones, combinación y diseño de elementos)

Se enumera a continuación la normativa a utilizar:

- EUROCÓDIGO 0: Bases de cálculo de estructuras.
- EUROCÓDIGO 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4. Acciones generales. Acciones del viento.
- EUROCÓDIGO 2: Proyecto de estructuras de hormigón.
- EUROCÓDIGO 3: Proyecto de estructuras de acero.
- UNE-EN 1794-1:2018+AC:2019. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Comportamiento no acústico. Parte 1: Comportamiento mecánico y requisitos de estabilidad. (Edición de octubre de 2011 para determinar los límites de la deformación de los postes, punto A.3.2.2 Requisitos mecánicos para barreras anti-ruido autoportantes. Elementos estructurales. Pantallas antirruído verticales).
- UNE-EN-16727-1 julio 2019. Aplicaciones ferroviarias. Vía. Barreras acústicas y dispositivos relacionados que actúan sobre la propagación aérea del sonido. Rendimiento no acústico. Parte 1: Rendimiento mecánico bajo cargas estáticas. Cálculo y métodos de ensayo.
- Código Estructural (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2021).
- I.A.P. 11 (Instrucción de acciones sobre puentes de carretera).
- Guía de Cimentaciones en obras de carretera (Ministerio de Fomento, 2003).

- Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera.
- Norma de construcción sismorresistente: puentes (NCSP-07).

6.5.2. Características mínimas a cumplir por los materiales

Los elementos de cimentación se ejecutarán en hormigón armado de resistencia característica mínima acorde a las exigencias establecidas en el Código Estructural en función de la clase de exposición:

Tabla 19: Resistencia característica mínima esperada para el hormigón.

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición					
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1
Resistencia característica (N/mm ³)	Masa	20	-	-	-	-	-
	Armado	25	25	25	30	30	30
	Pretensado	25	25	25	30	30	30
Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición					
		XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1
Resistencia característica (N/mm ³)	Masa	-	-	-	-	-	30
	Armado	30	35	30	30	30	30
	Pretensado	35	35	35	35	35	30
Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición					
		XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Resistencia característica (N/mm ³)	Masa	30	30	30	30	30	35
	Armado	30	30	30	30	30	35
	Pretensado	30	30	30	30	35	35
Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición					
		XM1		XM2		XM3	
Resistencia característica (N/mm ³)	Masa	30		30		30	
	Armado	30		30		30	
	Pretensado	30		30		30	

Fuente: Tabla 43.2.1.b del Código Estructural.

El acero en armadura pasiva a emplear en los hormigones será del tipo B 500 S. Las propiedades cumplirán con lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 20: Tipos de acero soldable.

Tipo de acero		Acero soldable		Acero soldable con características especiales de ductilidad	
Designación		B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Límite elástico, f_y (N/mm ²)		≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura, f_s (N/mm ²)		≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, $\epsilon_{u,5}$		≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, $\epsilon_{m\acute{a}x}$ (%)	Acero suministrado en barra	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 7,5	≥ 7,5
	Acero suministrado en rollo	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0	≥ 10,0
Relación f_s/f_y		≥ 1,08	≥ 1,08	$1,20 \leq f_s/f_y \leq 1,35$	$1,15 \leq f_s/f_y \leq 1,35$
Relación f_y real / f_y nominal		-	-	≤ 1,20	≤ 1,25

Fuente: Tabla 34.2.a Código Estructural.

Los aceros en perfiles y chapas para la ejecución de postes a disponer entre paneles, así como la armadura tubular de los micropilotes, serán de acero no aleados de tipo S 275 o superior.

Tabla 21: Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm²).

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	T ≤ 40		40 < T ≤ 80	
	F _y	F _u	F _y	F _u
S 235	235	360 < f _u < 510	215	360 < f _u < 510
S 275	275	430 < f _u < 580	255	410 < f _u < 560
S 355	355	490 < f _u < 680	335	470 < f _u < 630
S 450	450	550 < f _u < 720	410	470 < f _u < 700

Fuente: Tabla 83.1.d Código Estructural.

Los pernos de acero para la unión de los postes a la cimentación serán de acero de clase 8.8, de características según se indica en la siguiente tabla, pretensado con apriete controlado de acuerdo con UNE-EN 1090-2.

Tabla 22: Límite elástico mínimo f_{yb} y resistencia a tracción mínima f_{ub} de los tornillos (N/mm²).

Tipo	Tornillos ordinarios			Tornillos alta resistencia	
Grado	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f _{yb}	240	300	480	640	900
f _{ub}	400	500	600	800	1000

Fuente: Tabla 82.a Código Estructural.

La placa base se sujetará a los pernos con tuercas autoblocantes y arandelas de seguridad que eviten pérdidas de efectividad en el anclaje y movimiento de la unión.

6.5.3. Definición de los niveles de control de los materiales

Se establecerá un nivel de control de ejecución INTENSO para los hormigones de la infraestructura. Será imprescindible, por tanto, que el contratista esté en posesión de un sistema de calidad certificado conforme a la UNE-EN ISO 9001.

El nivel de control de los materiales se establece en NORMAL para el acero en armaduras y ESTADÍSTICO para el hormigón.

6.5.4. Criterios a considerar en el dimensionamiento

Para el dimensionamiento de los elementos estructurales que componen la pantalla acústica deben tenerse en cuenta diversas consideraciones que se describen en los siguientes apartados.

6.5.4.1. Tipología de panel

La elección del tipo de panel viene condicionada principalmente por el estudio del ruido y su capacidad de absorción. Su definición será previa al diseño de la estructura. El fabricante de los paneles deberá garantizar tanto su capacidad de absorción y aislamiento del ruido, así como su resistencia desde el punto de vista estructural ante las cargas a las que será sometido.

6.5.4.2. Tipología de poste y placa de anclaje

La forma del poste debe ser eficiente desde el punto de vista estructural y, por otro lado, debe permitir la unión sencilla a los paneles. La unión de los paneles al poste deberá consensuarse con el fabricante de los paneles. Es habitual el empleo de perfiles doble T.

La separación entre postes afecta directamente a la carga que deben soportar, no sólo el panel, sino el resto de los elementos. A la hora de adoptar el valor de la separación deben tenerse en cuenta las dimensiones de fabricación de los paneles. Un valor común en España es de 4 m.

Se considera importante adoptar un criterio general de separación entre postes que se aplique de manera sistemática a todo el proyecto, facilitando así su fabricación y suministro a la obra. Este aspecto no aplica a condiciones especiales de proyecto como son:

- Inicio y fin de pantalla condicionados por elementos existentes tipo muro que impidan ampliar su longitud hasta alcanzar los módulos de 4 m.
- Servicios afectados que requieran una separación especial para evitarlos.
- Cualquier otra condición geométrica o de elementos existentes, externa al proyecto, que no se pueda modificar.

Siempre que sea posible y salvo causa debidamente justificada, el poste unido a la placa de anclaje provendrá acabado de taller. El conjunto se galvanizará por inmersión en caliente, para asegurar su protección frente a la corrosión. La adopción de todos estos criterios en la definición del poste redundará en:

- Mejor aprovechamiento del material.
- Condiciones de ejecución controladas mejorando la calidad y acabado del producto.
- Calidad del material disponible en España.
- Protección anticorrosión que mejora durabilidad, reduce el mantenimiento y facilita la instalación evitando labores de protección a desarrollar en obra.

La unión del poste con la placa de anclaje se realizará mediante soldadura a tope con preparación de bordes y penetración total, lo que redundará en las siguientes ventajas:

- Se realiza en taller asegurando las condiciones de ejecución.
- Permite mejor aprovechamiento del material.
- Facilita la instalación en obra.

La unión de la placa de anclaje a la cimentación se propone realizar con pernos embebidos en la misma, facilitando el montaje y la sistematización. Como elementos adicionales se propone la utilización de:

- Placa de anclaje con cartelas soldadas en taller que permitan un mayor aprovechamiento del material.
- Mortero entre la unión de la placa de anclaje con la cimentación, para asegurar el correcto asiento.
- Tuercas embebidas en el mortero que permitan la correcta nivelación, haciendo más sencillo su puesta en obra.
- El empleo de pernos pretensados con apriete controlado, ya que es la solución más recomendable para casos como el que nos ocupa, donde se alternan cargas de tracción y compresión.

6.5.4.3. Tipología de cimentación

La tipología de la cimentación está condicionada por los resultados de la campaña geotécnica y la disponibilidad de espacio y/o afecciones producidas.

Las posibles alternativas son:

- Cimentaciones superficiales: Zapatas.
- Cimentaciones profundas: Pilotes/micropilotes.
- Pantallas o cimentaciones ancladas.

De manera general se seguirán los siguientes criterios:

- Para cimentaciones sobre terreno natural:
 - Si existe espacio suficiente para una cimentación directa y se tienen condiciones favorables de cimentación, se dispondrán zapatas aisladas o corridas.
 - Si existe espacio suficiente para una cimentación directa pero no se tienen condiciones favorables de cimentación, se dispondrán pilotes o micropilotes aislados.
 - Si no existe espacio suficiente para una cimentación directa, se dispondrán pilotes o micropilotes con viga de atado, siempre y cuando se disponga del espacio necesario para completar su ejecución. Se contemplará la posible necesidad de disponer accesos que permitan la ejecución de los pilotes o micropilotes.

De manera general, se tendrá en cuenta la tipología del drenaje y los servicios que se encuentren próximos a la zona de actuación, ya que pueden condicionar la solución a llevar a cabo.

- Para anclajes sobre estructura existente:
 - La unión de pantallas acústicas de altura superior a 2 m a tableros de estructuras existentes se realizará por medio de una estructura independiente ya que, desde un punto de vista global, la estructura no está preparada para soportar cargas de viento correspondientes a alturas mayores a 2 m.

- Para el caso de pantallas de 2 m de alto, se analizará el anclaje de la pantalla a la estructura existente.
- En el caso de que la pantalla se disponga sobre un muro existente, podrá unirse al muro o proponer soluciones que no le transmita nuevas cargas. En el primer caso deberá verificarse la estabilidad del conjunto. En el segundo se independizará la estructura de sujeción de la pantalla de la del muro.

Para la ejecución de estos anclajes es relevante disponer de documentación *as built* o de diseño para la realización del análisis estructural de las estructuras objeto de actuación.

Las cimentaciones directas se dispondrán sobre una capa de hormigón de nivelación y limpieza de 10 cm de espesor.

6.5.5. Acciones a considerar

Las acciones a considerar en el dimensionamiento de los elementos que componen la pantalla son las mismas para todos los ellos y se indican a continuación. Además, hay que tener en cuenta el sistema de distribución y reparto de las cargas entre los elementos.

Las acciones actúan sobre los paneles, por lo que el fabricante deberá asegurar que poseen la capacidad resistente para su transmisión, habitualmente a los postes, a través de sus fijaciones. El poste deberá por tanto aguantar las cargas transmitidas por los paneles además de su peso propio. Estas cargas son transmitidas a su vez a la cimentación, que estará sometida también a su peso propio y, según su tipología, podrá estar también sometida a los empujes del terreno. El sistema de distribución de las cargas es, por tanto:

- Paneles.
- Poste-Anclaje.
- Cimentación.

Las acciones a considerar en el dimensionamiento de los elementos son:

- **Carga permanente:** en función del peso propio de cada material que compone cada elemento que será bien definido por el suministrador u obtenido en función del peso específico del material:
 - Hormigón armado: 25 kN/m^3 .
 - Acero: 78.5 kN/m^3 .
- **Viento:** la influencia del viento sobre la pantalla se estudiará y definirá siguiendo la UNE-EN 1991-4:2005, en concreto su apartado 7.4.1 Muros autoportantes.

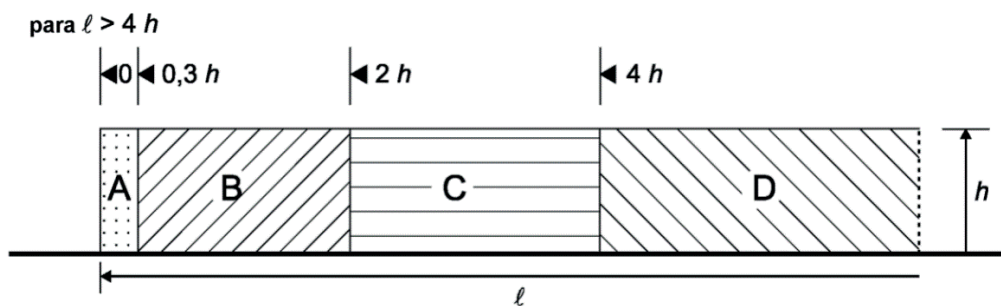


Figura 73: Ejemplo de zonificación según los coeficientes de presión.

En el caso de pantalla acústica de altura variable, se tendrán en cuenta las consideraciones de la UNE EN 1794-1:

- Distancia horizontal L entre los extremos de las zonas de la pantalla acústica con diferentes alturas, con $L > H_{\text{nrđ}}$, se debe tomar como:

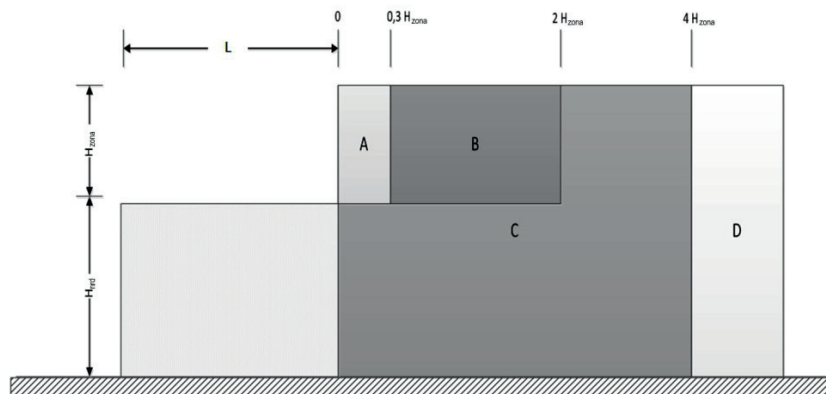


Figura 74: Zonas de muros independientes con altura variable.

- Si la distancia $L < H_{\text{nrđ}}$, la altura total $H_{\text{nrđ}} + H_{\text{zona}}$ se debe considerar para las zonas descritas en la norma UNE-EN 1794-1:2011, anexo A, figura A.2.

- **Nieve:** cuando la carga de nieve pueda ocurrir por la forma de la pantalla acústica, se debe considerar la carga de nieve conforme a la norma EN 1991-1-3. En aquellas zonas donde la limpieza de nieve es una operación habitual de mantenimiento durante el periodo invernal, deberá considerarse la carga sustitutiva ocasionada por acciones dinámicas debidas al proceso de retirada de nieve, tal y como se especifica en el anexo E de la norma UNE-EN 1794-1:2018+AC:2019. La carga no se considerará que actúa simultáneamente con la carga de viento, como indica el anexo.

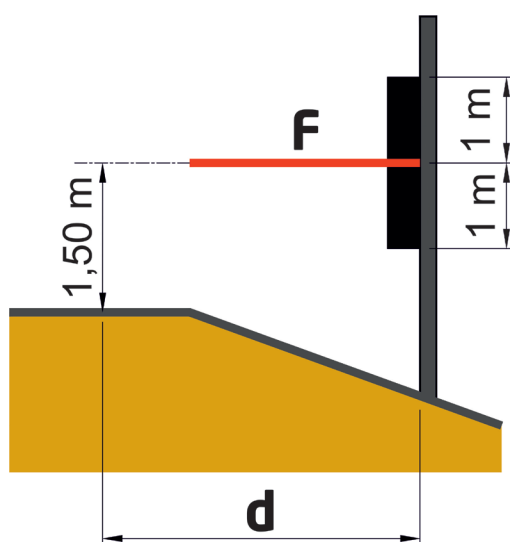


Figura 75: Efecto de la altura sobre la carga dinámica ocasionada por la retirada de la nieve.

- **Sismo:** se analizará la necesidad o no de considerar la acción sísmica, en función de la zona en la que se sitúen las pantallas en cuyo caso se considerará como acción de tipo accidental. Todo ello de acuerdo a la norma NCSP-07.

Para la combinación de las acciones se emplearán los coeficientes parciales de mayoración de acciones y coeficientes de simultaneidad recogidos en la IAP-11-Eurocódigo (UNE-EN 1990:2003/A1 relativo a puentes).

6.5.6. Verificaciones resistentes

Cada uno de los elementos que componen la pantalla acústica deberán diseñarse para cumplir con las exigencias establecidas en la normativa vigente (eurocódigos y código estructural). Se tendrán en consideración las acciones indicadas en el apartado anteriores y se realizarán las verificaciones establecidas por la normativa tanto en estado límite de servicio (ELS) como estado límite último (ELU).

Sin perjuicio de lo anterior, se incluyen a continuación las verificaciones fundamentales a realizar en cada uno de los elementos.

6.5.6.1. Estructura de soporte

Se realizarán las verificaciones exigidas al material empleado en el soporte. Para el caso habitual de postes metálicos, las verificaciones a realizar serán las siguientes:

- Verificación de la resistencia de la sección transversal (ELU): axil, cortante y flexión combinados.
- Verificación de la resistencia de la sección a pandeo (ELU): compresión y flexión. Se deberá considerar la capacidad que presentan o no los paneles de impedir el pandeo lateral de la sección.

La placa de anclaje dispuesta en la base del poste deberá también verificar su capacidad a flexión y a cortante, tal y como establece el eurocódigo/Código Estructural. Se considerarán en el dimensionamiento las cartelas, y su unión tanto al poste como a la propia placa.

6.5.6.2. Uniones

En la unión del soporte a la cimentación a través de pernos, deberán realizarse al menos las siguientes verificaciones:

- Cortante.
- Aplastamiento.
- Tracción.
- Punzonamiento.
- Deslizamiento.
- Combinación de esfuerzos de tracción y cortante.

Del mismo modo, deberán analizarse la unión de los pernos con el hormigón de la cimentación, para evitar que se generen fenómenos de arrancamiento, desgarro o desprendimiento lateral del hormigón, considerando la interacción de los esfuerzos de tracción y cortante.

6.5.6.3. Cimentaciones

6.5.6.3.1. Cimentación directa

Cuando el tipo de cimentación sea directo con zapata aislada o corrida, deberá comprobarse que las tensiones máximas y medias transmitidas por la zapata no superan las tensiones admisibles del terreno. Del mismo modo, se cumplirá con el resto de las limitaciones establecidas en la Guía de cimentaciones en obras de carreteras elaborado por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana en el año 2019 en cuanto a coeficientes de seguridad al hundimiento, al vuelco y al deslizamiento para las distintas combinaciones de carga. Deberá tenerse en cuenta la distancia de la zapata a los bordes del terraplén.

Se evitará que se produzcan levantamientos en la zapata para la combinación de acciones característica de Estado límite de servicio.

En función de las dimensiones de las zapatas se dimensionará el armado en base a criterios de flexibilidad o aplicando la teoría de bielas y tirantes. Se dispondrá armadura en la cara superior de la zapata.

6.5.6.3.2. Cimentación profunda

La modelización del elemento de cimentación deberá tener en consideración la interacción con el terreno a partir de parámetros reactivos que tengan en cuenta posibles efectos de falta de rigidez o consolidación del terreno. Se tendrán en cuenta la influencia de la posición del nivel freático. La modelización deberá tener en cuenta la posibilidad de que la parte superior del terreno se encuentre alterada disminuyendo por tanto sus propiedades geotécnicas. También deberá considerarse en cálculos la posición relativa de la pantalla respecto al borde del terraplén, aplicando reducciones en sus asociados a la proximidad al borde. Dichas consideraciones deberán quedar claramente plasmada en los cálculos que se lleven a cabo.

Asimismo, en el caso frecuente de pantallas junto a la cabeza de desmontes habrá de comprobarse, y en su caso limitarse, que los empujes pasivos necesarios, tanto locales como globales, no superan los disponibles por la ubicación de la pantalla junto al desmonte.

Se tendrá en consideración la existencia de estructuras cercanas que puedan necesitar la reducción de los movimientos en cabeza, así como las necesidades funcionales que el sistema de pantalla pueda imponer a los movimientos de cimentación.

Para estos pilotes/micropilotes la carga de hundimiento rara vez es determinante. Consecuentemente la longitud del pilote se determinará iterativamente con el cálculo de esfuerzos horizontales y movimientos en el mismo. A partir de determinadas longitudes, normalmente del orden de 2,5 a 3,5 veces la longitud elástica del pilote (o, mejor dicho, del sistema suelo/pilote) el incremento de la longitud del pilote influye poco en la mejora de esfuerzos y movimientos en su cabeza, pudiendo ser más efectivo aumentar el diámetro de éste o dotarle de sistemas de soporte horizontal (por ejemplo, micropilote inclinado en sistemas de micropilotes).

Se recomienda el uso de los sistemas de cálculo indicados en la Guía de cimentaciones en obras de carretera (GCOC), complementados, en su caso, con el cálculo por diferencias finitas o el cálculo elástico del pilote, con muelles elasto-plásticos o diagramas P-y. Las longitudes para las que los sistemas de cálculo indicados en la GCOC son válidos, esencialmente formulaciones para el fallo por rotura del terreno y fórmulas semianalíticas, presentan un *gap* (separación entre ambos intervalos de validez), que puede aconsejar el uso de los sistemas elasto-plásticos indicados. Se procederá al dimensionamiento de la cimentación siguiendo criterios de resistencia tanto a flexión como a cortante, calculándose al menos las secciones de momentos máximos y de cortantes máximos, en ambas sentidos o direcciones, teniendo en cuenta los valores de esfuerzos asociados a los mismos y en su caso el decalaje de momentos para el cálculo de cortantes.

Se comprobarán y limitarán los movimientos en cabeza de los pilotes conforme a lo que se indica más adelante.

Se estará a los indicado por los siguientes documentos:

- Guía de cimentaciones en obras de carretera.
- Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera.
- Código Estructural-eurocódigos.

6.5.6.3.3. Deformaciones y movimientos admisibles, criterios

– Poste:

La limitación de la flecha en la parte superior del poste se verificará en estado límite de servicio (ELS), teniendo en cuenta, al menos, el peso propio y la acción característica del viento. Los valores límite de la flecha o deformación elástica horizontal máxima en milímetros, bajo carga de viento de diseño será como establece la UNE-EN 1794-1:2018+AC:2019.

A.3 Funcionamiento de los elementos estructurales

Al determinar las flechas de los elementos estructurales mediante cálculo, no se deben tener en cuenta los movimientos de rotación o los desplazamientos con origen en las cimentaciones o en los puntos de conexión (por ejemplo, del poste vertical al voladizo no vertical).

La tabla A.1 muestra diferentes tipos de elementos estructurales correspondientes a cuatro flechas máximas diferentes. Se debe elegir el tipo más adecuado en función del uso previsto.

Tabla A.1 – Límites de flecha para elementos estructurales

Flecha $d_{\max}$	Tipo
$\leq L_s / 200$	d1
$\leq L_s / 150$	d2
$\leq L_s / 100$	d3
$\leq L_s / 75$	d4

NOTA 1 Esta tabla proporciona ayuda al fabricante y al comprador para especificar el uso previsto para el que se diseña o se adquiere el producto.

NOTA 2 La elección del tipo depende de características tales como el tipo de cimiento, el tipo de paneles (por ejemplo, los materiales frágiles pueden requerir menores flechas), etc.

Figura 76: Detalle del apartado A.3 Funcionamiento de elementos estructurales de la norma UNE-EN 1794-1:2018+AC:2019.

En función del uso previsto el proyectista elegirá la flecha máxima permitida para los elementos estructurales. Para los materiales más frágiles o quebradizos será necesaria una mayor limitación de la flecha de los perfiles de soporte. Así, por ejemplo, cuando los paneles acústicos a instalar entre los perfiles de soporte vayan a ser paneles de vidrio, la máxima flecha admisible de los perfiles de soporte tendrá que ser menor, que en el caso de que se instalen paneles de PVC sobre esos mismos perfiles de soporte.

La configuración del soporte o unión entre paneles y perfiles es de gran importancia a la hora de determinar estas deformaciones admisibles

El cálculo de la flecha en la cabeza del poste indicado en este apartado, necesario para la comprobación funcional y estructural de los paneles, corresponde a la deformación de los paneles y su estructura de soporte, por lo que, a estos efectos, no necesita tener en cuenta el movimiento de rotación o desplazamiento de la cimentación. A estos efectos se estará a lo dicho en el apartado siguiente.

– Cimentación:

En el caso de la cimentación profunda también se comprobará el movimiento de la cabeza de los pilotes/micropilotes. Al igual que para el poste, la comprobación se realizará para la acción característica del viento en estado límite de servicio, en ambas direcciones.

Se comprobará que las deformaciones en cabeza son compatibles con las deformaciones admisibles por la pantalla. Se recomienda aceptar un desplazamiento admisible en cabeza de 25 mm y un giro admisible en cabeza de 5 mm/m.

Convenientemente justificado, si no hay limitaciones adicionales por presencia de otras cimentaciones o estructuras que puedan verse afectadas, o por la compatibilidad de deformaciones de la pantalla, u otras causas, se podrá aceptar un desplazamiento en cabeza de hasta 40 mm.

Se recomienda asimismo el uso de viga riostra que una las cabezas de los pilotes micropilotes para minimizar los posibles giros y desplazamientos diferenciales entre las cimentaciones de postes consecutivos.

6.5.7. Exigencias específicas de los distintos elementos para asegurar la durabilidad

De cara a desarrollar una estrategia de durabilidad de las pantallas acústicas, serán necesarias actuaciones durante todas las fases de la vida útil de la estructura: diseño, ejecución, mantenimiento y operación. Se indican a continuación los aspectos a tener en cuenta en la fase de diseño:

- Se definirá la vida útil de cálculo para la estructura, que deberá ser de categoría 3 o superior.
- Se identificará la clase de exposición de la estructura, tal y como se especifica en el artículo 27. Criterios específicos para las estructuras de hormigón del Código Estructural.

- Se adoptarán formas estructurales que no sean especialmente sensibles a la acción del agua y que permitan la rápida evacuación de la misma. En el caso de las estructuras de acero, se buscarán formas que faciliten la preparación de las superficies, el pintado, las inspecciones y el mantenimiento, prestando especial atención a los detalles la facilidad para el proceso de galvanización.
- Se asegurará el empleo de elementos de calidad adecuada (hormigón, acero, pernos...) incluyendo en caso de que fuera necesario, medidas específicas frente a la agresividad. Para los elementos de acero, se realizará recubrimiento de galvanización en caliente realizado acorde a la norma UNE-EN ISO 1461. El espesor del recubrimiento se definirá en función de la vida útil de la estructura y la clase de exposición de la estructura, tal y como establece la UNE-EN ISO 14713.



7

Fase de ejecución

7.1. Partes intervinientes en el proyecto

Para entender cuáles son los requisitos básicos del proyecto hay que tener en cuenta que son muchos los actores que pueden intervenir en el diseño, la realización, el control, etc. de una obra de protección acústica. Distinguimos en particular:

– **El propietario de la infraestructura (la administración pública):**

- Es el responsable de las molestias ocasionadas por las infraestructuras de transporte de las que es responsable. En consecuencia, define las necesidades, el presupuesto y el calendario provisional de las obras de protección frente al ruido.
- Ordena, o delega, la realización del estudio acústico que definirá los parámetros del dispositivo (posición, longitud, altura, prestaciones acústicas a respetar). Elige al director de proyecto para la redacción del proyecto de construcción de instalación de las pantallas acústicas definidas en el estudio acústico. Elige al director de obra y a las demás partes interesadas, como la asistencia técnica, que son responsables ante él en el marco de sus respectivas misiones.
- En caso de modificación de la infraestructura, o de las pantallas acústicas identificadas en el estudio acústico, verifica las consecuencias acústicas mediante cálculos adicionales.

Es responsable, al final de la obra, frente a la población afectada por el ruido de la infraestructura, del comportamiento acústico en las fachadas de los edificios expuestos.

– **El director de obra:**

Está encargado por el cliente de velar por la conformidad arquitectónica, técnica, económica y administrativa del proyecto, dirigir y controlar la ejecución de las obras y aceptarlas. Por lo tanto, debe hacer cumplir las restricciones intangibles proporcionadas por el cliente (ver arriba).

- Elabora las especificaciones de los estudios y obras a partir del programa y los elementos transmitidos por el cliente. Ayuda al cliente a encontrar y seleccionar las empresas intervinientes (contratistas y proyectistas) previa consulta.

- Aprueba los proveedores presentados por las empresas contratistas verificando que cumplan con las especificaciones y valida las solicitudes de aprobación de suministros antes de implementar cualquier producto en el sitio.
- Verifica los estudios de ejecución transmitidos por las empresas contratistas.
- Verifica que el proveedor de los dispositivos de reducción de ruido ha elaborado una declaración de prestaciones y el marcado CE según se indica en el punto 5 de este documento.
- Recoge los informes de ensayo del fabricante y comprueba que proceden de un laboratorio acreditado para UNE-EN 14388 (para las características cubiertas por el marcado CE). También se deben proporcionar notas de cálculo; pueden ser establecidos por el fabricante después de la validación de los cálculos de tipo por parte de un laboratorio acreditado (para las características cubiertas por el marcado CE). El cliente también verifica que los rendimientos declarados sean consistentes con el proyecto de ejecución.
- Supervisa la ejecución de las obras.
- Acepta el trabajo. En particular, hace comprobar las prestaciones de la protección acústica instalada mediante ensayos acústicos. Consulta el expediente de las obras ejecutadas (planos después de la ejecución, informes acústicos, informes de ensayo etc.).

– **Asistencia técnica para el control de ejecución y vigilancia de las obras:**

El cliente puede ser apoyado por un consultor o asistencia técnica de la obra. Es un profesional de la construcción. Su misión es ayudar al órgano de contratación a definir, gestionar y operar el proyecto. Lo elige el propietario de la infraestructura. El tomador de decisiones sigue siendo la autoridad contratante.

– **Asistencia técnica para la redacción del proyecto:**

- Dimensionan geométricamente, acústicamente y estructuralmente las pantallas.
- Definen las características técnicas de las pantallas acústicas.
- Tienen el deber de asesorar al PROPIETARIO y al DIRECTOR DE OBRA dentro de los límites de su campo de competencia y de su misión.

- Pueden ser llamados a realizar mediciones de aceptación para la protección acústica a solicitud del CLIENTE o del DIRECTOR DE OBRA.

- **La empresa constructora (contratista):**

Está encargado por el cliente de ejecutar el proyecto, velar por la conformidad arquitectónica y técnica del proyecto, así como de la calidad de la construcción.

Presenta al cliente o director de obra los proveedores de los dispositivos reductores de ruido verificando que cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto y las normas en vigor y presenta las solicitudes de aprobación de suministros antes de implementar cualquier producto en la obra.

Proporcionan al cliente la declaración de prestaciones y el marcado CE y todos los informes de ensayo y cálculo proporcionados por el fabricante verificando el cumplimiento de las especificaciones del proyecto y de las normas de aplicación.

- **Fabricantes de dispositivos de reducción de ruido:**

- Definen sus familias de productos (conjunto de productos para los que son aplicables las prestaciones declaradas).
- Disponen de un laboratorio acreditado que elabora un informe de ensayo para cada prestación que deben declarar en el marco del marcado CE. Establecen las notas de cálculo tras la validación de los cálculos de tipo por parte de un laboratorio acreditado. El establecimiento de estas justificaciones puede variar dependiendo de si se trata de productos existentes o productos desarrollados específicamente para una aplicación particular.
- Proporcionan la declaración de prestaciones (DoP) a la empresa constructora todos los informes de ensayo y cálculo. En el apartado 5 de este documento se desarrollan en detalle los conceptos relativos a la declaración de prestaciones.
- De ser necesario, realicen o hayan realizado la determinación de cualquier otra actuación solicitada por el PPTP.
- Establecen un control de producción en fábrica (CPF) que garantiza las prestaciones indicadas.
- Elaboran instrucciones de montaje y mantenimiento.

– **La empresa instaladora:**

- Es responsable de la implantación de “dispositivos de reducción de ruido” en obra de acuerdo con las instrucciones de montaje proporcionadas por el fabricante (instalación de productos, sellado acústico, etc.).
- Debe aplicar las especificaciones definidas por el director del proyecto.

– **El laboratorio acreditado:**

- Es notificado por un Estado miembro de la Unión Europea para llevar a cabo la evaluación del rendimiento de los “dispositivos de reducción de ruido” en relación con los requisitos esenciales definidos por la norma de producto.
- Tiene el mandato del fabricante del “dispositivo de reducción de ruido” para realizar las pruebas y validar las notas de cálculo de tipo para todas las prestaciones declaradas en el contexto del marcado CE.
- En España, realiza al menos uno de los ensayos de caracterización bajo acreditación ENAC y tiene capacidad para asegurar el rendimiento y/o la calidad de la determinación de los demás rendimientos (según lo dispuesto en la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 para ensayos).



Figura 77: Actores involucrados en un proyecto de disposición de dispositivos de reducción de ruido.

7.2. Recepción y control del material, documentación a aportar por el proveedor antes y después del suministro de las pantallas acústicas

Con anterioridad al suministro de los DRR el fabricante deberá presentar la siguiente documentación para ser aprobada por el constructor y el director de obra:

1. La declaración de prestaciones (DoP).
2. El marcado CE.
3. Los informes de evaluación o prueba de tipo inicial. Se presentarán los informes de ensayo completos (con todas sus hojas) de las características declaradas en la DoP realizados por el laboratorio acreditado.
4. Un dossier de producto que incluya las características técnicas de la pantalla, presentando planos de detalle con las dimensiones geométricas, espesores, características de los materiales, medios de sellado entre los elementos acústicos (si los hubiere), y entre estos y los postes metálicos de soporte (si los hubiere), tolerancias, y resto de características de la pantalla.
5. Las instrucciones de instalación que describen cómo debe instalarse el producto (elemento acústico, pantalla acústica completa, etc.) para lograr el rendimiento o prestaciones declaradas.
6. Un manual de mantenimiento en el que se especifiquen las acciones a realizar, o a evitar, para mantener la durabilidad de las prestaciones acústicas, la resistencia estructural, etc.

Una vez suministrados los DRR y basado en el control de producción en fábrica, el fabricante deberá presentar toda la documentación relativa al control de calidad de los materiales y al proceso de producción con los que ha fabricado los DRR.

7.2.1. Plan de control

El plan de los controles relativos a la fabricación (FPC) de los paneles deben incluir como mínimo:

1. Control documental de los materiales suministrados que certifique que las materias primas con las que se han fabricado los paneles acústicos cumplen con los requisitos para los materiales especificados en el punto 4.2.2 para cada tipología de pantalla.
2. Controles de aceptación de acuerdo con procedimientos internos o en un laboratorio externo.
3. Controles del sistema de producción.
4. Control del producto terminado.
5. Trazabilidad documental.

Una vez recibidas en obra el material constituyente de las pantallas acústicas deberá comprobarse que:

- El producto suministrado se corresponde con la descripción detallada en la declaración de prestaciones, en el marcado CE y en los informes de ensayo correspondientes. En particular en lo relativo a los materiales constituyentes, forma, dimensiones, componentes, espesores y calidades.
- Se prestará especial atención a los sistemas de sellado utilizados en las juntas entre paneles acústicos y en las juntas de unión de los paneles acústicos con los perfiles de soporte, de forma que los que se apliquen en la obra, sean los mismos que los que se hayan colocado durante los ensayos hechos en el laboratorio. Es decir, si, por ejemplo, en el informe de ensayo de laboratorio se indica que se sellaron con juntas de goma EPDM las uniones entre los paneles acústicos y los perfiles de soporte para obtener el valor del aislamiento acústico en campo directo según la UNE-EN 1793-6, en la obra se deberá realizar el mismo sellado con las mismas juntas de goma EPDM. No se permitirán sellados con silicona o espuma de poliuretano entre paneles acústicos ni en la unión entre los paneles y los postes de soporte, ya que la vida útil de estos materiales es muy corta y obliga a su reposición y/o mantenimiento en muy breves periodos de tiempo.
- En caso de duda sobre la suficiencia técnica de la documentación aportada para asegurar la idoneidad del producto al uso previsto, se realizarán ensayos de recepción en obra adecuados, detallados en el apartado 7.3.

- En cualquier caso, debería ensayarse una muestra seleccionada al azar entre los paneles enviados a la obra para verificar su correcto comportamiento mediante la realización de un ensayo de carga normal (90°) que un elemento acústico puede soportar (carga eólica y estática) según viene definido en la norma UNE-EN 1794-1, anexo A. Se realizará el ensayo sobre elementos acústicos de los dispositivos reductores de ruido suministrados a obra y seleccionados por la dirección de obra o la asistencia técnica.

7.3. Ensayos de recepción acústicos

Los ensayos acústicos de las características intrínsecas del elemento de ensayo cuyos resultados estén basados en la norma UNE-EN 1793 partes 5 y 6 serán realizados por un laboratorio independiente y acreditado por ENAC. La verificación de la mitigación, debe ser realizada y firmada por un técnico competente en acústica ambiental tal como lo indica el artículo 31 del Real Decreto 1367 de 2007.

El rendimiento requerido para pantallas acústicas que se llevarán a cabo a lo largo de la infraestructura vial se debe distinguir entre:

- **Prestaciones acústicas intrínsecas del sistema antirruido:** son las características independientes de la ubicación de la pantalla de ruido y el efecto esperado de la reducción de ruido en los receptores. Estas prestaciones solo dependen del producto (sistema de pantalla y componentes) y de los métodos de montaje. El fabricante y la empresa instaladora son responsables de ellos.

La declaración de rendimiento acústico intrínseco es parte del proceso de marcado CE que se presenta una vez que se haya adjudicado el contrato. Para esta declaración y para el proceso de marcado CE, consulte el punto 5 de este documento.

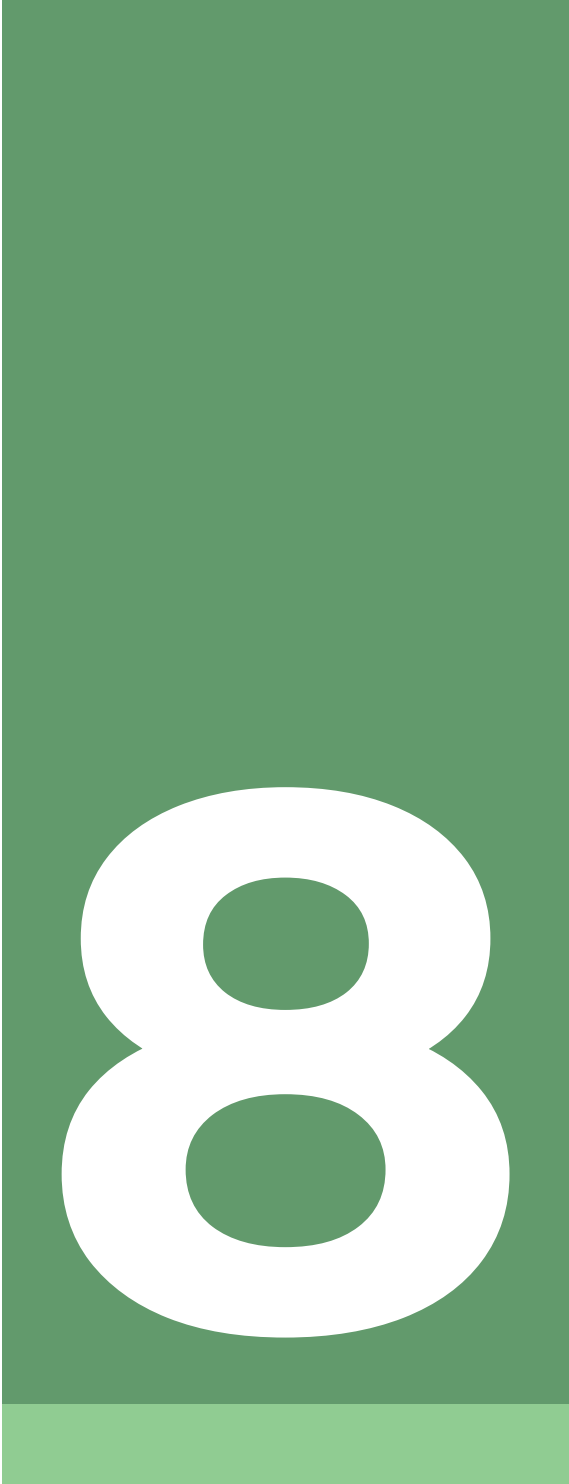
La verificación experimental mediante ensayos de las características acústicas intrínsecas se contempla no sólo en la fase de preparación del marcado CE sino también en esta fase de verificación mediante ensayos de recepción que es el objeto de este apartado.

- **Prestaciones acústicas extrínsecas del sistema antirruido:** o prestación relativa a la eficacia acústica global en la obra (pérdida de inserción y niveles

de entrada en los receptores). Esta es la reducción de los niveles de presión acústica inducida por la construcción de la pantalla de ruido en una serie de puntos ubicados en el territorio e identificados como receptores. Es responsabilidad, tanto de la dirección, del contratista, del fabricante y del instalador de alcanzar los valores establecidos en el proyecto.

La evaluación de estas prestaciones no forma parte del proceso de marcado CE. Los niveles de prestaciones que la obra debe satisfacer vienen determinados también por los documentos de proyecto (estudio acústico, estudio de tráfico, etc.).

Para conseguir dichos objetivos, se realizarán verificaciones *in situ* de la eficacia acústica. La descripción de esas verificaciones es el objeto de este apartado.



8

**Fase de
mantenimiento
y operación**

8.1. Monitorización de los niveles sonoros

La metodología para la realización de las campañas de medición de los niveles sonoros en la fase de mantenimiento y operación se realizarán siguiendo los mismos criterios descritos en el apartado 6.2. de la presente guía.

En el caso de que se disponga de mediciones preoperacionales, los puntos de medida a realizar tras la ejecución de las actuaciones deberán coincidir en la medida de lo posible.

8.2. Elaboración de mapas de ruido

En la fase de operación, y con periodicidad quinquenal, será necesario actualizar los mapas de ruido en el ámbito del proyecto, para el tráfico real existente en la vía, dado que, durante dicho periodo, se pueden haber producido variaciones significativas de los parámetros con influencia acústica (IMD, % de vehículos pesados, reducciones del límite de velocidad, estado del pavimento, etc.).

A partir de los mapas de ruido actualizados, se obtendrán los niveles de ruido en las edificaciones más expuestas, verificando que se siguen cumpliendo los límites legales. De no ser así, se analizarán las causas, y se estudiarán las posibles medidas correctoras a implementar, para que esto no suceda.

8.3. Durabilidad

Como ya se ha indicado anteriormente, la estrategia de durabilidad debe incluir actuaciones en todas las fases de la vida útil de la estructura. Se indican a continuación los aspectos a tener en cuenta en las fases de ejecución, mantenimiento y operación:

- Se controlará la fase de ejecución de las obras, para asegurar que no se afecta a los elementos que aseguran la durabilidad de las estructuras. En el caso del hormigón se controlará que se dejan los recubrimientos necesarios. Para las estructuras de acero se asegurará que el proceso de transporte no daña el recubrimiento de pintura y/o galvanizado.
- Durante las fases de uso es fundamental el acceso a los diferentes elementos para poder proceder con la inspección que permita en primera instancia identificar los

elementos dañados para posteriormente proceder a su reparación o reemplazo. Se revisarán todos los elementos de forma periódica realizando las reparaciones necesarias: reemplazo de paneles acústicos dañados, reposición de las uniones a los paneles, reposición de la protección contra la oxidación en zonas dañadas, reparación de la unión a la cimentación, etc. Uno de los elementos clave a la hora de revisar en las fases de mantenimiento es la unión de la placa base con la cimentación: posible deterioro del mortero, estado de los pernos y tuercas, así como la revisión de su apriete.

8.4. Pérdidas de eficacia a lo largo del tiempo

La idoneidad del comportamiento a largo plazo de los elementos acústicos debe establecerse de acuerdo a lo indicado en la norma UNE-EN 14389 y deberá proporcionarse el valor garantizado al final de la vida útil del producto, para los índices acústicos DL_{α} , DL_R , DL_{RI} y/o DL_{SI} , según corresponda al caso, para cada una de las clases de exposición que resulten de aplicación, enumeradas en la tabla 1 del anexo A de la mencionada norma.

Las pantallas acústicas pueden ir perdiendo eficacia acústica a lo largo de su vida útil, aunque, con una correcta instalación y mantenimiento de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes, esta merma será mínima.

Evidentemente, la eficiencia acústica de la pantalla, estará íntimamente ligada a su integridad dimensional y estructural, debiéndose mantener su sección, longitud y altura.

Algunos factores o situaciones, que deben evitarse a lo largo del tiempo son:

- Utilización de materiales no apropiados para las condiciones meteorológicas donde son instaladas.
- Pérdidas de sección por corrosión superficial de las pantallas, sobremanera en aquellas de espesores mínimos.
- Para pantallas fonoabsorbentes, tupido de las perforaciones reduciendo su coeficiente de absorción.
- Degradación de las juntas de sellado perimetral y entre paneles.

- Rotura o desprendimiento de paneles por esfuerzo de viento, proyecciones, actos vandálicos o colisiones.
- Socavones en el terreno como consecuencia de escorrentías deficientemente canalizadas, que provocan aparición de fugas de sonido en la parte interior de las pantallas.

Asimismo, las pantallas bien instaladas y mantenidas, sin merma de propiedades acústicas durante su vida útil, disminuirán de forma indirecta su efectividad, cuando se produzcan incrementos de presión sonora en el entorno de la pantalla debido a factores extrínsecos, es decir, será insuficiente la capacidad atenuación para mantener los niveles de ruido en los receptores sensibles, objetivo para las que fueron diseñadas.

Este aumento de los niveles de presión sonora, pueden ser debidos, entre otros a:

- La urbanización en el trasdós de la pantalla, sustituyendo zonas ajardinadas por pavimentos rígidos que aumentarán las reflexiones.
- La colocación de una pantalla en el margen contrario a la existente.
- El deterioro o sustitución de la capa de rodadura de la vía por otra menos fonoabsorbente.
- El incremento de IMD o de vehículos pesados por encima de lo previsto en proyecto.
- Incrementando del IMD y el % de vehículos pesados, por un mayor incremento anual al previsto o por la incorporación de nuevas intersecciones.
- Velocidades superiores a la de proyecto.

8.5. Mantenimiento

Los sistemas antirruído deben estar equipados con un plan de mantenimiento. Este plan, que forma parte integrante del proyecto constructivo, deberá prever, planificar y programar las actividades de mantenimiento de las obras de protección acústica, con el fin de mantener en el tiempo su funcionalidad, características de calidad, eficiencia y valor económico.

8.5.1. Contenido y estructura del plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento debe constar de los siguientes documentos operativos:

- Manual de usuario, que enumera los métodos de inspección a utilizar con el fin de identificar posibles fallos que puedan afectar a la durabilidad de las pantallas, cuya resolución permita garantizar la extensión de la vida útil del sistema de supresión de ruido y el mantenimiento del valor patrimonial del mismo.
- Manual de mantenimiento, que es la herramienta capaz de gestionar un contrato de mantenimiento ordinario y la posible utilización de centros de asistencia o servicio.
- Programa de mantenimiento, que define y planifica las intervenciones necesarias para garantizar la funcionalidad, durabilidad y correcto funcionamiento de la obra, así como la frecuencia, costes y estrategias de ejecución de las intervenciones a realizar a medio y largo plazo; en particular, este programa debe definirse en función del rendimiento esperado (por clase de requisito), de las comprobaciones a realizar en los momentos posteriores del ciclo de vida de la obra (dinámica de rendimiento), así como de la organización temporal de las intervenciones de mantenimiento para realizar.

No obstante, se considera oportuno destacar cómo, ya en las fases de ejecución de las opciones de diseño y construcción, se debe tener en cuenta la necesidad de minimizar la necesidad de realizar intervenciones de mantenimiento sobre las obras realizadas.

En este sentido, es recomendable que la implantación del sistema antirruido sea tal que asegure que, tras su ensayo, durante la vida útil de la obra (que se considera como mínimo de 10 años) el mantenimiento, excluyendo trabajos por causas accidentales, así como la limpieza ordinaria y la posible eliminación de pintadas.

También se enfatiza que en la fase de ejecución de las intervenciones de mantenimiento, no se debe comprometer la estática de la estructura, ni causar daños a personas y cosas; finalmente, en la medida de lo posible, no deberían alterarse las condiciones normales de circulación por carretera.

En los siguientes párrafos, distinguiendo entre elementos acústicos y estructurales, se informa (a título indicativo y no exhaustivo) de las intervenciones de mantenimiento a prever para las principales categorías de materiales que componen los sistemas antirruido.

8.5.2. Mantenimiento de los elementos acústicos

A continuación, se relacionan las actividades de control e intervenciones de mantenimiento de los elementos acústicos que integran el sistema antirruido, con indicación de la periodicidad con la que deben implementarse.

Las comprobaciones deben realizarse con referencia a los diferentes materiales posibles con los que se fabrican los sistemas de protección acústica.

También se subraya que la lista siguiente debe considerarse como mínima, pero no exhaustiva.

Tabla 23: Actividades de control y mantenimiento en los elementos acústicos.

Actividad de control	Frecuencia	Mantenimiento
Inspección de la integridad de los paneles por deformaciones del panel o de sus componentes	1 año	Sustitución del panel o de uno de sus componentes en caso de daño grave
Verificar desprendimientos de cobertura de hormigón en la parte estructural/grietas en la parte estructural/grietas localizadas	5 años	Tratamiento de varillas de refuerzo y/o reconstitución/sustitución de la parte dañada
Comprobar la correcta nivelación de los paneles mediante un nivel tórico	1 año	Nivelación o desmontaje y montaje del panel y/o montantes
Verificación de características acústicas realizada por técnicos competentes en acústica y/o mediciones acústicas	5 años	Sustitución del panel en caso de deterioro superior a las características de durabilidad acústica esperadas
Comprobación del estado de la pintura y/o galvanizado y/o conservación de la madera	3 años	Restauración de pintura y/o galvanizado o tratamiento con productos específicos para madera
Comprobar el sellado de las juntas	3 años	Reemplazo de sellados en caso de defectos
Control de la placa fonoabsorbente interno	3 años	Sustitución de la placa fonoabsorbente
Inspección para evaluar la integridad y el correcto posicionamiento del difractor	1 año	Sustitución del tapajuntas o del difractor en caso de daños graves
Control del grado de amarillamiento y/u opacificación de los paneles transparentes	5 años	Sustitución del panel en caso de pérdida de transparencia

Continuación		
Actividad de control	Frecuencia	Mantenimiento
Inspección de la integridad de los paneles por daños externos (rayaduras, quemaduras, etc.)	1 año	Sustitución del panel en caso de daños graves
Inspección de limpieza del panel	1 año	Aclarado con agua evitando chorros con excesiva presión, tratamiento con productos específicos para la eliminación de grafitis
Inspección para evaluar la presencia y apriete de pernos o partes que sobresalgan	2 años	Reposición de los elementos en su posición original/apriete de tornillos

8.5.3. Mantenimiento de elementos estructurales de acero

El problema de la corrosión de las piezas metálicas es un fenómeno que afecta a todas las estructuras, pero que se acentúa especialmente en el sector vial.

En este sentido, de hecho, cabe señalar que las sales de deshielo esparcidas sobre los pavimentos afectan al metal, junto con las nieblas, la humedad y los ciclos de hielo-deshielo.

En las carreteras, además, están muy extendidos los contactos imprevistos e inadecuadamente protegidos entre materiales con diferente potencial eléctrico y diferente resistencia a la corrosión; en este sentido, se produce lo que se denomina el “efecto pila” o par galvánico, que se produce a expensas del material más noble.

Estos problemas se solucionan mediante operaciones de galvanizado y pintura, que garantizan a los elementos metálicos una larga vida y una buena garantía de conservación de las prestaciones mecánicas.

Es importante evaluar las condiciones del montante y, en particular, que no presente signos de desgaste, así como evaluar la presencia de fenómenos corrosivos y el estado del galvanizado y la pintura.

El poste no debe haber sido golpeado violentamente, no debe haber signos evidentes de impacto y, además, el elemento no debe estar doblado; si se encuentran las condiciones antes mencionadas, debe ser reemplazado.

La remoción y reposición de un poste es una operación exigente, que requiere el uso de medios mecánicos y con mayor impacto en el funcionamiento de la infraestructura vial.

La siguiente tabla muestra las actividades de control e intervenciones de mantenimiento de los elementos estructurales de acero del sistema antirruido, con indicación de la frecuencia con la que deben implementarse.

Tabla 24: Actividades de control y mantenimiento en los elementos estructurales de acero.

Actividad de control	Frecuencia	Mantenimiento
Inspección de la integridad de las partes estructurales	1 año	Reemplazo de piezas en caso de daño severo
Comprobar el aplomado del poste mediante un nivel tórico	1 año	Nivelación o desmontaje y montaje del poste
Evaluación del estado de corrosión	5 años	Reemplazo en caso de peligro estructural
Presencia de grafitis	Mensual	Eliminación según los procedimientos establecidos en estas especificaciones, de las fichas técnicas del proveedor de pintura
Inspección de la limpieza de los postes	1 año	Aclarado con agua evitando chorros con excesiva presión, tratamiento con productos específicos para la eliminación de grafitis
Verificar que se mantengan los pares de apriete en las conexiones atornilladas de las partes estructurales que soportan la carga (por ejemplo, pernos de postes)	5 años	Restablecer el apriete correcto

8.5.4. Mantenimiento de accesorios metálicos

En cuanto a los pequeños elementos metálicos, como tornillos y clavos que componen el panel, el galvanizado en caliente es especialmente delicado; por lo tanto, se requiere el uso de acero inoxidable para la realización de dichos elementos.

Los tapajuntas deben ser de acero al carbono de alta calidad, galvanizados y pre-pintados con pintura de poliéster; además, deben conectarse mediante remaches o clavos de acero inoxidable.

En caso de existir pernos sin contratuerca, es importante verificar que las fuerzas de fatiga, debidas al desplazamiento del aire generado por el paso del tráfico vehicular, no puedan generar un aflojamiento, disminuyendo el par de apriete de la tuerca aplicada al anclaje o tornillo.

En este sentido, la dirección de obra establecerá el número y ubicación de los tornillos que serán marcados con una línea de pintura indeleble, con el fin de asegurar la evidencia de cualquier aflojamiento.

Cabe señalar, sin embargo, que en cualquier caso se realizarán controles con llave dinamométrica periódicamente (al menos cada cinco años), con el fin de comprobar la sujeción real de la obra a la cimentación.

8.5.5. Restauración de daños por vandalismo

En el citado plan de mantenimiento, se podrá incluir la adopción de un programa de restauración de los sistemas de mitigación acústica implantados, que eventualmente sean objeto de actos vandálicos puntuales, como por ejemplo el manchado de grafitis.



Definiciones y conceptos básicos

Absorción: característica intrínseca de los materiales constituyentes de las pantallas acústicas que se refiere a su capacidad de disipar parte de la energía acústica de la onda sonora incidente sobre la pantalla acústica. La capacidad de absorción acústica de un material se expresa mediante el coeficiente de absorción, que es función de la frecuencia o espectro de frecuencias de la onda sonora incidente.

Para evaluar la capacidad de absorción acústica de una pantalla acústica, como un conjunto constituido por todos los elementos y materiales que la componen, se emplean unos índices de evaluación apropiados al uso previsto.

- **DL_{α}** : índice de evaluación de la absorción acústica de una pantalla en campo difuso, se expresa en decibelios (dBA).
- **DL_{RI}** : índice de absorción (reflexión) definido para aplicaciones de campo directo, se expresa en decibelios (dBA).

Aislamiento: característica intrínseca de los materiales constituyentes de las pantallas acústicas que se refiere a su capacidad de impedir, en mayor o menor medida, que parte de la energía acústica de la onda sonora incidente sobre la pantalla acústica pase a su través. La capacidad de aislamiento acústico de un material se expresa mediante el coeficiente de aislamiento o reducción acústica, que es función de la frecuencia o espectro de frecuencias de la onda sonora incidente.

Para evaluar la capacidad de aislamiento acústico de una pantalla acústica, como un conjunto constituido por todos los elementos y materiales que la componen, se emplean unos índices de evaluación apropiados al uso previsto.

- **DL_R** : índice de aislamiento acústico de una pantalla en campo difuso, se expresa en dBA.
- **DL_{SI}** : índice de aislamiento acústico de una pantalla en campo directo, se expresa en dBA. Este índice se obtiene, en su caso, en función del índice de aislamiento a ruido aéreo $DL_{SI, EL}$ correspondiente a la zona de elementos acústicos y del índice de aislamiento a ruido aéreo $DL_{SI, P}$ correspondiente a la zona de los postes soporte.

Área acústica: ámbito territorial, delimitado por la administración competente, que presenta el mismo objetivo de calidad acústica. 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:

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

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.

Área urbanizada existente: la superficie del territorio que sea área urbanizada antes de la entrada en vigor del Real Decreto 1367/2007.

Campo acústico difuso: propagación del sonido radiado por la fuente sonora en espacios cerrados o relativamente confinados en que predominan fenómenos de reverberación.

Campo acústico libre o directo: propagación del sonido radiado por la fuente sonora en espacios abiertos en que no predominan los fenómenos de reverberación.

Decibelio (dB): el nivel del sonido en un punto concreto se mide en una escala en decibelios como la diferencia de presión en ese punto respecto de una presión P_0 denominada presión de referencia, que se corresponde con el nivel inferior de audición del oído humano y que su valor es de 2×10^{-5} pascuales. El oído humano es capaz

de detectar variaciones de presión comprendidas entre $20 \mu\text{Pa}$ (umbral inferior de audición) y $10^8 \mu\text{Pa}$ (umbral de dolor), es decir un rango muy amplio, por esta razón y con el fin de no utilizar cifras tan elevadas, se usa una escala decibélica para su evaluación.

Decibelio A (dBA): el oído humano percibe de diferente manera el nivel sonoro según sea la frecuencia del sonido, por lo que se han realizado estudios para definir unas curvas de ponderación en frecuencia que tome en consideración esta diferente apreciación subjetiva. Para representar con un solo valor el nivel de un ruido, que es una mezcla confusa de sonidos de diversas frecuencias, hay que considerar el hecho de que el oído humano no posee la misma sensibilidad para todas y cada una de la gama de frecuencias audibles, por ello, se efectúa una ponderación con ayuda de un filtro o curva “A” de ponderación de frecuencia y el nivel de presión sonora viene expresado entonces en decibelios A o dBA.

Difracción: fenómeno que afecta a la propagación de la onda sonora generando la dispersión de la energía acústica de la misma en los bordes (aristas de difracción) de los obstáculos no permeables al sonido (pantallas acústicas), que encuentra en su camino. Su explicación se basa en el principio de Fresnel-Huygens y la magnitud del efecto depende de la relación que existe entre la longitud de onda y el tamaño del obstáculo.

Dispositivos reductores de ruido (DRR): dispositivos diseñados para reducir la propagación del ruido del tráfico en el entorno de la carretera. Los DRR pueden comprender solo elementos acústicos o tanto elementos estructurales como acústicos. Las aplicaciones de los DRR incluyen pantallas acústicas, revestimientos fonoabsorbentes, cubiertas totales o parciales de la vía y dispositivos adicionales (difractores).

Elemento acústico: elemento cuya función principal es proveer propiedades acústicas al dispositivo reductor de ruido.

Elemento estructural: elemento cuya función principal es soportar o mantener en su posición los elementos acústicos.

Emisor acústico: foco donde se localiza la fuente sonora generadora del ruido, tal como cualquier infraestructura, equipo, maquinaria, actividad o comportamiento que genere contaminación acústica.

Inmisión sonora: nivel de presión sonora en un receptor, generado por uno o varios emisores.

Nivel continuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}): es el nivel de presión sonora que si se mantiene continuo durante un periodo de medida, contiene la misma energía sonora que el nivel variable estudiado. Considerando la ponderación A, se define este parámetro por nivel máximo de presión sonora ponderado A ($L_{Amáx}$).

Nivel de potencia acústica, PWL o L_w : se define el nivel de potencia acústica como diez veces el logaritmo decimal del cociente entre una potencia acústica determinada y la potencia acústica de referencia (10^{-12} W). Se expresa en decibelios (dB).

Nivel de presión sonora, SPL o L : se define el nivel de presión sonora como veinte veces el logaritmo decimal de la relación entre una presión sonora determinada y la presión sonora de referencia (2×10^{-5} Pa). Se expresa en dB y/o dBA.

Nivel máximo de presión sonora ponderado A ($L_{Amáx}$): se definen como los niveles máximos de presión sonora en decibelios A alcanzados con ponderación temporal rápida o *Fast* y lenta o *Slow*.

Objetivo de calidad acústica (OCA): 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.

Pantallas acústicas: son aquellos elementos o dispositivos, que dispuestos entre la fuente y el receptor y dimensionados convenientemente, suponen una barrera que interrumpe el camino de propagación de las ondas sonoras, ofreciendo una gran resistencia a la transmisión del sonido a su través y distinto grado de absorción acústica, para crear una zona de “sombra acústica” junto al receptor, por difracción de las ondas sonoras en sus bordes.

Pérdida de transmisión acústica (TL): Se define como la relación entre la energía sonora incidente sobre el material y/o conjunto de materiales y la energía sonora transmitida. Se expresa en decibelios y depende de la frecuencia de excitación del material.

$$TL = 10 \log \frac{1}{\tau} ; \text{ donde } \tau = \frac{W_T}{W_i}$$

Donde W_T es la energía sonora transmitida y W_i la energía sonora incidente.

Pérdida por inserción (IL): eficacia acústica en la reducción de la inmisión sonora, resultante de la diferencia entre los niveles de presión sonora en un receptor antes y después de la instalación de una pantalla acústica.

La definición de la pérdida por inserción de una pantalla acústica viene dada por la expresión:

$$IL = 10 \cdot \log \frac{(P_{dir})^2}{(P_{dif})^2}$$

Donde P_{dir} es la presión sonora en el receptor antes de la instalación de la pantalla y P_{dif} es la presión sonora en el receptor después de la instalación de la pantalla, de forma que:

$$IL = SPL_{directo} - SPL_{difractado}$$

Potencia acústica: es la energía acústica radiada por una fuente sonora en la unidad de tiempo, expresada en vatios (W).

Presión sonora: fluctuación de la presión atmosférica por encima y por debajo de su valor estático en presencia de una onda acústica, expresada en pascales (Pa).

Donde $SPL_{directo}$ es el nivel de presión sonora en el receptor antes de la instalación de la pantalla y $SPL_{difractado}$ es el nivel de presión sonora después de la instalación de la pantalla acústica.

Propagación: trayectorias descritas por las ondas sonoras entre el emisor y el receptor.

Receptor: punto donde se localiza una zona o ente sensible al impacto acústico, tal como cualquier persona, comunidad, edificación, etc. susceptible de verse afectada por la contaminación acústica.

Reflexión: característica intrínseca de los materiales constituyentes de las pantallas acústicas que se refiere a su capacidad de modificar la dirección de propagación de la energía acústica de la onda sonora en función de su ángulo de incidencia sobre la superficie de la pantalla acústica.

Reverberación: fenómeno que se refiere a la permanencia del sonido en un espacio más o menos cerrado, una vez que ha cesado la emisión de la fuente sonora. La per-

manencia del nivel sonoro se mantiene decreciente hasta su desaparición durante un determinado espacio de tiempo.

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.

Valor límite: un valor 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).

A graphic featuring the number '10' in a large, white, sans-serif font. The number is positioned on the left side of a dark green rectangular background. Below this dark green area is a horizontal band of a lighter, medium green color. The overall design is minimalist and modern.

10

Referencias

REFERENCIAS

Alegre, D. M.: *The problem of noise on the access to tunnels and roads in trench to open air* (2018).

Bendtsen, H and et al.: *Acoustic Aging of Asphalt Pavements. A Californian/Danish Comparison* (2010).

Box, E.: *Speed Limits: A review of evidence. Frac Foundation*. Agosto 2012. https://www.racfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/speed_limits-box_bayliss-aug2012.pdf

Instituto Técnico de la Vialidad y del Transporte: Jornada “Gestión del ruido en las infraestructuras lineales de transporte. Elementos de corrección: pantallas acústicas”. Madrid. 10 junio 2008.

Kotzen, B. English, C.: *Environmental Noise Barriers. A guide to their acoustic and visual design*. Spon Press. Segunda edición (1999).

Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente. Dirección general de Carretera. *Reducción del ruido en el entorno de las carreteras* (1995).

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Código Estructural* (2021).

Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (segunda edición, revisada y ampliada). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid (2015).

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.

**Prescripciones
técnicas exigibles
a los dispositivos
reductores de ruido
(DRR)**

1

Introducción

Este documento se complementa con la GUÍA PARA EL PROYECTO Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE APANTALLAMIENTO ACÚSTICO EN CARRETERAS pues los DRR además de cumplir con las especificaciones técnicas que garanticen el comportamiento acústico, han de demostrar su capacidad y comportamiento como cualquier otro componente de la carretera. No solo como sistema en su conjunto, además por las exigencias de los materiales constituyentes.



2

Marcado CE

El marcado CE es un instrumento de la **Unión Europea** que permite y facilita la **libre circulación de productos** por el mercado único de los Estados miembros bajo criterios **mínimos** comunes de calidad y seguridad industrial.

Entre los productos sometidos a marcado CE una gran familia está definida por la Directiva 89/106/CEE del Consejo de 21 de diciembre de 1988 relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los **productos de construcción**.

Entre los productos de construcción se encuentran incluidos todos los productos de carretera por decisión de la Comisión de 24 de junio de 1996 (96/579/CE) por la que desde el 1 de mayo de 2007 los productos designados como **dispositivos reductores de ruido de carreteras** deben llevar el marcado CE para su libre comercialización dentro del espacio económico europeo, en **cumplimiento del anexo ZA de la norma UNE-EN 14388**.

Este punto se refiere a la norma de producto europea UNE-EN 14388 para el marcado CE de los dispositivos de reducción del ruido del tráfico rodado. Por lo tanto, es de interés para proveedores de la industria, instaladores, diseñadores, compradores, administraciones públicas y laboratorios de certificación.

La última versión armonizada y publicada en el Boletín Oficial de la Unión Europea (BOUE) es la UNE-EN 14388:2005. Esta versión es por lo tanto el documento de referencia para el marcado CE del producto. Sin embargo, el Comité Europeo de Normalización (CEN) ha publicado varias versiones de la norma UNE-EN 14388 en los últimos años que, aunque aún no se han llegado a armonizar, recogen las últimas normas de ensayo de los DRR en campo directo y mejoras en las normas que caracterizan las propiedades mecánicas y de durabilidad de los dispositivos de reducción del ruido del tráfico rodado. A la fecha de redacción de este documento la nueva versión de la norma UNE-EN 14388 está siendo actualizada y habrá que esperar a que sea publicada en el *Diario oficial de la Unión Europea* para que sea armonizada.

Por lo tanto, todos los dispositivos reductores de ruido (DRR) y en particular las pantallas antirruído a instalar en la Red de Carreteras del Estado, deberán aportar la correspondiente Declaración de prestaciones (DoP–*Declaration of Performance*) y el marcado CE según se establece en la norma armonizada UNE-EN 14388:2005,

pero además la declaración de prestaciones deberá recoger todos y cada uno de los parámetros de caracterización de los DRR indicados en las normas de soporte de producto indicadas en la tabla 2 del punto 2.3.3.

No obstante, la norma armonizada mencionada anteriormente se basa en la Directiva de Productos de Construcción (Directiva del Consejo 89/106/EEC) que ha sido sustituida por el Reglamento de Productos de Construcción (RPC) 305:2011. El RPC identifica claramente el rendimiento que debe declararse para el producto comercializado y establece una distinción clara entre el rendimiento declarado para el producto y el “requisito que debe cumplir” la construcción donde se incorpora el producto.

El sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones establece diferentes funciones para los fabricantes y los organismos notificados (o laboratorios). Se adoptan diferentes sistemas de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones para diferentes productos. Para los dispositivos reductores de ruido de tráfico vial se aplica el **sistema 3**: el fabricante realiza la **Declaración de prestaciones (DoP) sobre la base de pruebas realizadas por un laboratorio notificado**. El fabricante también es responsable del **Control de producción en fábrica (CPF)** necesario para garantizar la constancia de las prestaciones declaradas.

La Declaración de prestaciones y el Control de producción en fábrica permiten poner en el mercado el marcado CE del producto.

2.1. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carretera susceptibles de marcado CE

Los elementos susceptibles de marcado CE se definen a continuación:

- a. Pantalla antirruido:** dispositivo reductor de ruido (DRR) que obstruye la transmisión directa del ruido aéreo proveniente del tráfico por carretera y que esté destinado a ser utilizado a lo largo de las carreteras.
- b. Revestimiento:** dispositivo reductor de ruido que está fijado a un muro u otra estructura para reducir la magnitud del sonido reflejado, destinado a ser utilizado a lo largo de las carreteras.
- c. Cubiertas totales o parciales:** dispositivo reductor de ruido que pasa por encima o que está suspendido sobre la carretera.

d. Elemento estructural: elemento cuya función principal es soportar o mantener en posición los elementos acústicos y forma parte de un dispositivo reductor de ruido destinado a ser utilizado a lo largo de las carreteras.

e. Elemento acústico añadido (difractores): elemento cuya función principal es incrementar el comportamiento a difracción sonora en la parte superior de la pantalla o dispositivo.

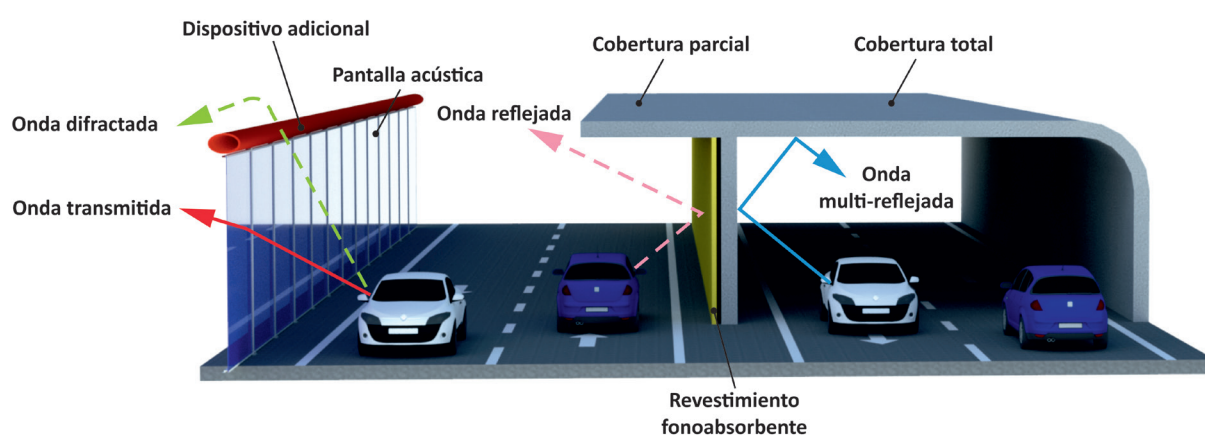


Figura 1: Distintos dispositivos reductores de ruido susceptibles de marcado CE.

Elementos que no pueden tener marcado CE:

Otros tipos de “protección acústica”, que tienen la función de servir como un obstáculo a la propagación del ruido hacia áreas sensibles, pueden ser estudiados y recomendados en la etapa de los estudios acústicos. Por ejemplo, se pueden citar las siguientes obras:

1. Montículos de tierra (o caballones).
2. Gaviones acústicos.
3. Pantallas vegetalizables.

Estas “protecciones acústicas” (elementos estructurales o elementos acústicos en el sentido de la norma UNE-EN 14388) sólo pueden verse afectadas por el marcado CE si son total o parcialmente prefabricadas y entregadas para su instalación en obra. Las especificidades en cuanto al marcado CE aplicable a los productos utilizados en estos trabajos no son objeto de este documento.

2.2. Procedimiento de marcado CE

El marcado CE constituye una declaración por parte del fabricante del comportamiento del producto a marcar. Este acto es un AUTOMARCADO por lo que no existe un registro ni un estamento que controle o verifique los productos que se encuentran marcados en el mercado, si bien sí existen una serie de compromisos a cumplir por el fabricante y los Estados miembros deberían realizar una vigilancia del mercado para asegurar que este marcado se realiza adecuadamente.

El proceso de automarcado se puede dividir en tres fases bien diferenciadas:

1. El fabricante debe comenzar por una **caracterización del producto**, por medio de ensayos realizados en un laboratorio acreditado, que aporten y certifiquen los valores a declarar en las características bajo el marcado. Estos ensayos (o cálculos) deben ser verificados y validados por un organismo de notificación, avalado por el Ministerio de Industria y Turismo y la Unión Europea, que otorga validez a los ensayos iniciales de tipo.
2. Tras obtener estos valores acreditados, el fabricante debe **elaborar la siguiente documentación**:
 - **Etiquetado CE**: en la que figuran los valores declarados. Esta etiqueta debe acompañar al producto, estando en el propio producto, en su embalaje o junto a la documentación del mismo.
 - **Declaración de prestaciones (DoP)**: en poder del fabricante y a disposición de quien la solicite, en la que se debe incluir una descripción del producto, datos del fabricante y a la que se debe acompañar toda la documentación acreditativa de la validez de los valores declarados por medio de los ensayos iniciales de tipo. La declaración de prestaciones de las características esenciales, que es responsabilidad del fabricante, debe realizarse sobre la base de informes de ensayo emitidos por un laboratorio notificado, con constancia de notificación comunicada en el sitio web oficial de la Comisión Europea:

<https://webgate.ec.europa.eu/single-market-compliance-space/#/notified-bodies/free-search>

En el anexo I de este documento, se muestran imágenes del proceso de búsqueda de laboratorios notificados.

Los laboratorios de ensayo deberán estar acreditados conforme a la norma UNE-EN ISO 17025 para llevar a cabo ensayos según las normas de referencia en cada caso, por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) en España o, en caso de laboratorios extranjeros, por una entidad internacional de acreditación que esté reconocida en España. Para que una entidad de acreditación internacional esté reconocida en España, dicha entidad internacional debe ser signataria del acuerdo ILAC-MRA (<https://ilac.org/language-pages/spanish/>).

Los laboratorios de ensayo, además de estar acreditados para realizar los ensayos de las características acústicas y no acústicas requeridas en el presente documento, deberán estar notificados para aquellas características que, en cada momento, estén incluidas en la versión armonizada de la norma UNE-EN 14388.

Así, por ejemplo, en el momento de edición del presente documento, los laboratorios de ensayos de campo difuso según las normas UNE-EN 1793-1 y UNE-EN 1793-2, al estar dichas normas incluidas en la versión armonizada de la norma UNE-EN 14388, deberán estar acreditados y notificados y, sin embargo, los laboratorios de ensayos de campo directo de acuerdo con las normas UNE-EN 1793-5 y UNE-EN 1793-6 al no estar éstas incluidas en la parte de la versión armonizada de la norma UNE-EN 14388, deberán estar acreditados pero no es posible que estén notificados para evaluar las características acústicas correspondientes a dichas normas UNE-EN 1793-5 y UNE-EN 1793-6.

3. Finalmente, el fabricante debe contar con un **procedimiento de control de la producción** que asegure que el comportamiento declarado se mantiene y se reproduce en toda su producción. En el caso de los dispositivos reductores de ruido se trata de un sistema 3 de evaluación de la conformidad, por el que se debe disponer de un control de producción en fábrica, que no será evaluado por ningún agente externo. Se tomará en especial consideración que el fabricante tenga implantado, para el control de la producción, un sistema ISO 9001.

2.3. Documentación mínima exigible

2.3.1. Etiqueta marcado CE

El marcado CE es un conjunto de información que incluye el logotipo CE, figura 2, y una serie de datos del fabricante, el producto y, en su caso, el laboratorio acreditado,

incluidos dentro de un recuadro que al final tiene el aspecto de una etiqueta. Es obligación y responsabilidad del fabricante que el marcado CE llegue y esté a disposición del usuario o cliente que recibe el producto. El marcado CE puede ir, a elección del fabricante, en al menos uno de estos lugares:

- Sobre el producto.
- En una etiqueta adherida al producto.
- En el embalaje del producto.
- En una etiqueta adherida al embalaje del producto.
- En la documentación de acompañamiento del producto (por ejemplo, el albarán o factura).

Se suele aconsejar que para mejor trazabilidad y seguimiento se incluya el marcado CE completo en la documentación de acompañamiento del producto. Este marcado CE debe ser completo, respetándose tanto todos los contenidos como su ordenación, según el ejemplo de la figura 30 del anexo III de este documento o, en su caso, con el contenido y ordenación que se indica en el anexo ZA de la norma armonizada UNE-EN 14388:2005.

El marcado CE es obligatorio y debe colocarse antes de que un producto sujeto a la misma sea comercializado o puesto en servicio. Si los productos están sujetos a varias directivas, todas las cuales establecen el marcado CE, el marcado indica que se presume que los productos son conformes con las disposiciones de todas estas directivas.

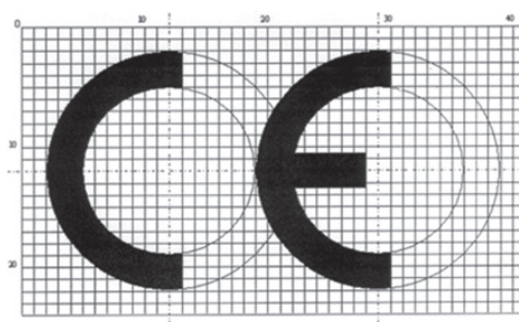


Figura 2: Etiqueta marcado CE.

Si un laboratorio acreditado participa en la fase de control de la producción con arreglo a las directivas aplicables, su código de identificación debe figurar a continuación del marcado CE. El código de identificación debe colocarlo, bajo

la responsabilidad del laboratorio acreditado, el fabricante o su representante autorizado establecido en la Comunidad.

2.3.2. Declaración de prestaciones (DoP)

El fabricante o su representante autorizado establecido dentro de la Comunidad deben elaborar una declaración de prestaciones como parte del procedimiento de evaluación de la conformidad establecido en las Directivas de nuevo enfoque.

La declaración de prestaciones debe contener toda la información relevante para identificar las Directivas con arreglo a las cuales se emite, así como al fabricante, su representante autorizado, en su caso el laboratorio acreditado, el producto y, si está previsto, una referencia a las normas armonizadas u otros documentos normativos.

En concreto debe incluir:

1. Nombre y dirección del fabricante o de su representante autorizado en el EEE, así como lugar de producción.
2. Descripción del producto (tipo, identificación, uso...) y una copia de la información que acompaña al marcado CE.
3. Disposiciones con las que el producto es conforme (anexo ZA de la norma UNE-EN 14388).
4. Condiciones específicas aplicables al uso del producto.
5. Nombre y dirección del laboratorio acreditado.
6. Nombre y cargo de la persona facultada para firmar la declaración en nombre del fabricante o de su representante autorizado.
7. Valores declarados de las prestaciones del producto.

2.3.3. Valores a declarar en el marcado CE y en la declaración de prestaciones (DoP)

En la norma UNE-EN 14388:2005 se describen numerosos parámetros a caracterizar para los dispositivos reductores de ruido, pero en solo seis de ellos es obligatorio que figuren siempre en el marcado CE (aunque figuren como PND). El resto de

parámetros son opcionales, si bien en determinados proyectos la dirección de obra podría exigir un valor umbral para alguno de ellos.

Tabla 1: Parámetros a definir para la caracterización de un dispositivo reductor de ruido.

Tareas		Contenido de la tarea	Capítulos y apartados aplicables para la evaluación de la conformidad
Tareas bajo la responsabilidad del fabricante	Control de producción (CPF)	Parámetros relativos a todas las características pertinentes a evaluar, según el tipo de dispositivo	Apartado 6.3 de la norma UNE-EN 14388
	Ensayos de tipo inicial (o evaluación) por un laboratorio de ensayo notificado	Resistencia de cargas Absorción sonora Aislamiento al ruido aéreo Riesgo de caída de trozos desprendidos Durabilidad Reflexión de la luz etc.	Desarrollo de este documento

Sin embargo, como se ha indicado anteriormente el Comité Europeo de Normalización (CEN) ha publicado varias versiones de la norma UNE-EN 14388 en los últimos años, que aunque aún no se han llegado a armonizar, recogen las últimas normas de ensayo de los DRR en campo directo y mejoras en las normas que caracterizan las propiedades mecánicas y de durabilidad de los dispositivos de reducción del ruido del tráfico rodado.

Dado que se hace mención a las normas de ensayo de los DRR en campo directo, es importante diferenciar cuando una pantalla acústica es instalada en condiciones de campo directo o de campo difuso. Para ello, véase el anexo IV.

Por lo tanto, todos los dispositivos reductores de ruido (DRR), y en particular las pantallas antirruido a instalar en la Red de Carreteras del Estado, deberán aportar la correspondiente declaración de prestaciones (DoP) y el marcado CE según se establece en la norma armonizada UNE-EN 14388:2005, pero, además, en la declaración de prestaciones se deberán indicar al menos las prestaciones de los DRR de las normas de soporte de producto que se detallan a continuación.

En la tabla 2 se indican los diferentes informes de ensayo a presentar en la declaración de prestaciones:

Tabla 2: Relación de ensayos a presentar en la declaración de prestaciones.

Paneles acústicos de cualquier tipo		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características acústicas:		
Para pantallas instaladas en campo difuso:		
1. Índice de absorción en campo difuso	UNE-EN 1793-1 (*)	DL_{α}
2. Índice de aislamiento en campo difuso	UNE-EN 1793-2 (*)	DL_R
Para pantallas instaladas en campo directo:		
3. Índice de evaluación de la reflexión del sonido en campo directo	UNE-EN 1793-5 (*)	DL_{RI}
4. Índice de aislamiento acústico en poste en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, P}$
5. Índice de aislamiento acústico en elemento en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, E}$
Características no acústicas:		
6. Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (***)	UNE-EN 1794-1 ANEXO A (**)	Carga de diseño en kg/m^2
7. Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5 (***)	UNE-EN 1794-1 ANEXO A (**)	Carga de ensayo en kg/m^2 (Carga de ensayo = Carga de diseño x Coef. de seguridad)
8. Peso propio	UNE-EN 1794-1 ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m^2
9. Peso mojado	UNE-EN 1794-1 ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m^2
10. Peso mojado reducido	UNE-EN 1794-1 ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m^2
11. Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico (***)	UNE-EN 1794-1 ANEXO B	El panel acústico debe resistir el peso mojado de los paneles acústicos de la pantalla acústica más alta a instalar en la obra
12. Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-1 ANEXO B (**)	Carga de diseño de kg/m^2 y carga estática vertical de los paneles superiores mojados en kg

Continuación		
Paneles acústicos de cualquier tipo		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
13. Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras	UNE-EN 1794-1 ANEXO C	Satisfactorio / No satisfactorio
14. Carga normal (90°) debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-1 ANEXO E	Carga de diseño en kN/2x2
15. Resistencia a cargas dinámicas: riesgo de caída de trozos desprendidos (***)	UNE-EN 1794-2 ANEXO B	Clase
16. Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2 ANEXO D	Clase
17. Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza	UNE-EN 1794-2 ANEXO A	Clase
18. Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas: durabilidad	UNE-EN 14389	Durabilidad en años para cada clase de exposición

(*) Los ensayos a realizar y los correspondientes informes a presentar serán en campo difuso o en campo directo, en función de la ubicación de las pantallas conforme a lo indicado en el anexo IV de este documento. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo difuso se presentarán los informes de los ensayos 1 y 2. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo directo se presentarán los informes de los ensayos 3, 4 y 5. Los informes de ensayo deben incluir explícitamente, mediante fotografías y texto escrito, el sistema de sellado realizado en el laboratorio entre el panel y el poste y entre paneles si los hubiere. Dichos sistemas de sellado se han de reproducir igual cuando las pantallas se instalen en la obra.

(**) En el caso de que los paneles acústicos tengan en su composición algún tipo de adhesivo de unión entre sus componentes, el ensayo de carga de viento deberá realizarse después de realizar un ensayo de envejecimiento con al menos 10 ciclos de humedad-sequedad de los paneles para garantizar la funcionalidad del adhesivo a lo largo de la vida útil del panel. Los paneles a ensayar deberán pesarse en seco y posteriormente sumergirse completamente en agua durante 24 h, luego deben sacarse y dejarles drenar, en su misma posición de empleo. Posteriormente se procederá a su pesado hasta que el panel vuelva a su peso seco con una tolerancia del 5 % de sobre su peso seco inicial antes de volver a sumergirse y repetir así el proceso hasta completar 10 ciclos. Una vez completados esos paneles serán los que se usen para realizar los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15.

(***) En los informes de los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15 y en la DoP se debe indicar explícitamente la longitud de los elementos acústicos ensayados.

Todos los ensayos arriba indicados deben realizarse con el mismo modelo de panel, con los mismos componentes, espesores y densidades de los materiales que constituyen el panel y con el mismo tipo de sellado entre paneles y entre paneles y postes. De forma que, por ejemplo, si los ensayos acústicos 3, 4, y 5, se han realizado colocando una tapa de cierre con extensor (ver punto 4.3) entre el panel acústico y el poste de soporte, el ensayo de carga de viento 6 y 7, se tiene que realizar con la misma tapa de cierre con extensor entre el panel y el poste de soporte.

Los informes indicados en la tabla 2 de los ensayos de tipo serán realizados por un laboratorio acreditado por ENAC o, en caso de laboratorio extranjeros, por una entidad internacional de acreditación que esté reconocida en España. Los laboratorios de ensayo, además de estar acreditados para realizar los ensayos de las características acústicas y no acústicas requeridas, deberán estar notificados para aquellas características que, en cada momento, estén incluidas en la versión armonizada de la norma UNE-EN 14388.

Así, por ejemplo, en el momento de edición del presente documento, para los ensayos acústicos en campo directo (ensayos 3, 4 y 5) será suficiente con que el laboratorio esté acreditado por ENAC, sin estar notificado.

Los informes de ensayo deben presentarse completos, con todas sus páginas, de forma que sea posible verificar los sistemas de sellado utilizados durante la realización de los ensayos tanto entre paneles acústicos, como entre paneles y poste de soporte. No serán aceptables informes incompletos ni la presentación únicamente de la hoja de resultados.

Como aspecto general, junto al marcado y en la declaración de prestaciones (DoP), se debe hacer una descripción exacta de las características físicas de la pantalla (materiales, espesores, densidades, etc.) y de las juntas de estanqueidad utilizadas, que dejen claro el producto ensayado y del que se ha realizado el marcado.

En el apartado 5 de este documento se describen los parámetros y ensayos de cada una de las prestaciones a declarar, así como los valores mínimos a exigir para cada tipología de pantalla.

El fabricante deberá presentar así mismo un dossier de producto que incluya las características técnicas del DRR, presentando planos de detalle con las dimensiones geométricas, espesores, características de los materiales, medios de sellado entre los elementos acústicos (si los hubiere), y entre estos y los postes metálicos de soporte (si los hubiere), tolerancias, y resto de características de la pantalla.

2.3.4. Control de la producción

Al estar el producto enmarcado dentro de un sistema tipo 3 de marcado, no le es aplicable ningún sistema externo de control de la producción. La norma recomienda

que el fabricante cuente con algún tipo de sistema de control de la calidad y cita como ejemplo la norma ISO 9001.

Se tomará en especial consideración que el fabricante tenga implantado, para el control de la producción, un sistema ISO 9001 e ISO 14001 en sus sistemas de producción, entre cuyos alcances se incluya la fabricación de las pantallas acústicas. Se deberá presentar el certificado de calidad ISO 9001.

2.3.5. Manual de instalación y manual de mantenimiento

En ocasiones el fabricante de los DRR no es el encargado de llevar a cabo su instalación en la obra, por lo que este debe de elaborar un manual de instalación para que sirva de guía a la empresa instaladora, de forma que el instalador de los DRR lleve a cabo el montaje según las instrucciones del fabricante y así se puedan garantizar las prestaciones declaradas por el fabricante.

Por lo tanto, la documentación mínima del producto debe incluir la declaración de prestaciones completa, con la citada descripción del producto, los ensayos iniciales de tipo, la etiqueta de marcado y unas instrucciones de instalación y mantenimiento, que aseguren que el DRR cumplirá con las características ensayadas en el momento de la instalación y que se mantendrán con el tiempo.

En el anexo II, se muestra un ejemplo de declaración de prestaciones para una pantalla acústica.

2.3.5.1. Marcado CE y etiquetado para pantallas acústicas y otros DRR

El símbolo del marcado CE debe estar de acuerdo con los principios generales establecidos en el artículo 30 del Reglamento (EC) N.º 765/2008 y se colocará de manera visible, legible e indeleble [véase cláusula 1.1.2.1.3]:

- En el dispositivo reductor de ruido o en una etiqueta adherida al mismo.

Cuando esto no sea posible o no pueda garantizarse, debido a la naturaleza del producto, se colocará:

- En el embalaje o en los documentos que lo acompañan.

El marcado CE irá seguido de:

- Los dos últimos dígitos del año en que se haya colocado en primer lugar.
- El nombre y el domicilio del fabricante o la marca distintiva que permita la identificación del nombre y la dirección del fabricante con facilidad y sin ningún tipo de ambigüedad.
- El código de identificación del producto tipo.
- El número de referencia de la declaración de prestaciones.
- El nivel o clase de las prestaciones declaradas.
- La referencia fechada a la especificación técnica armonizada aplicada.
- El código de identificación del laboratorio acreditado.
- El uso previsto como se establece en la especificación técnica armonizada aplicada.

El marcado CE se colocará antes de que el producto se introduzca en el mercado. Podrá ir seguido de un pictograma o cualquier otra marca que indique un riesgo particular o uso especial.

En el anexo III, se incluye un ejemplo de la información relacionada con los productos sujetos a la evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones bajo sistema 3 que debe figurar en la etiqueta adherida a los mismos o, si no es posible debido a la naturaleza del producto, figurar en el envase o en los documentos adjuntos al envío (albaranes).

3

**Evaluación
de las características
no acústicas
de las pantallas**

3.1. Disposiciones generales relativas a las características no acústicas de las pantallas

La evaluación de las características no acústicas de las pantallas tiene una gran importancia para garantizar su correcto funcionamiento durante su vida útil. Los informes de ensayos de las propiedades no acústicas según UNE-EN 1794-1 y UNE-EN 1794-2, deberán incluir un informe de evaluación de la muestra ensayada, emitido por el laboratorio de ensayo, con la verificación de que tanto la configuración de la muestra como los materiales, geometrías, dimensiones y recubrimientos protectores (si existen) cumplen con lo especificado por el fabricante en la descripción del producto incluida en el informe de ensayo y de que la muestra ensayada se ha instalado según el esquema especificado por el fabricante e incluido en dicho informe.

3.2. Resistencia a la carga aerodinámica y estática

Por carga aerodinámica y estática entendemos el empuje del viento y el efecto aerodinámico debido al paso de los vehículos en tránsito.

Para determinar la resistencia a la carga estática y aerodinámica se debe seguir lo indicado en la norma UNE-EN 1794-1, anexo A.

El cumplimiento de resistencia a las cargas aerodinámicas y de resistencia a la carga estática de un dispositivo reductor de ruido se verificará mediante:

- Un “informe de cálculo” única y exclusivamente cuando el dispositivo reductor de ruido no puede ensayarse a escala real conforme a lo indicado en la norma UNE-EN 1794-1, anexo A.
- Mediante ensayos a escala real, conforme a la norma UNE-EN 1794-1, anexo A. En el ensayo a escala real se requiere que la instalación de los paneles acústicos se realice con las mismas juntas de sellado y demás elementos que se usen en la práctica, tal y como se instalarán posteriormente en la obra.

Por lo tanto, si por ejemplo en una obra los paneles acústicos metálicos se instalarán haciendo uso de tapas laterales de plástico con distanciadores para completar el hueco interior del perfil de soporte, en el ensayo de resistencia al viento se deberá colocar esa misma tapa de plástico con dichos distanciadores.

Las características de resistencia a cargas dinámicas y estáticas deben ser certificadas por un laboratorio acreditado.

Finalmente, cabe señalar que el proveedor del sistema antirruido está obligado a:

- Proporcionar el peso de los productos antirruido, secos y después de la inmersión en agua.
- Determinar los valores de la deflexión estática al aplicar la carga de diseño y la deformación permanente 30 minutos después de haber retirado la carga de ensayo conforme a lo indicado en la norma UNE-EN 1794-1. Dichos valores deben determinarse experimentalmente mediante un ensayo a escala real o por cálculo cuando el ensayo a escala real no sea viable.
- Determinar los valores de la carga de diseño y la carga de ensayo que los paneles acústicos son capaces de resistir, experimentalmente mediante un ensayo a escala real (o por cálculo cuando el ensayo a escala real no sea viable). La carga de ensayo es igual a la carga de diseño, multiplicada por un coeficiente de seguridad de al menos 1,5. La carga a indicar en la declaración de prestaciones es la carga de diseño, no la carga de ensayo.

Durante el proceso de realización del ensayo, se prestará especial atención a que la carga aplicada se distribuya uniformemente sobre los paneles acústicos a ensayar. En el caso particular de pantallas de metacrilato, policarbonato o vidrio, se prestará especial atención a que la carga aplicada se distribuya uniformemente sobre la placa de metacrilato, policarbonato o vidrio y no directamente sobre los perfiles metálicos que enmarcan la placa, de forma que la transmisión de la carga se produzca desde la placa de metacrilato al marco metálico. Para ello, la aplicación de la carga en esta tipología de paneles se realizará necesariamente mediante sacos de arena, cemento o similar, pero no mediante perfiles metálicos.



Figura 3: Imagen de un ensayo para la determinación del valor de la carga de viento de diseño y de la deformación estática y permanente.

3.3. Peso propio, cargas de viento y estáticas combinadas

Los paneles acústicos deben soportar al mismo tiempo las cargas originadas por la presión del viento y su propio peso mojado, además del peso mojado correspondiente de los elementos acústicos que puedan quedar colocados por encima de él, sin resultar afectados, de acuerdo con los criterios indicados en el apartado B.3.2 del anexo B de la norma UNE-EN 1794-1.

Los paneles acústicos deben soportar sin fallo alguno la combinación de las cargas (multiplicadas por los factores dados) del peso propio, según se define en el apartado B.3.2 del anexo B de la norma UNE-EN 1794-1, y el viento y otras cargas estáticas (presión o succión) calculadas de acuerdo a lo indicado en el anexo A de dicha norma.

Las características de resistencia a las cargas combinadas deben ser certificadas por un laboratorio acreditado.

3.4. Resistencia al impacto por piedras

La conformidad de un sistema antirruído para infraestructuras viarias con los requisitos de resistencia al impacto causado por piedras debe demostrarse mediante un ensayo experimental, de conformidad con la norma UNE-EN 1794-1 (apéndice C).

3.5. Riesgo de caída de fragmentos desprendidos

La conformidad de un sistema antirruido para infraestructuras viarias con los requisitos de seguridad en caso de caída de fragmentos tras impactos o colisiones, debe demostrarse de conformidad con la norma UNE-EN 1794-2 (anexo B).

3.6. Resistencia en colisiones

Se debe demostrar la conformidad de un sistema antirruido para infraestructuras viarias con los requisitos de seguridad en colisión para los ocupantes del vehículo impactante de conformidad con la norma UNE-EN 1794-1 (anexo D).

En todo caso, se deberá analizar si la pantalla acústica supone un elemento de riesgo y se debe instalar un sistema de contención de vehículos, según lo recogido en la Orden Circular 35/2014 sobre criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos o versiones posteriores.

3.7. Resistencia a la carga dinámica provocada por la retirada de nieve

La conformidad de un sistema antirruido para infraestructuras viarias con los requisitos de resistencia a la carga dinámica provocada por la remoción de nieve debe demostrarse mediante un ensayo a escala real de conformidad con la norma UNE-EN 1794-1 (apéndice E).

3.8. Resistencia al fuego

La conformidad de un sistema antirruido para infraestructuras viarias con los requisitos de resistencia al fuego de la maleza debe demostrarse mediante un ensayo experimental, como se indica en la norma UNE-EN 1794-2 (anexo A).

3.9. Resistencia a los agentes atmosféricos

Toda la pantalla debe construirse de manera que se evite el estancamiento de agua en todos los puntos; en particular, con respecto a los paneles compuestos, el agua debe escapar fácilmente de los paneles individuales y no estancarse tanto entre el panel y el panel, como entre el panel inferior de la pantalla y la superficie de apoyo.



4

**Criterio de
extensibilidad**

Cuando se realizan cambios o variaciones en el producto (DRR) se solicita al fabricante la actualización de los valores de prestaciones declarados. Puede suceder que algunas prestaciones no se vean afectadas por las modificaciones realizadas. En tales situaciones, el fabricante puede optar por no repetir los ensayos de acuerdo con el principio de evitar una carga excesiva para la certificación (artículo 34 del Reglamento de productos de la construcción).

El alcance de este punto es el de proporcionar criterios para la extensión de las prestaciones declaradas al producto modificado.

Se proporciona un análisis para diferentes tipos de productos (elementos fundamentalmente acústicos) y se establece una relación entre el tipo de cambios o modificaciones y las prestaciones declaradas.

El documento se basa en la experiencia de fabricantes y laboratorios notificados que tienen una experiencia bien establecida en DRR.

4.1. Criterios de extensibilidad para los resultados de los ensayos iniciales de tipo

En el presente capítulo se dan criterios para la extensión de los valores de desempeño declarados para los siguientes tipos de productos:

- Paneles acústicos metálicos.
- Paneles acústicos de madera.
- Paneles acústicos transparentes (PMMA, policarbonato o vidrio laminado) equipados con un marco metálico.
- Paneles acústicos de hormigón.

Los productos enumerados anteriormente son los más utilizados en el mercado español. La lista debe considerarse no exhaustiva y puede implementarse para nuevos tipos de productos.

En los siguientes capítulos se da una breve explicación de los criterios utilizados para la extensión de la declaración.

Para facilitar y estandarizar el procedimiento de extensibilidad de la declaración de prestaciones, se presentan al final de este punto una lista de criterios de extensibilidad por categoría homogénea de productos.

Cada tabla corresponde a un tipo específico de elemento acústico, como se indica arriba. Cada tabla está organizada en filas y columnas donde:

- En las filas están las prestaciones para las que se puede ampliar el valor declarado.
- Las columnas informan las características técnicas del panel que, en caso de variación, tienen un impacto potencial en las prestaciones individuales.
- Los símbolos que se muestran en una sola intersección tienen el siguiente significado:

X	Se requiere la repetición del ensayo para cualquier variación de la característica técnica.
-	No se requiere repetir el ensayo para cualquier variación de la característica técnica.
↑	El aumento de la característica técnica conduce a una mejora de la prestación concreta.
↓	El aumento de la característica técnica conduce a un deterioro de la prestación concreta. Esta situación implica necesariamente la repetición del ensayo.
Gris	Pruebas opcionales.

También se explican las modificaciones de las características técnicas que a menudo se requieren para los productos. Es decir, cambio de material, cambio de espesor, modificación de la densidad, modificación de la disposición de las juntas, etc.

Estas modificaciones a menudo requieren de la intervención del laboratorio notificado para evaluar la necesidad de repetir el ensayo ya realizado.

Los criterios de extensión se basan en el principio de la familia de productos donde las muestras pueden identificarse con un grado de prestación inferior a los demás productos de la misma familia (criterios conservadores). En este caso los resultados de los ensayos y las valoraciones se aplican a todos los productos de una misma familia.

Para cada producto nuevo, pero similar a uno ya probado a través de un ensayo inicial de tipo, el fabricante debe asegurarse de que los parámetros de ensayo estén influenciados positivamente por el sistema de producción: en este caso, el fabricante

no está obligado a enviar el producto para la realización de un nuevo ensayo inicial de tipo, pudiendo utilizar los resultados del ensayo ya hechos.

El criterio clave que debe cumplirse para evitar pasar por varios ensayos iniciales de tipo es declarar el valor mínimo de la prestación que se puede alcanzar para cada familia de productos.

El fabricante es el único responsable de la extensibilidad de la declaración de prestaciones para un producto familiar y para ello cuenta con el dictamen de un laboratorio acreditado por ENAC o, en caso de laboratorio extranjeros, por una entidad internacional de acreditación que esté reconocida en España.

4.2. Propiedades acústicas

4.2.1. Aislamiento acústico

El aislamiento acústico está directamente relacionado con la masa por unidad de área. Cuanto mayor sea la masa, mejor será el rendimiento esperado del aislamiento acústico. Por ejemplo:

- Para un panel antirruído de hormigón fabricado con una capa estructural de hormigón armado y una capa de material ligero fonoabsorbente, las variaciones en la geometría y composición de la capa fonoabsorbente son despreciables cuando se evalúan las prestaciones de aislamiento acústico.
- La variación del tipo de perforación de la lámina de un panel metálico o la variación del espaciado de las tiras para un panel de madera son despreciables a los efectos de evaluar el desempeño.

Por otro lado, la modificación de las juntas o las variaciones del componente estructural (viga o poste) pueden tener efectos no previstos *a priori*. En particular, el uso de perfiles metálicos del tipo HEA/HEB que sujetan paneles que requieren sistemas de compensación para ajustar el espesor del panel al espacio interior entre las alas del perfil HEA/B, podría provocar una disminución del aislamiento acústico en el panel.

Por lo tanto, en el caso de las uniones entre paneles y perfiles metálicos, la prueba debe repetirse para al menos un tipo de perfil metálico aumentado para verificar la eficacia

del sistema de compensación. El valor medido puede luego extenderse a combinaciones con otros perfiles metálicos de la misma familia (HEA 140, 160, 200...).

De igual forma, el tamaño del poste utilizado para el ensayo de aislamiento dará validez sólo a obras en las que se instale ese poste de soporte o postes de soporte de tamaño superior, pero nunca inferiores. Así, por ejemplo, si en el ensayo de aislamiento se utiliza un poste de soporte HEA200, el ensayo y la declaración de prestaciones será válida sólo si en la obra se colocan perfiles HEA200 o superiores.

El rendimiento del aislamiento acústico se puede evaluar en los campos directo y difuso. Las consideraciones anteriores son válidas para ambos tipos de ensayo.

4.2.2. Absorción/reflexión del sonido

La absorción acústica está relacionada principalmente con los materiales porosos/fibrosos utilizados en los paneles. Las restricciones de contorno de las láminas transparentes pueden afectar la capacidad de absorción de sonido a bajas frecuencias de una manera que no se puede prever *a priori*. Teniendo en cuenta el espectro de tráfico rodado ponderado A, este efecto es generalmente insignificante en el cálculo del índice único para evaluar el rendimiento a declarar.

Se aplican las siguientes consideraciones:

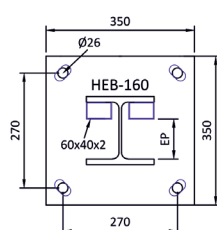
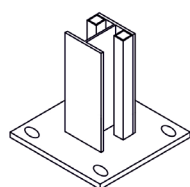
- La prueba debe repetirse cuando se produzca un cambio en el espesor total del panel.
- Para pantallas acústicas de madera, el ensayo también debe repetirse en el caso de modificación del ancho y/o espaciado de las tiras frontales de madera.
- El aumento del espesor del material fonoabsorbente conduce a un aumento del rendimiento, mientras que un cambio de volumen de la masa tiene un resultado incierto.
- El aumento del número de juntas entre los paneles (debido, por ejemplo, a la elección de paneles de longitud o altura reducidas) conduce a un aumento de la parte de la superficie sin propiedades fonoabsorbentes y puede conducir a una reducción de las prestaciones determinadas.
- Los cambios en el velo de fibra de vidrio que cubre los materiales fibrosos (por ejemplo, lana de roca) pueden tener efectos significativos, que se deben evaluar experimentalmente.

- Para los paneles acústicos de hormigón, la variación del espesor de la capa estructural no tiene efecto sobre la absorción acústica. El aumento del espesor de la capa fonoabsorbente aumenta el rendimiento.
- Los cambios en la granulometría/masa volumétrica así como la forma de las lamasy tienen un resultado incierto. El aumento de la altura de las lamasy provoca un aumento de la superficie fonoabsorbente global.
- El rendimiento de absorción del sonido se puede evaluar en el campo directo (reflexión) y en el campo difuso (absorción). Aunque con un alcance cuantitativamente diferente, las consideraciones anteriores se aplican a ambos tipos de ensayo.

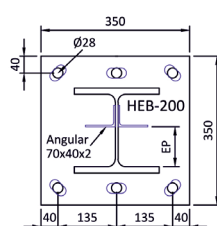
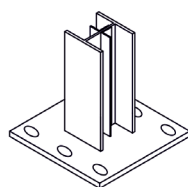
4.3. Propiedades mecánicas

Normalmente el espesor de los paneles acústicos, sean de la tipología que fueren, suelen fabricarse con un espesor total determinado. Sin embargo los perfiles metálicos de soporte pueden tener distintas dimensiones en función de la altura de la pantalla acústica, de la separación entre los perfiles de soporte y de la carga de viento que las pantallas acústicas deban soportar. Para adaptar el panel acústico al hueco interior entre las alas del perfil de soporte (habitualmente se utilizan perfiles laminados tipo HEA/HEB/IPE, etc.), se pueden adoptar soluciones como las indicadas en la figura 4:

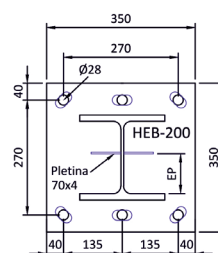
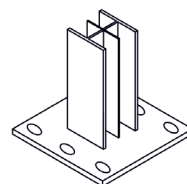
Perfil tubular metálico
cuadrado o rectangular



Angular metálico
soldado o atornillado



Pletina metálica
soldada



Chapa metálica
plegada

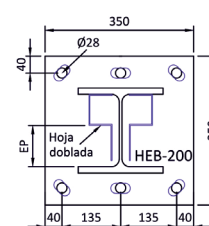
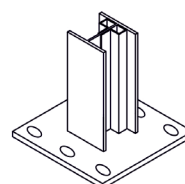
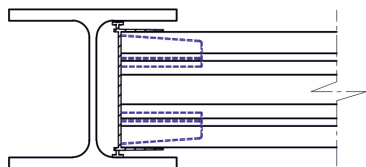


Figura 4: Detalle de las soluciones que se pueden realizar para adaptar el panel al hueco interior entre las alas del perfil de soporte.

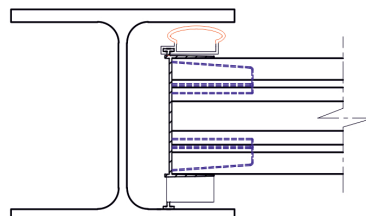
En estos casos el criterio de extensibilidad es directamente aplicable y no es necesaria la repetición de los ensayos iniciales de tipo si se mantienen los mismos materiales de sellado, así como la misma geometría y dimensiones del panel acústico.

Sin embargo, el cambio del sistema de unión entre panel y perfil de soporte requiere una cuidadosa evaluación con nuevos ensayos. Particularmente en el caso de utilizar tapas laterales de materiales plásticos, en cuyo caso los ensayos de resistencia mecánica (resistencia a las cargas de viento, carga combinada, peso propio, carga de nieve, etc.) deben realizarse después de haber sometido dichas tapas a un ensayo de envejecimiento.

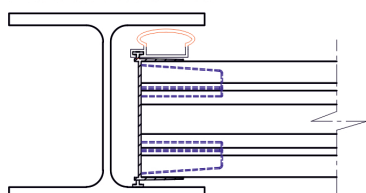
PERFIL HEA-120



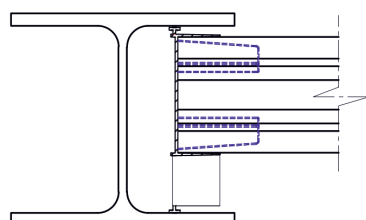
PERFIL HEA-160



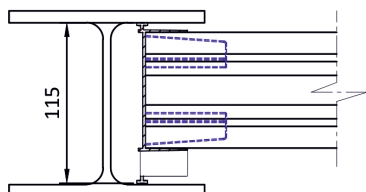
PERFIL HEA-140



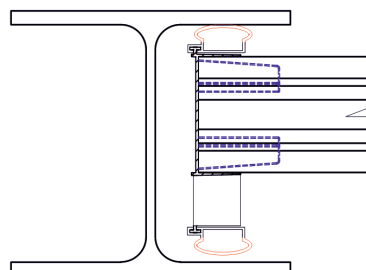
PERFIL HEA-160



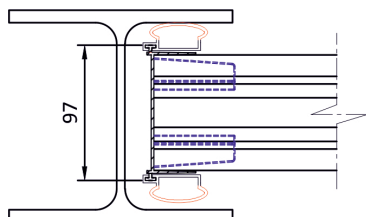
PERFIL HEA-140



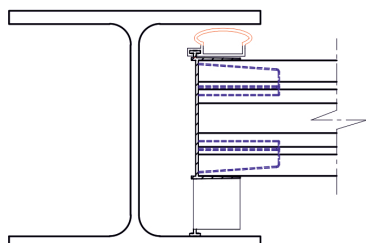
PERFIL HEA-200



PERFIL HEA-160

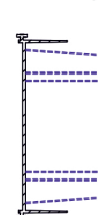
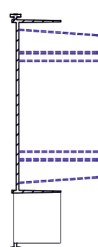


PERFIL HEA-180



Tapa con Extensor

Tapa Simple



**Juntas EPDM
en reposo**

**Juntas EPDM en
posición de trabajo**

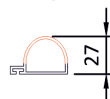
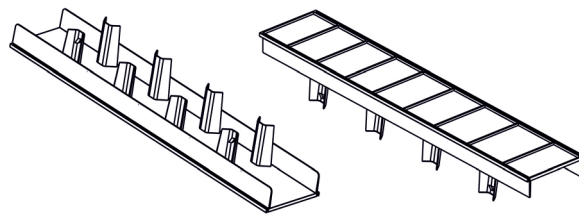


Figura 5: Sistemas de unión entre panel y distintos perfiles de soporte en pantallas acústicas metálicas.

Utilizar extensores, postizos de materiales plásticos o juntas de goma EPDM de distintas dimensiones requerirá la repetición de los ensayos de resistencia mecánica para cada modelo de extensor o junta.

Tapa simple



Tapa con extensor

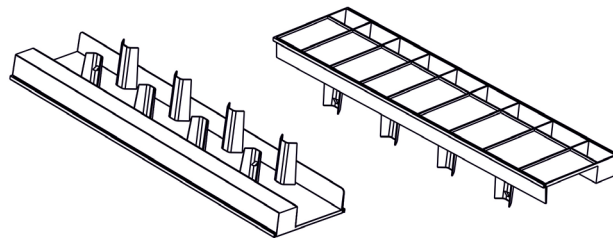


Figura 6: Tapas de materiales plásticos con y sin extensores.

4.3.1. Carga de viento

La resistencia del componente acústico del panel a la carga del viento se determina con una prueba de carga estática.

En general se observa que para los tipos de paneles metálicos, el aumento del espesor de las chapas (carcasa y/o rejilla) y la disminución del porcentaje de superficie perforada en la rejilla conducen a una mejora en las características de resistencia.

Asimismo, la resistencia aumenta con el espesor de las láminas de PMMA transparente o con el espesor de la capa estructural en el caso de los paneles de hormigón.

El cambio del sistema de unión entre panel y perfil de soporte requiere una cuidadosa evaluación y requiere de nuevos ensayos.

4.3.2. Peso propio

Sin perjuicio de lo indicado en el apartado 4.3.1, los cambios en el material poroso/fibroso interno pueden dar lugar a un grado diferente de retención del agua de lluvia y, en consecuencia, a un cambio en el peso húmedo.

4.3.3. Carga de nieve

Lo mismo se aplica a lo indicado en el punto 4.3.1 relativo a la carga de viento.

4.3.4. Riesgo de caída de trozos desprendidos

Lo mismo se aplica a lo indicado en el punto 4.3.1 relativo a la carga de viento. Para pantallas transparentes de vidrio monolítico o laminado, el comportamiento en caso de impacto es difícil de predecir y generalmente se requiere repetir la prueba a medida que cambian las características.

Para paneles metálicos y de madera, la disminución en el número de juntas (paneles más pequeños) se debe considerar como una mejora para la evaluación del desempeño.

Para los paneles de hormigón, la fragmentación en caso de colisión puede tener lugar en función del tipo de capa aligerada adoptada.

4.3.5. Impacto de piedras

Lo mismo se aplica a lo indicado en el punto 4.3.1 relativo a la carga de viento. Para las pantallas de vidrio transparente, el tratamiento térmico adoptado influye. Con base en la norma técnica UNE, generalmente se solicita repetir la prueba cuando las características cambian.

Para paneles metálicos, la disminución en el porcentaje de superficie perforada se debe considerar como una mejora para la evaluación del rendimiento.

En el caso de los paneles de hormigón, se pueden producir daños en la superficie afectada según el tipo de capa fonoabsorbente adoptada.

4.3.6. Resistencia al fuego de maleza

Excepto en el caso de los materiales plásticos, los aumentos de espesor o masa volumétrica conducen generalmente a una mejora de las prestaciones.

Para paneles metálicos, la disminución en el porcentaje de superficie perforada se debe considerar como una mejora para la evaluación del rendimiento.

El tipo de velo de fibra de vidrio para la protección de materiales fibrosos (lana mineral) así como el método de unión influyen en este comportamiento de forma impredecible.

Las juntas de estanqueidad influyen en el rendimiento evaluado si están presentes horizontalmente entre un panel y otro.

Para paneles de hormigón, el resultado de la prueba no depende del espesor y tamaño de grano de la capa porosa. Los elementos que influyen en los ensayos son: el tipo de material utilizado para la capa aligerada, la geometría y orientación (horizontal o vertical) de las lamas.

Tabla 3: Criterios de extensibilidad para paneles acústicos metálicos.

	Espesor de elementos opacos	Tipología de la placa absorbente	Espesor de la capa absorbente	Masa volumétrica absorbente	% De superficie perforada	Número de juntas horizontales	Fibra de vidrio de protección	Color de acabado
Aislamiento acústico	↑	- (Si la masa superficial no disminuye)	↑	↑	↓	↓	-	-
Absorción acústica	-	X	↑	X	X	↓	X	-
Carga de viento	↑	-	↑	↑	↓	↑	-	-
Peso propio	↑	-	↑	↑	↓	↓	-	-
Carga de nieve	↑	-	↑	↑	↓	↓	-	-
Riesgo de caída de trozos desprendidos	↑	-	-	-	↓	↓	-	-
Reflexión de la luz	-	X	-	-	↑	-	X	X
Impacto de piedras	↑	-	-	↑	↓	-	-	-
Resistencia al fuego de la maleza	↑	X	↑ (Lana) ↓ (Poliéster)	↑	↓	-	X	-

Prescripciones técnicas exigibles a los dispositivos reductores de ruido (DRR)

Tabla 4: Criterios de extensibilidad para paneles de madera.

	Espesor del elemento opaco	Tipología absorbente	Espesor absorbente	Masa volumétrica absorbente	Número de juntas horizontales	Fibra de vidrio de protección	Color de acabado
Aislamiento acústico	↑	- (Si la masa superficial no disminuye)	↑	↑	↓	-	-
Absorción acústica	X	X	↑	X	↓	X	-
Carga de viento	↑	-	-	-	↓	-	-
Peso propio	↑	-	-	-	↓	-	-
Carga de nieve	↑	-	-	-	↓	-	-
Riesgo de caída de trozos desprendidos	↑	-	-	-	↓	-	-
Reflexión de la luz	-	X	-	-	-	X	X
Impacto de piedras	↑	-	↑	↑	-	-	-
Resistencia al fuego de la maleza	X	X	↑ (Lana) ↓ (Poliéster)	↑	-	X	-
Resistencia al fuego	X	X	X	X	-	X	

Tabla 5: Criterios de extensibilidad para elementos transparentes del tipo PMMA, policarbonato o vidrio laminado.

	Grosor de los paneles	Estructura de los paneles	Números de horizontales y/o vertical
Aislamiento acústico	↑	X	↓
Carga de viento	↑	X	↓
Peso propio	↑	X	↓
Carga de nieve	↑	X	↓
Riesgo de caída de trozos desprendidos	X	X	↓
Impacto de piedras	↑	-	-
Resistencia al fuego de maleza	-	-	-
Resistencia al fuego	X	X	-

Tabla 6: Criterios de extensibilidad para paneles acústicos a base de hormigón.

	Espesores de la capa de haz	Tipo de tamaño para el sonido (capa absorbente)	Geometría de la capa fonoabsorbente	Número de juntas horizontales	Color/tipo de acabado
Aislamiento acústico	↑	-	-	↓	-
Absorción acústica	-	X	↑	↓	-
Carga de viento	↑	-	-	↓	-
Peso propio	↑	-	-	↓	-
Carga de nieve	↑	-	-	↓	-
Riesgo de caída de trozos desprendidos	X	X	X	↓	-
Reflejo de luz	-	X	X	-	X
Impacto de piedras	-	X	X	-	-
Resistencia a fuego de maleza	-	X	-	-	-

5

**Tipologías de pantallas
acústicas en función
de los materiales de los
que están constituidas.
Requisitos mínimos**

5.1. Pantallas acústicas metálicas de acero y/o aluminio

Los paneles acústicos metálicos utilizados en la construcción de las pantallas acústicas metálicas consisten en una estructura en forma de caja (de acero o aluminio), en cuyo interior se inserta una placa fonoabsorbente de material fibroso, generalmente de lana de roca o de fibra de poliéster. Son pantallas altamente absorbentes, por lo que son ampliamente utilizadas cuando se necesita evitar las reflexiones.

5.1.1. Geometría y componentes

La geometría de la pantalla acústica debe definirse detalladamente en el proyecto constructivo, estableciéndose su altura y longitud a lo largo de cada tramo a construir, así como su ubicación, según resulte del correspondiente estudio acústico.

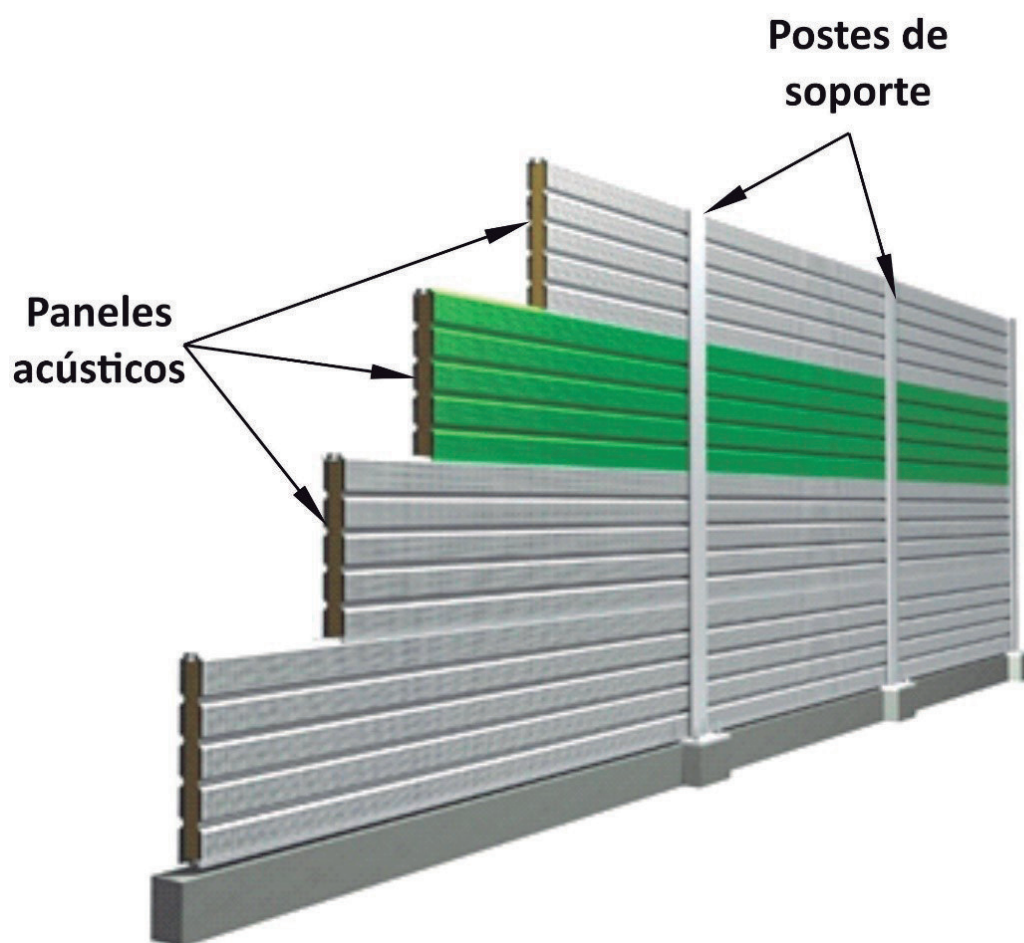


Figura 7: Ejemplo de pantalla acústica metálica.

Las pantallas acústicas metálicas estarán compuestas por paneles modulares metálicos de tipo *sandwich* dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte. El diseño y características geométricas de los paneles modulares pueden variar según sea el fabricante, siendo habituales espesores comprendidos entre 80 mm y 150 mm, alturas de panel de entre 300 mm y 1000 mm y longitudes de hasta 5000 mm en función de la interdistancia entre postes de la estructura soporte.

Resulta recomendable siempre que sea posible, por razones de coste, fijar una distancia entre postes de soporte en 4000 o 5000 mm. Las separaciones entre postes menores se deben reservar para los casos en que las condiciones de resistencia a cargas y de diseño de los anclajes y cimentaciones, así lo requieran.

Las soluciones constructivas del armazón o estructura soporte, deberán permitir, en caso de accidente, la fácil reparación del tramo afectado.

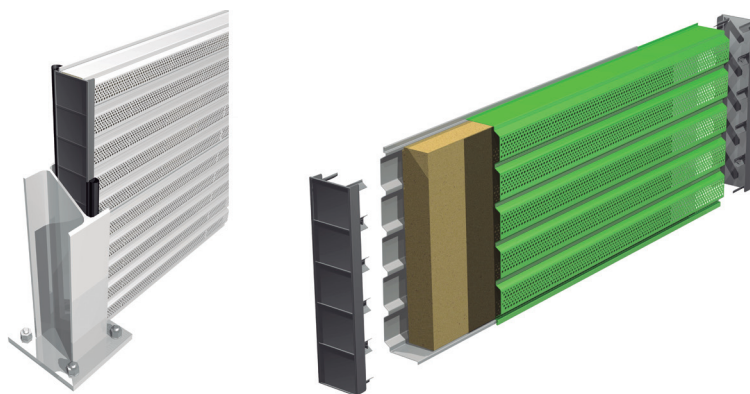


Figura 8: Detalles de pantallas acústicas metálicas con tapas laterales.

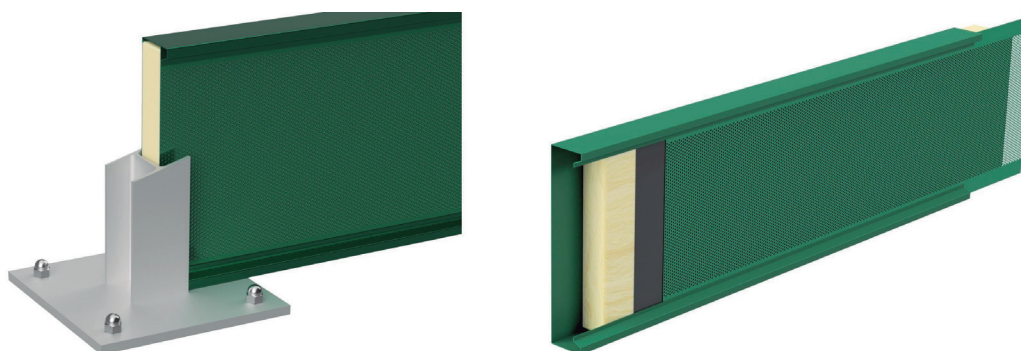


Figura 9: Detalles de pantallas acústicas metálicas sin tapas laterales.

5.1.1.1. Componentes y materiales para la realización de las pantallas acústicas modulares metálicas

Las pantallas acústicas estarán generalmente constituidas por paneles modulares dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte.

Tanto los paneles como la estructura soporte deberán haberse dimensionado, al menos, con arreglo a lo estipulado en las normas UNE-EN que resulten de aplicación y sin perjuicio de mayores exigencias requeridas en cualquier otra norma que resulte aplicable.

- **Componentes y materiales para los paneles acústicos metálicos absorbentes por una cara**

Los paneles acústicos tienen la doble función de aislamiento y absorción acústica.

Cada panel tendrá unas dimensiones totales, de forma que permita su fácil montaje y desmontaje en los perfiles soporte y estará constituido por los siguientes elementos y materiales:

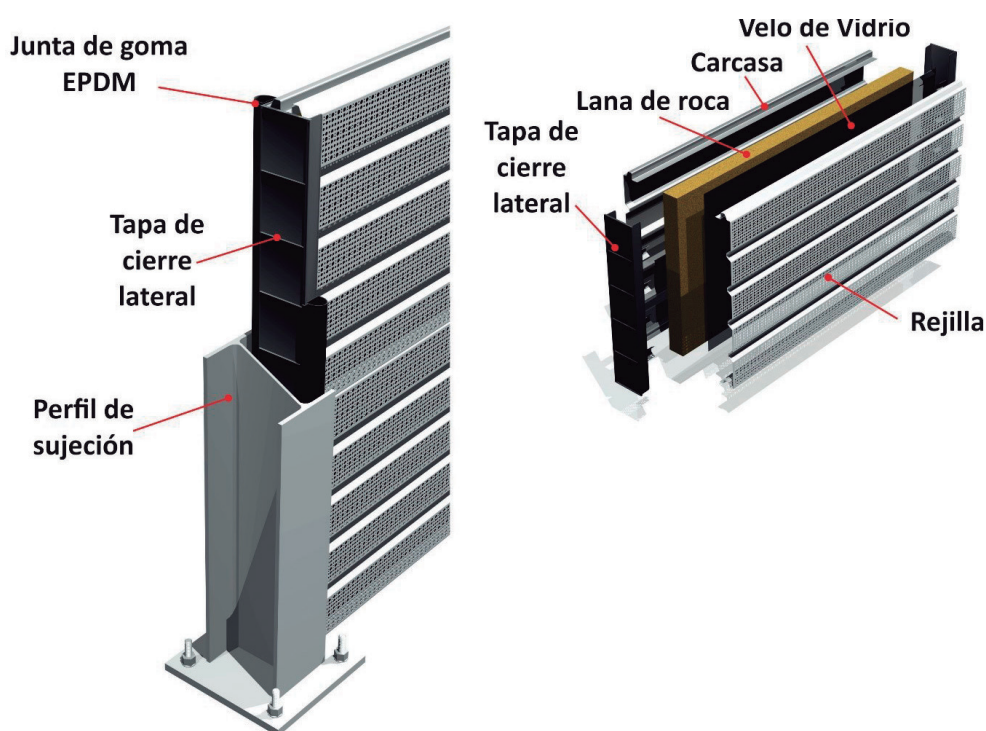


Figura 10: Detalle de los componentes de una pantalla acústica velo de vidrio.

Carcasa:

Deberá ser realizada con chapa plegada o perfilada, de acero para construcción no aleado laminado en frío, galvanizado en caliente en continuo y acabado pintado.

También puede emplearse para la realización de la carcasa chapa plegada o perfilada de acero con recubrimiento metálico por inmersión en caliente a base de zinc, aluminio y magnesio con recubrimiento mínimo ZM-310 o de acero resistente a la intemperie.

En el caso de emplear chapa de acero galvanizada en caliente en continuo para la fabricación de los paneles, la masa de zinc depositada en el revestimiento será de 600 gr/m² considerando ambas caras, correspondiente a la calidad tipo Z-600 según la norma UNE-EN 10346.

Podrá emplearse con autorización de la dirección facultativa cualquier otro tipo de masa de revestimiento, siempre que sea como mínimo de 275 gr/m² por ambas caras, correspondiente a la calidad tipo Z-275 según la norma UNE-EN 10346, si se establece una garantía que cubra cualquier deterioro que sufran las superficies expuestas por corrosión, superior al 2 % de dichas superficies expuestas, durante un período mínimo de 15 años.

La carcasa puede ser realizada así mismo, con chapa plegada o perfilada de aleación de aluminio endurecido tipo AL-3105 o similar, con protección por anodizado o acabado pintado según se indica más adelante.

Las chapas empleadas para la fabricación de la carcasa, ya sean de acero galvanizado, acero resistente a la intemperie, acero con recubrimiento metálico por inmersión en caliente a base de zinc, aluminio y magnesio o bien de aluminio, tendrán un espesor mínimo de 1 mm para garantizar la durabilidad del panel acústico.

Se exigirá un ensayo de niebla salina según la norma UNE-EN ISO 9227 de 480 horas, mediante el que se garantice que la pintura anticorrosión alcance el Grado 5 según la norma UNE-EN ISO 1670.

Rejilla de protección:

Deberá ser realizada con chapa plegada o perfilada y perforada, de acero para construcción no aleado laminado en frío, galvanizado en caliente en continuo

y acabado pintado. La masa del revestimiento será de 600 gr/m² considerando ambas caras, correspondiente a la calidad tipo Z-600 según la norma UNE-EN 10346. Podrá emplearse con autorización de la dirección facultativa, cualquier otro tipo de masa de revestimiento, siempre que sea como mínimo de 275 gr/m² por ambas caras, correspondiente a la calidad tipo Z-275 según la norma UNE-EN 10346, si se establece una garantía que cubra cualquier deterioro que sufran las superficies expuestas por corrosión, superior al 2 % de dichas superficies expuestas, durante un período mínimo de 15 años.

También puede emplearse para la realización de la rejilla chapa plegada o perfilada de acero con recubrimiento metálico por inmersión en caliente a base de zinc, aluminio y magnesio con recubrimiento mínimo ZM-310 o de acero resistente a la intemperie.

La rejilla puede ser realizada así mismo, con chapa plegada o perfilada y perforada, de aleación de aluminio endurecido tipo AL MG 3003 o similar, con protección por anodizado o acabado pintado.

En cualquier caso, las perforaciones de las chapas para rejillas de protección deberán alcanzar como mínimo el 22 % y como máximo el 40 %, de la superficie total. Cada perforación no debería sobrepasar una superficie de 30 mm².

Las chapas empleadas para la fabricación de la rejilla, ya sean de acero galvanizado, acero resistente a la intemperie, acero con recubrimiento metálico por inmersión en caliente a base de zinc, aluminio y magnesio o bien de aluminio, tendrán un espesor mínimo de 0,8 mm para garantizar la durabilidad del panel acústico.

Se exigirá un ensayo de niebla salina según la norma UNE-EN ISO 9227 de 480 horas, mediante el que se garantice que la pintura anticorrosión alcance el Grado 5 según la norma UNE-EN ISO 1670.

Tabla 7: Propiedades de las chapas metálicas de los paneles acústicos.

Característica	Método de ensayo	Valor de referencia
Aleación de aluminio-tipología	UNE-EN 573-1	Aleación Al-Mg-Mn (del grupo 3xxx)
Aleación de aluminio-espesor mínimo carcasa	-----	1,5 mm
Aleación de aluminio-espesor mínimo rejilla	-----	1,5 mm
Aleación de acero galvanizado -tipo mínimo	UNE-EN 10346	DX51D / S220GD
Aleación de acero-espesor mínimo carcasa	-----	1,0 mm
Aleación de acero-espesor mínimo rejilla	-----	0,8 mm
Acero corten-espesor mínimo carcasa	-----	1,0 mm
Acero corten-espesor mínimo rejilla	-----	0,8 mm
Aleación de acero galvanizado-gramaje del cincado	UNE-EN 10346 UNE-EN 10143	$Z \geq 275 \text{ g/m}^2$
Pintura	-----	Véase la siguiente tabla 8.

Tabla 8: Propiedades de los productos pintados.

Característica	Método de ensayo	Valor de referencia
Evaluación del espesor de la película de pintura	UNE-EN ISO 2360	> 60 micras
Valoración del grado de adherencia	UNE-EN ISO 2409	Clase 0 (sin desprendimiento)
Aplicación	-----	Posterior al perforado de las chapas de acero
Ensayo de resistencia a la corrosión en cámara de niebla salina acética	ISO 9227	Después de 1500 horas de exposición para aluminio (480 horas para acero galvanizado), Grado 5 según la norma ISO 1670

Placa de material absorbente:

Se usará lana de roca utilizable en condiciones de saturación de humedad, resistente a radiación UV, de densidad igual o superior a 70 kg/m^3 y espesor mínimo 70 mm, con un velo de fibra de vidrio protector.

Podrá admitirse con autorización de la dirección facultativa cualquier otro material absorbente especificado por el fabricante, siempre que se establezca una garantía que cubra su estabilidad y funcionalidad por un período mínimo de 15 años.

Para garantizar la durabilidad de las propiedades acústicas de los paneles metálicos, el material fonoabsorbente debe fijarse de forma que no pueda moverse ni doblarse, en el interior del casete metálico, garantizando que no se dañe con facilidad.

Tabla 9: Propiedades de los materiales fonoabsorbentes fibrosos más comunes en los paneles acústicos metálicos.

Característica	Método de prueba	Valor de referencia
Densidad aparente	-----	Lana de roca: $\geq 70 \text{ kg/m}^3$ Lana de vidrio: $\geq 40 \text{ kg/m}^3$ Fibra de poliéster: $\geq 30 \text{ kg/m}^3$
Clase de reacción al fuego	UNE-EN 13501-1: 2007 (Solo para productos instalados en túneles)	Contribución al fuego: A1 y A2 (no combustible) Densidad del humo: s1 (sin humo) Gotas brillantes: d0 (sin caídas dentro de los 600 s)

Tapas laterales de cierre:

Algunos modelos de paneles acústicos metálicos pueden requerir de estos elementos. Pueden ser fabricados en el mismo material que la carcasa, en cuyo caso las propiedades exigibles a estas tapas serán las mismas que las exigidas a la carcasa, sin ser necesariamente pintadas al quedar ocultas en el interior del perfil de soporte. En el caso de estar ejecutados con materiales plásticos deberá verificarse el mantenimiento de sus propiedades a largo plazo. Para ello se realizarán ensayos de envejecimiento tras los cuales las propiedades de resistencia y módulo de elasticidad a tracción no podrán haberse reducido en un valor superior al 5 % de su valor inicial.

Tabla 10: Propiedades de las tapas laterales en materiales plásticos de los paneles acústicos.

Característica	Método de ensayo	Valor de referencia
Resistencia a la tracción	ISO 527-2 / 1B / 50	x MPa
Resistencia a la tracción después del envejecimiento	UNE-EN ISO 527-2 / 1B / 50	Mínimo = x - 5 % x MPa
Módulo de elasticidad a la tracción	UNE-EN ISO 527-2 / 1B / 1	y MPa
Módulo de elasticidad a la tracción después del envejecimiento	UNE-EN ISO 527-2 / 1B / 1	Mínimo = y - 5 % y MPa

Juntas de goma EPDM:

En algunos modelos de paneles acústicos metálicos, la insonorización de las pantallas acústicas está garantizada por el uso de juntas o sellados adecuados entre el panel y el poste de sujeción.

Estas juntas suelen estar incorporadas a las tapas laterales y sellan los huecos entre la carcasa y/o la rejilla en su contacto con el poste de sujeción. Este tipo de juntas deben cumplir los siguientes requisitos:

- Ser de EPDM, con dureza entre 65 y 75 Shore.
- Ser compatibles con el material de las tapas plásticas (es decir, durante su vida útil, no deben liberar sustancias químicas que ataquen químicamente al material plástico de las tapas).
- Tener una forma de unión con las tapas que impida que se desprendan durante la vida útil del panel y tener una geometría que permita la expansión y retracción de los paneles.
- Tener una resistencia al ozono: según la norma UNE-EN 53.626/1, apartado 5.8 (50 pphm; 40 °C; 96 horas) y una resistencia a bajas temperaturas: según la norma UNE-EN 53.626/1, apartado 5.7 (-40 °C; 10 horas) sin la aparición de grietas.

No se permite el uso de siliconas o poliuretano para el sellado entre los paneles y el poste de soporte.

Las juntas deben tener las características mínimas enumeradas en las tablas 11 y 12, a continuación.

Tabla 11: Propiedades de los sellados de juntas.

Característica	Método de ensayo	Valor mínimo de referencia
Dureza	UNE-EN ISO 868	70 ± 5 Shore A/3
Carga mínima de rotura	ISO 37	8 MPa
Alargamiento a la rotura	ISO 37	290 %
Densidad	ISO 1183	0,92- 1,25 gr/cm ³

Después del envejecimiento térmico de siete días a una temperatura de 100 °C, de conformidad con la norma DIN 7863, no debe haber cambios en las características superiores a los informados en la siguiente tabla 12.

Tabla 12: Variaciones toleradas de los requisitos de las juntas después del envejecimiento térmico.

Característica	Método de ensayo	Valor mínimo de referencia
Dureza	EN ISO 868	± 1 Shore A
Carga mínima de rotura	ISO 37	±10 %
Alargamiento a la rotura	ISO 37	± 5 %

- **Componentes y materiales para los paneles modulares metálicos absorbentes por ambas caras**

Los paneles modulares tienen la doble función de aislamiento y absorción acústica. Cada panel tendrá unas dimensiones totales, de forma que permita su fácil montaje y desmontaje en los perfiles soporte y estará constituido por los siguientes elementos y materiales:

Placa aislante:

Deberá ser realizada con un material denso capaz de aportar la capacidad de aislamiento a ruido aéreo requerida para el panel modular. La placa aislante se sitúa en la parte central del *sandwich*, entre dos placas de material absorbente y las dos rejillas exteriores de protección. La placa aislante, generalmente estará constituida por chapa metálica, ya sea de acero o aleación de aluminio, según se indica a continuación:

Chapa de acero para construcción no aleado laminado en frío, de espesor mínimo de 1 mm, galvanizado en caliente en continuo.

La chapa de acero empleada para la placa aislante será galvanizada en continuo y en caliente. La masa de zinc depositada en el revestimiento será de 600 gr/m² considerando ambas caras, correspondiente a la calidad tipo Z-600 según UNE-EN 10346.

Puede emplearse cualquier otro tipo de masa de revestimiento, siempre que sea como mínimo de 275 gr/m^2 por ambas caras, correspondiente a la calidad tipo Z-275 según UNE-EN 10346, si se establece una garantía que cubra cualquier deterioro que sufran las superficies expuestas por corrosión, superior al 2 % de dichas superficies expuestas, durante un período estimado de 15 años.

Puede emplearse para la realización de la placa aislante chapa plegada o perfilada de acero con recubrimiento metálico por inmersión en caliente a base de zinc, aluminio y magnesio con recubrimiento mínimo ZM-310 o de acero resistente a la intemperie, con espesor mínimo de 1 mm.

La placa aislante puede ser realizada así mismo, con chapa de aleación de aluminio endurecido tipo AL 3105 o similar, de espesor mínimo de 3 mm, u otros materiales de elevada densidad superficial, como placas de fibrocemento y/o láminas bituminosas.

Rejillas de protección:

Conforman el cuerpo externo del panel modular por ambas caras. Deberán ser realizadas con chapa plegada o perfilada y perforada, de acero para construcción no aleado laminado en frío, de espesor mínimo 0,8 mm, galvanizado continuo en caliente y acabado pintado. La masa del revestimiento será de 600 gr/m^2 considerando ambas caras, correspondiente a la calidad tipo Z-600 según UNE-EN 10346. Puede emplearse cualquier otro tipo de masa de revestimiento, siempre que sea como mínimo de 275 gr/m^2 por ambas caras, correspondiente a la calidad tipo Z-275 según UNE-EN 10346, si se establece una garantía que cubra cualquier deterioro que sufran las superficies expuestas por corrosión, superior al 2 % de dichas superficies expuestas, durante un período mínimo de 15 años.

Puede emplearse para la realización de las rejillas chapa plegada o perfilada y perforada de acero con recubrimiento metálico por inmersión en caliente a base de zinc, aluminio y magnesio con recubrimiento mínimo ZM-310 o de acero resistente a la intemperie.

Las rejillas pueden ser realizadas así mismo, con chapa plegada o perfilada y perforada, de aleación de aluminio endurecido tipo AL 3105 o similar, con protección por anodizado o acabado pintado según se indica más adelante.

En cualquier caso, las perforaciones de las chapas para las rejillas de protección deberán alcanzar como mínimo el 25 % y como máximo el 40 %, de la superficie total. Cada perforación no debería sobrepasar una superficie de 30 mm².

Placas de material absorbente:

Se usará lana de roca utilizable en condiciones de saturación de humedad, resistente a radiación UV, de densidad igual o superior a 70 kg/m³ y espesor mínimo, sumando el total de las placas, de 70 mm, con un velo de fibra de vidrio compactado y neoprenado, dispuestas a cada lado de la placa aislante y entre esta y las rejillas de protección.

Podrá admitirse cualquier otro material absorbente especificado por el fabricante, siempre que se establezca una garantía que cubra su estabilidad y funcionalidad por un período mínimo de 15 años.

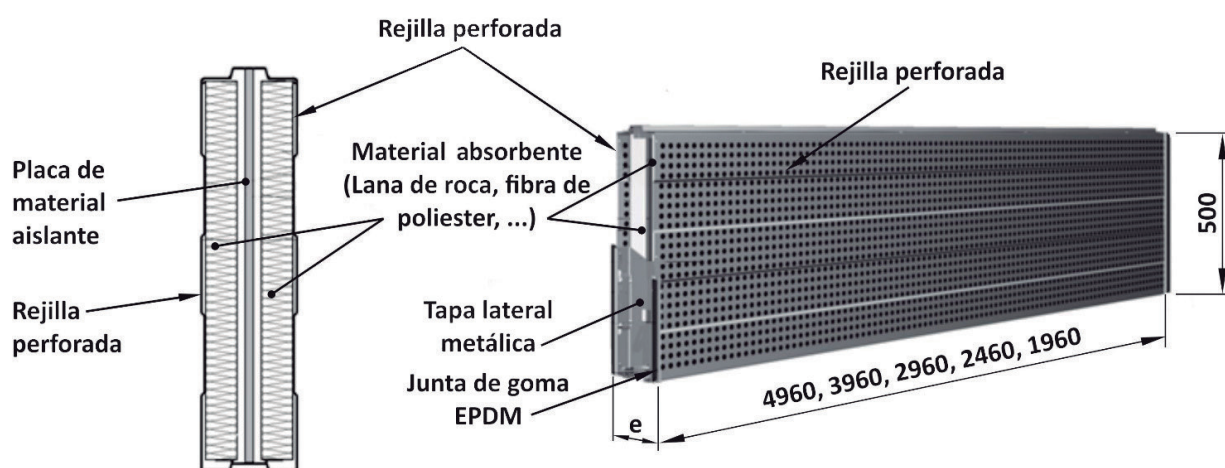


Figura 11: Detalle de una pantalla con material absorbente por las dos caras.

Las tapas laterales de cierre y las juntas de goma EPDM, si son necesarias tendrán las mismas características y requisitos que en los paneles absorbentes por una cara.

- **Componentes y materiales para los paneles acústicos metálicos reflectantes**

Excepcionalmente, y en casos muy particulares, puede no ser necesario que los paneles acústicos metálicos tengan propiedades absorbentes, en cuyo caso los paneles tendrán la misma composición que los paneles absorbentes por una cara, con la única diferencia de que la rejilla de protección no tendrá perforaciones.

- **Disposiciones generales relativas a los paneles acústicos modulares y su ensamblaje (tanto para los paneles absorbentes por una sola cara como por las dos caras)**

El diseño de todos y cada uno de los elementos constituyentes de los paneles modulares deberán permitir su fijación o ensamblaje preferentemente por encajamiento, a fin de evitar las fijaciones tales como remaches, roblones, pernos o tornillos, incluso en la unión de las tapas laterales con las chapas que conforman el panel, al resultar especialmente sensibles a los efectos de las cargas alternadas reduciendo su durabilidad.

En cualquier caso, los paneles acústicos metálicos deberán ser capaces de soportar el peso mojado de todos los paneles que quedarán dispuestos por encima hasta alcanzar la altura total prevista para conformar la pantalla más alta a instalar en la obra. Deberá realizarse un ensayo que confirme esa resistencia conforme se indica en la norma UNE-EN 1794-1, anexo B.

Protección anticorrosión de las superficies exteriores de los paneles y acabado:

El acabado de los paneles modulares para apantallamiento acústico deberá permitir garantizar su comportamiento frente a la corrosión.

Para ello, el acabado de las superficies exteriores de los paneles, cuando deban ir pintados sobre acero galvanizado en caliente en continuo, estará realizado mediante un revestimiento de pintura de poliéster en polvo de doble componente, en color RAL a especificar, aplicado por procedimiento electrostático y polimerización en horno, para garantizar una mayor aportación de pintura en los bordes que son los más sensibles a la corrosión. El espesor medio de la capa de pintura deberá ser ≥ 60 micras, con un valor puntual mínimo de 50 micras.

Se exigirá un ensayo de niebla salina según UNE-EN ISO 9227 de 480 horas, mediante el que se garantice que la pintura anticorrosión alcance el Grado 5 según la norma UNE-EN ISO 1670.

El revestimiento de pintura deberá aplicarse imperativamente una vez mecanizadas y conformadas las diferentes piezas metálicas cuando el material base sea acero galvanizado en caliente en continuo, con el fin de evitar zonas de corrosión preferente como son los bordes cortados de las chapas (carcasa o rejilla) o los bordes cortados en los agujeros de las perforaciones de la rejilla. Sólo el caso del uso de aluminio como material base, se podrá aplicar la pintura previamente al mecanizado y conformado de las diferentes piezas, pudiéndose utilizar en la fabricación de los paneles modulares bobinas o flejes de aluminio prepintado.

5.1.2. Requisitos mínimos exigibles para las pantallas acústicas metálicas

Tabla 13: Requisitos mínimos para las pantallas acústicas metálicas absorbentes por una cara.

Paneles acústicos metálicos absorbentes por una cara		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características acústicas:		
Para pantallas instaladas en campo difuso:		
1. Índice de absorción en campo difuso	UNE-EN 1793-1 (*)	$DL_a \geq 18$ dB
2. Índice de aislamiento en campo difuso	UNE-EN 1793-2 (*)	$DL_R \geq 27$ dB
Para pantallas instaladas en campo directo:		
3. Índice de evaluación de la reflexión del sonido en campo directo	UNE-EN 1793-5 (*)	$DL_{RI} \geq 7$ dB
4. Índice de aislamiento acústico en poste en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, P} \geq 32$ dB
5. Índice de aislamiento acústico en elemento en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, E} \geq 34$ dB
Características no acústicas:		
6. Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (***)	UNE-EN 1794-1 ANEXO A (**)	180 kg/m ²
7. Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5 (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A (**)	270 kg/m ²
Características no acústicas:		
8. Peso propio	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	> 20 kg/m ²
9. Peso mojado	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
10. Peso mojado reducido	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
11. Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	El panel debe resistir el peso mojado de los elementos acústicos de la pantalla acústica más alta

Continuación		
Paneles acústicos metálicos absorbentes por una cara		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
12. Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-ANEXO B (**)	Carga de diseño de 150 kg/m ² y carga estática vertical correspondiente al peso mojado de los paneles acústicos de una pantalla de 6 m de altura
13. Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras	UNE-EN 1794-1, ANEXO C	Satisfactorio
14. Carga normal (90°) debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO E	15 kN/2x2 (carga de ensayo de 22,5 kN/2x2)
15. Resistencia a cargas dinámicas: Riesgo de caída de trozos desprendidos (***)	UNE-EN 1794-2, ANEXO B	Clase 2
16. Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2, ANEXO D	Clase 2
17. Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza	UNE-EN 1794-2, ANEXO A	Clase 3
18. Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas: durabilidad	UNE-EN 14389	Durabilidad en años para cada clase de exposición

(*) Los ensayos a realizar y los correspondientes informes a presentar serán en campo difuso o en campo directo en función de la ubicación de las pantallas conforme a lo indicado en el anexo IV de este documento. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo difuso se presentarán los informes de los ensayos 1 y 2. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo directo se presentarán los informes de los ensayos 3, 4 y 5. Los informes de ensayo deben incluir explícitamente, mediante fotografías y texto escrito, el sistema de sellado realizado en el laboratorio entre el panel y el poste y entre paneles si los hubiere. Dichos sistemas de sellado se han de reproducir igual cuando las pantallas se instalen en la obra.

(**) En el caso de que los paneles acústicos tengan en su composición algún tipo de adhesivo de unión entre sus componentes, el ensayo de carga de viento deberá realizarse después de realizar un ensayo de envejecimiento con al menos 10 ciclos de humedad-sequedad de los paneles para garantizar la funcionalidad del adhesivo a lo largo de la vida útil del panel. Los paneles a ensayar deberán pesarse en seco y posteriormente sumergirse completamente en agua durante 24 h, luego deben sacarse y dejarles drenar, en su misma posición de empleo. Posteriormente se procederá a su pesado hasta que el panel vuelva a su peso seco con una tolerancia del 5 % de sobre su peso seco inicial antes de volver a sumergirse y repetir así el proceso hasta completar 10 ciclos. Una vez completados esos paneles serán los que se usen para realizar los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15.

(***) En los informes de los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15 y en la DoP se debe indicar explícitamente la longitud de los elementos acústicos ensayados.

Tabla 14: Requisitos mínimos para las pantallas acústicas metálicas absorbentes por ambas caras.

Paneles acústicos metálicos absorbentes por ambas caras		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características acústicas:		
Para pantallas instaladas en campo difuso:		
1. Índice de absorción en campo difuso	UNE-EN 1793-1 (*)	$DL_a \geq 11$ dB
2. Índice de aislamiento en campo difuso	UNE-EN 1793-2 (*)	$DL_R \geq 22$ dB
Para pantallas instaladas en campo directo:		
3. Índice de evaluación de la reflexión del sonido en campo directo	UNE-EN 1793-5 (*)	$DL_{RI} \geq 7$ dB
4. Índice de aislamiento acústico en poste en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, P} \geq 28$ dB
5. Índice de aislamiento acústico en elemento en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, E} \geq 31$ dB
Características no acústicas:		
6. Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A (**)	180 kg/m ²
7. Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5 (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A (**)	270 kg/m ²
8. Peso propio	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	> 20 kg/m ²
9. Peso mojado	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
Características no acústicas:		
10. Peso mojado reducido	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
11. Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	El panel debe resistir el peso mojado de los elementos acústicos de la pantalla acústica más alta
12. Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B (**)	Carga de diseño de 150 kg/m ² y carga estática vertical correspondiente al peso mojado de los paneles acústicos de una pantalla de 6 m de altura
13. Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras	UNE-EN 1794-1, ANEXO C	Satisfactorio

Continuación		
Paneles acústicos metálicos absorbentes por ambas caras		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
14. Carga normal (90°) debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO E	15 kN/2x2 (carga de ensayo de 22,5 kN/2x2)
15. Resistencia a cargas dinámicas: riesgo de caída de trozos desprendidos (***)	UNE-EN 1794-2, ANEXO B	Clase 2
16. Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2, ANEXO D	Clase 2
17. Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza	UNE-EN 1794-2, ANEXO A	Clase 3
18. Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas: durabilidad	UNE-EN 14389	Durabilidad en años para cada clase de exposición

(*) Los ensayos a realizar y los correspondientes informes a presentar serán en campo difuso o en campo directo en función de la ubicación de las pantallas conforme a lo indicado en el anexo IV de este documento. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo difuso se presentarán los informes de los ensayos 1 y 2. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo directo se presentarán los informes de los ensayos 3, 4 y 5. Los informes de ensayo deben incluir explícitamente, mediante fotografías y texto escrito, el sistema de sellado realizado en el laboratorio entre el panel y el poste y entre paneles si los hubiere. Dichos sistemas de sellado se han de reproducir igual cuando las pantallas se instalen en la obra.

(**) En el caso de que los paneles acústicos tengan en su composición algún tipo de adhesivo de unión entre sus componentes, el ensayo de carga de viento deberá realizarse después de realizar un ensayo de envejecimiento con al menos 10 ciclos de humedad-sequedad de los paneles para garantizar la funcionalidad del adhesivo a lo largo de la vida útil del panel. Los paneles a ensayar deberán pesarse en seco y posteriormente sumergirse completamente en agua durante 24 h, luego deben sacarse y dejarles drenar, en su misma posición de empleo. Posteriormente se procederá a su pesado hasta que el panel vuelva a su peso seco con una tolerancia del 5 % de sobre su peso seco inicial antes de volver a sumergirse y repetir así el proceso hasta completar 10 ciclos. Una vez completados esos paneles serán los que se usen para realizar los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15.

(***) En los informes de los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15 y en la DoP se debe indicar explícitamente la longitud de los elementos acústicos ensayados.

Todos los ensayos arriba indicados deben realizarse con el mismo modelo de panel, con los mismos componentes, espesores y densidades de los materiales que constituyen el panel y con el mismo tipo de sellado entre paneles y entre paneles y postes. De forma que, por ejemplo, si los ensayos acústicos 3, 4, y 5, se han realizado colocando una tapa de cierre con extensor (ver punto 4.3) entre el panel acústico y el poste de soporte, el ensayo de carga de viento 6 y 7, se tiene que realizar con la misma tapa de cierre con extensor entre el panel y el poste de soporte.

De manera excepcional, se podrá justificadamente solicitar autorización a los servicios centrales de la Dirección General de Carreteras el empleo de materiales con especificaciones distintas de las indicadas en estas tablas.

5.2. Pantallas acústicas de hormigón

Los paneles de hormigón que se utilizan como pantallas acústicas generalmente consisten en una capa de carga de hormigón armado, combinada con una capa de material poroso.

La capa portante, con un espesor mínimo de 8 cm y clase $f_{ck} \geq 30$ N/mm², asegura las propiedades aislantes del panel, mientras que la capa porosa asegura las propiedades fonoabsorbentes gracias a su geometría y al material del que puede estar hecho (gránulos de arcilla expandida o lapilli volcánico, mezcla de cemento y fibra de madera mineralizada, granza de neumático reciclado, etc).

Las dos capas se combinan normalmente en la fase de hormigonado con la técnica de húmedo sobre húmedo que, si se realiza con tiempos de hormigonado cortos, asegura la homogeneidad del panel, para garantizar el endurecimiento simultáneo durante el fenómeno del fraguado.

Alternativamente, se prevé la producción de módulos fonoabsorbentes en material poroso aligerado (gránulos de arcilla expandida o lapillus volcánico o mezcla de cemento y fibra de madera mineralizada), con la fabricación de bloques prefabricados, aplicados posteriormente a la capa de hormigón armado en la fase de hormigonado, o mediante anclajes mecánicos.

5.2.1. Geometría y componentes

La geometría de la pantalla acústica debe definirse detalladamente en el proyecto constructivo, estableciéndose su altura y longitud a lo largo de cada tramo a construir, según resulte del correspondiente estudio acústico.

Las pantallas acústicas de hormigón estarán compuestas por paneles modulares dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte. Los paneles de hormigón susceptibles de uso pueden ser absorbentes o reflectantes.

Los paneles absorbentes desempeñan dos funciones: una primera función de aislamiento acústico y una segunda de absorción acústica.

La primera función se consigue mediante un montaje entre postes con un adecuado sellado de juntas en la zona de contacto poste-panel, entre paneles y en la base de panel, de forma que se asegure la ausencia de fugas acústicas.

La segunda función se consigue mediante el empleo de un recubrimiento de material absorbente, perfectamente adherido al panel estructural. La geometría externa de la capa fonoabsorbente influye en gran medida en las propiedades absorbentes del conjunto.

Los paneles reflectantes desempeñan únicamente una función de aislamiento acústico, no siendo exigible el cumplimiento de requisitos de absorción/reflexión acústica. Estos paneles no precisan de capa fonoabsorbente.

El diseño y características geométricas de los paneles modulares pueden variar en función del fabricante, siendo habituales, para paneles de hormigón armado, espesores de la capa estructural comprendidos entre 80 mm y 120 mm, alturas de panel de entre 500 mm y 2500 mm y longitudes de hasta 6000 mm en función de la interdistancia entre postes de la estructura soporte. El cálculo estructural de dichos elementos para ambientes moderadamente agresivos y 50 años de vida útil mecánica marca el empleo de espesores mínimos de 120 mm en pantallas de 6000 mm de interdistancia entre postes, 100 mm en pantallas de hasta 5000 mm de interdistancia entre postes y 80 mm en pantallas de hasta 4000 de interdistancia entre postes. Cuando se empleen hormigones reforzados con fibras (de vidrio, polipropileno, acero, etc.), esos espesores pueden reducirse. Ambientes agresivos o especificaciones de acciones superiores a lo habitual pueden requerir de un incremento del espesor de la capa estructural y/o variación en armado, que siempre ha de venir validado mediante cálculo, en cumplimiento de las especificaciones del Código Estructural.

Las soluciones constructivas del armazón o estructura soporte, deberán permitir en caso de accidente, la fácil reparación del tramo afectado.

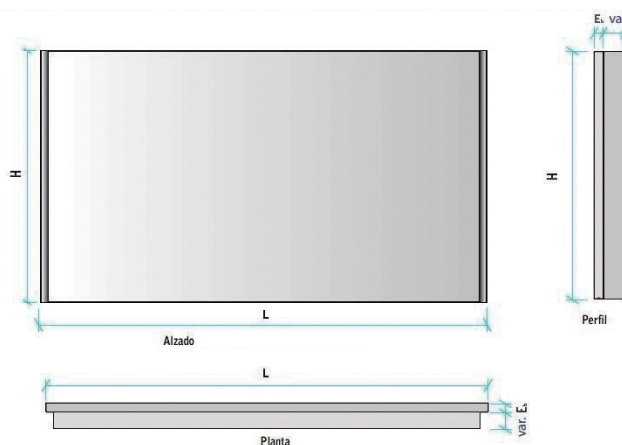


Figura 12: Esquema de una pantalla acústica reflectante.

5.2.1.1. Componentes y materiales para la realización de las pantallas acústicas modulares de hormigón

Las pantallas acústicas estarán generalmente constituidas por paneles modulares dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte.

Tanto los paneles como la estructura soporte deberán haberse dimensionado, al menos, con arreglo a lo estipulado en las normas UNE-EN que resulten de aplicación y sin perjuicio de mayores exigencias requeridas en cualquier otra norma que resulte aplicable.

- **Componentes y materiales para los paneles modulares de hormigón reflectantes**

Los paneles modulares tienen la función de aportar un adecuado aislamiento acústico. Cada panel tendrá unas dimensiones totales, de forma que permita su fácil montaje y desmontaje en los perfiles soporte y estará constituido por los siguientes elementos y materiales:

- Placa de hormigón estructural y de aislamiento. Suele tratarse de una monocapa realizada con hormigón tipo HA-30 o HP-30. Cumplirá con lo dispuesto en el Código Estructural.

- **Componentes y materiales para los paneles modulares de hormigón absorbentes**

Los paneles modulares tienen la doble función de aislamiento y absorción acústica. Cada panel tendrá unas dimensiones totales, de forma que permita su fácil montaje y desmontaje en los perfiles soporte y estará constituido por los siguientes elementos y materiales:

- Placa de hormigón estructural y de aislamiento: deberá ser realizada con hormigón tipo HA-30 o HP-30. Cumplirá con el Código Estructural. También son aceptables solución de hormigón reforzado con fibras de acero, fibra de vidrio, materiales poliméricos, etc.
- Placa de hormigón poroso absorbente: deberá ser realizada con hormigón poroso de forma que el espesor, relieve y tamaño de los huecos permita garantizar sus prestaciones acústicas y que éstas se mantendrán durante toda la vida útil prevista para las pantallas acústicas. La resistencia característica a compresión a 28 días ($f_{ck,28}$), medida en probeta cilíndrica deberá ser igual o superior a 1,25 MPa.

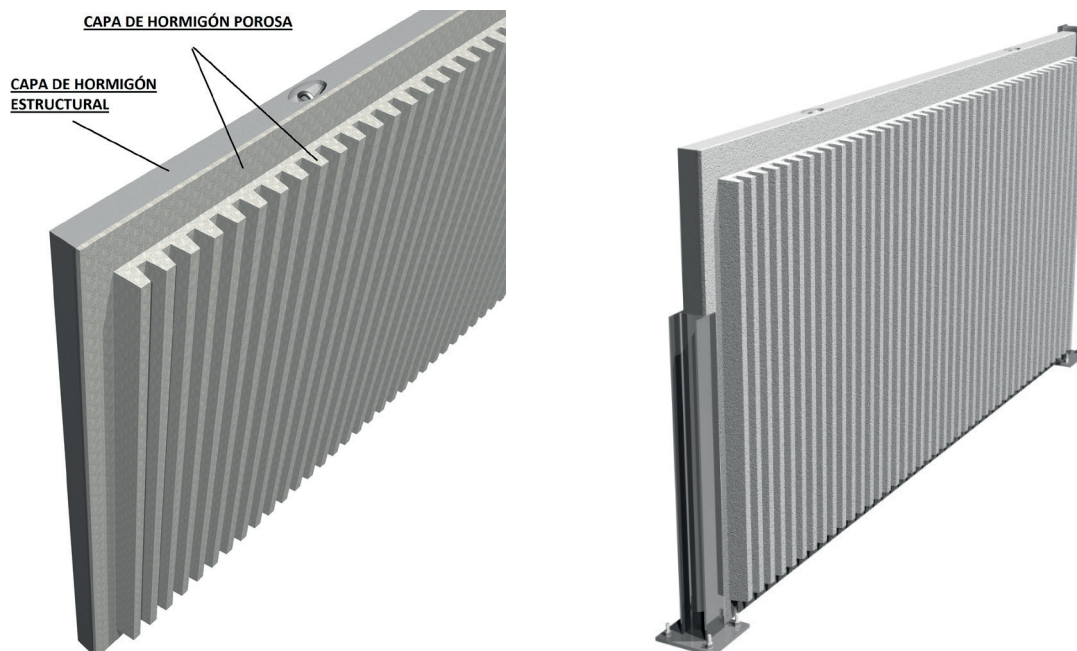


Figura 13: Detalles de pantalla de hormigón poroso absorbente.

La capa de hormigón absorbente deberá ocupar la práctica totalidad de la superficie del panel que quede expuesta al tráfico, de forma que la zona absorbente quede distribuida de forma homogénea.



Figura 14: Vista de un panel de hormigón poroso absorbente.

La coloración de la capa fonoabsorbente, cuando esté prevista en el proyecto, deberá realizarse preferentemente con pigmentación en la mezcla y no mediante pintura superficial; si se va a utilizar esta segunda técnica, se debe asegurar en cualquier caso, que las propiedades acústicas del producto (índice de reflexión acústica) permanezcan inalteradas.

En las pantallas fonoabsorbentes por ambas caras, la capa de hormigón poroso se aplica en las dos caras de la capa estructural de hormigón armado. El hormigón poroso no podrá ir armado y deberá garantizarse su estabilidad y cohesión durante toda la vida útil de la pantalla.

Para la ejecución de la capa absorbente de hormigón poroso se pueden usar diferentes tipos de materiales granulares (áridos de diferente tamaño, virutas o astillas de madera, granza de reciclado de neumáticos, etc.), ya sea solos o combinados, lo que permite obtener diferentes grados de absorción acústica.

Además de los tipos de paneles descritos anteriormente, también se permite el uso de soluciones que prevean el uso de paneles de hormigón, con pleno cumplimiento de los requisitos de rendimiento y durabilidad indicados en la tabla 14, que pueden realizarse con variantes, en el método de construcción o por el tipo de material, que se enumeran a continuación:

- Sustitución del soporte portante de hormigón armado por envolvente metálica dotada de adecuada protección anticorrosiva.
- También son aceptables soluciones en las que el material absorbente sea lana de roca insertada en el núcleo de la placa de hormigón estructural con aberturas que permitan la llegada del ruido a la lana de roca o fibra de poliéster, estando esta debidamente protegida por otra capa de hormigón con huecos, por chapa de acero o aluminio perforada o mallas metálicas.
- Paneles estructurales de hormigón ligero, cuyo refuerzo interior está realizado con una malla metálica adecuada protegida contra la corrosión.
- Paneles autoportantes de hormigón celular aireado, incluido el refuerzo tratado contra la corrosión.

Tabla 15: Propiedades de los principales elementos en material poroso presentes en los paneles de hormigón.

Material	Requerimientos adicionales	Estándar de referencia
Fibras de madera mineralizadas madera y cemento	Densidad mínima: 500 kg/m ³ Requisitos relacionados con la naturaleza del material inorgánico Resistencia a la acción de la lluvia y las heladas	UNE-EN 14774 EN 15498
Arcilla expandida en gránulos	Requisitos del conglomerado de arcilla expandida de tipo no estructural (conglomerado de hormigón de tipo no estructural)	UNE-EN 13055-1 UNE-EN 7548-2 UNE-EN 12390-1
	Requisitos: elementos fonoabsorbentes vibrocomprimidos de hormigón armado expandido unidos a una estructura portante	UNE-EN 13055-1 UNE-EN 772-13 UNE-EN 12390-1
Inerte natural de puzolana volcánica o piedra pómez	Requisitos para conglomerados de cemento no estructural	UNE-EN 13055-1 UNE-EN 12390-1
	Requisitos para la unión de elementos vibrocomprimidos a una estructura portante de hormigón o metálica	UNE-EN 13055-1 UNE-EN 12390-1

Dado que la principal patología en este tipo de paneles acústicos es el desprendimiento de la capa de material poroso de la capa estructural, se realizará un ensayo que permita verificar la adherencia entre ambas capas que garantice una durabilidad de al menos 25 años. Para ello el fabricante realizará un ensayo de fatiga según la UNE-EN 16727-2-1 procedimiento C, con la aplicación de 2 millones de ciclos con una carga de aplicación de al menos 200 kg/m² en la fase de flexión y otros 2 millones de ciclos en la fase de torsión sobre un panel de dimensiones 4000 x 1000 mm. El giro para simular la torsión será de 5 cm/m en ambos sentidos (total 10 cm). El panel deberá sujetarse a los postes de soporte de la misma forma que se vaya a hacer en la obra.

5.2.2. Requisitos mínimos exigibles para las pantallas acústicas de hormigón

Tabla 16: Requisitos mínimos para las pantallas acústicas de hormigón.

Paneles acústicos de hormigón absorbentes por una o por las dos caras		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características acústicas:		
Para pantallas instaladas en campo difuso:		
1. Índice de absorción en campo difuso	UNE-EN 1793-1 (*)	$DL_{\alpha} \geq 8 \text{ dB}$
2. Índice de aislamiento en campo difuso	UNE-EN 1793-2 (*)	$DL_R \geq 30 \text{ dB}$
Para pantallas instaladas en campo directo:		
3. Índice de evaluación de la reflexión del sonido en campo directo	UNE-EN 1793-5 (*)	$DL_{RI} \geq 6 \text{ dB}$
4. Índice de aislamiento acústico en poste en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, P} \geq 50 \text{ dB}$
5. Índice de aislamiento acústico en elemento en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, E} \geq 55 \text{ dB}$
Características no acústicas:		
6. Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A	180 kg/m ²
7. Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5 (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A	270 kg/m ²
8. Peso propio	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
9. Peso mojado	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
10. Peso mojado reducido	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
11. Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	El panel debe resistir el peso mojado de los elementos acústicos de la pantalla acústica más alta
12. Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico puede soportar (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Carga de diseño de 150 kN/m ² y y carga estática vertical correspondiente al peso mojado de los paneles acústicos de una pantalla de 6 m de altura

Continuación		
Paneles acústicos de hormigón absorbentes por una o por las dos caras		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
13. Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras	UNE-EN 1794-1, ANEXO C	Satisfactorio
14. Carga normal (90°) debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico puede soportar (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO E	15 kN/2x2 (carga de ensayo de 22,5 kN/2x2)
15. Resistencia a cargas dinámicas: riesgo de caída de trozos desprendidos (**)	UNE-EN 1794-2, ANEXO B	Clase 3
16. Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2, ANEXO D	Clase 2
17. Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza	UNE-EN 1794-2, ANEXO A	Clase 3
18. Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas: durabilidad	UNE-EN 14389	Durabilidad en años para cada clase de exposición

(*) Los ensayos a realizar y los correspondientes informes a presentar serán en campo difuso o en campo directo en función de la ubicación de las pantallas conforme a lo indicado en el anexo IV de este documento. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo difuso se presentarán los informes de los ensayos 1 y 2. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo directo se presentarán los informes de los ensayos 3, 4 y 5. Los informes de ensayo deben incluir explícitamente, mediante fotografías y texto escrito, el sistema de sellado realizado en el laboratorio entre el panel y el poste y entre paneles si los hubiere. Dichos sistemas de sellado se han de reproducir igual cuando las pantallas se instalen en la obra.

(**) En el caso de que los paneles acústicos tengan en su composición algún tipo de adhesivo de unión entre sus componentes, el ensayo de carga de viento deberá realizarse después de realizar un ensayo de envejecimiento con al menos 10 ciclos de humedad-sequedad de los paneles para garantizar la funcionalidad del adhesivo a lo largo de la vida útil del panel. Los paneles a ensayar deberán pesarse en seco y posteriormente sumergirse completamente en agua durante 24 h, luego deben sacarse y dejarles drenar, en su misma posición de empleo. Posteriormente se procederá a su pesado hasta que el panel vuelva a su peso seco con una tolerancia del 5 % de sobre su peso seco inicial antes de volver a sumergirse y repetir así el proceso hasta completar 10 ciclos. Una vez completados esos paneles serán los que se usen para realizar los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15.

Todos los ensayos arriba indicados deben realizarse con el mismo modelo de panel, con los mismos componentes, espesores y densidades de los materiales que constituyen el panel y con el mismo tipo de sellado entre paneles y entre paneles y postes. De forma que, por ejemplo, si los ensayos acústicos 3, 4, y 5, se han realizado colocando una tapa de cierre con extensor (ver punto 4.3) entre el panel acústico y el poste de soporte, el ensayo de carga de viento 6 y 7, se tiene que realizar con la misma tapa de cierre con extensor entre el panel y el poste de soporte.

De manera excepcional, se podrá justificadamente solicitar autorización a los servicios centrales de la Dirección General de Carreteras el empleo de materiales con especificaciones distintas de las indicadas en esta tabla.

5.3. Pantallas acústicas de madera

Los paneles de madera utilizados como pantallas acústicas se componen generalmente de un marco en forma de caja (de madera laminada, madera “dura”, etc.), en el interior del cual se inserta una capa fonoabsorbente, de material fibroso, protegida por una malla antipolvo, generalmente de polietileno.

5.3.1. Geometría y componentes

La geometría de la pantalla acústica debe definirse detalladamente en el proyecto constructivo, estableciéndose su altura y longitud a lo largo de cada tramo a construir, según resulte del correspondiente estudio acústico.

Las pantallas acústicas de madera estarán compuestas por paneles modulares plásticos dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte. El diseño y características geométricas de los paneles modulares pueden variar según sea el fabricante, siendo habituales espesores comprendidos entre 50 mm y 150 mm, alturas de panel de entre 500 mm y 2000 mm y longitudes de hasta 5000 mm en función de la interdistancia entre postes de la estructura soporte.

Resulta recomendable siempre que sea posible, por razones de coste, fijar una distancia entre postes soporte de 4000 o 5000 mm. Las separaciones menores entre postes se deben reservar para los casos en que las condiciones de resistencia a cargas y de diseño de los anclajes y cimentaciones, así lo requieran.

Las soluciones constructivas del armazón o estructura soporte, deberán permitir en caso de avería la fácil reparación del tramo afectado.



Figura 15: Vista general de una pantalla acústica de madera.

5.3.1.1. Componentes y materiales para la realización de las pantallas acústicas modulares de madera

Las pantallas acústicas estarán generalmente constituidas por paneles modulares dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte.

Tanto los paneles como la estructura soporte deberán haberse dimensionado, al menos, con arreglo a lo estipulado en las normas UNE-EN que resulten de aplicación y sin perjuicio de mayores exigencias requeridas en cualquier otra norma que resulte aplicable.

- **Componentes y materiales para los paneles modulares de madera**

Los paneles modulares tienen la doble función de aislamiento y absorción acústica.

Cada panel tendrá unas dimensiones totales, de forma que permita su fácil montaje y desmontaje en los perfiles soporte y estará compuesto por:

Estructura de madera:

- Una pared trasera de lamas machihembradas de al menos 20 mm de espesor y 550 kg/m³ y una estructura interior de rastreles de madera de 50 x 50 mm.
- Lana de roca de 50 mm y 100 kg/m³.
- Lamas horizontales, inclinadas o verticales de madera de 21 mm x 95 mm de sección y 700 kg/m³, con una separación entre ellas que permita conseguir los parámetros de absorción indicados posteriormente.
- La madera para la fabricación de los paneles acústicos se obtiene a partir de madera de pino tratada a nivel “4” en autoclave, al vacío y por inyección.

La tabla siguiente muestra los métodos de ensayo y los valores de aceptación para elementos acústicos fabricados en madera.

Tabla 17: Propiedades de los elementos acústicos en madera.

Característica	Método de ensayo	Valor de referencia
Aspecto de los elementos de madera	UNE-EN 56544 UNE-EN 338 UNE-EN 1912	Clase visual ME2 Clase resistente C18
Durabilidad de la madera maciza (clases de uso, riesgo de ataque biológico y guía de requisitos de durabilidad en clases de riesgo)	UNE-EN 335-1 UNE-EN 335-2 UNE-EN 335-3 UNE-EN 460	Clase de uso 4 La madera está en contacto directo con el suelo o con el agua dulce, expuesto a humidificación permanente, con valores de humedad superiores al 20 % durante largos periodos de tiempo (postes clavados en la tierra, cimentaciones de madera...)
Durabilidad de la madera maciza (principios de ensayo y tratamiento de especies importadas en Europa)	UNE-EN 350-1 UNE-EN 350-2	Mínimo nivel 2 IMPREGNABILIDAD en la Albura Mínimo nivel 3-4 DURABILIDAD
Clase de impregnación: productos de impregnación	UNE-EN 599	Libres de arsénico y cromo ¹
Clasificación de retención y penetración de conservantes	UNE-EN 351-1	NP5. Penetración total en la albura

¹ La madera impregnada debe haber sido tratada con las denominadas sales conservantes inorgánicas indilavables “ecológicas”, es decir, libres de arsénico y cromo, en autoclave presurizado.

Los citados paneles se pueden fabricar tanto en madera de conífera (“blanda”), pino, alerce, etc., como en madera “dura” de especies frondosas), roble, etc.; en particular, en el caso de utilizar tableros de madera “dura”, entre las diversas especies, se dará preferencia a las de origen europeo procedente de bosques certificados, para lo que se exigen las siguientes características mínimas:

- Peso específico en estado húmedo: alrededor de 1010 kg/m³, después del curado: unos 700 kg/m³.
- Densidad: valores medios al 12 % de humedad 670-710-760 kg/m³ (y, en cualquier caso, mayor 550 kg/m³).
- Resistencia a la compresión axial: 1122 kg/cm².

También cabe señalar que los elementos de madera que se suministrarán deberán ir acompañados de certificados que acrediten el origen del material, el tipo de madera utilizada y la certificación ambiental de reforestación, del tipo FSC (*Forest Stewardship Council*), PEFC o similar.

La fijación de los elementos de madera debe realizarse exclusivamente con tornillos de acero inoxidable certificados (A2); además, para proteger los paneles, debe preverse en su parte superior una cumbrera de material adecuado.

Placa de material absorbente:

Se usará lana de roca utilizable en condiciones de saturación de humedad, resistente a radiación UV, de densidad igual o superior a 100 kg/m^3 y espesor mínimo 50 mm, con un velo de fibra de vidrio compactado y neoprenado.

Podrá admitirse con autorización de la dirección facultativa cualquier otro material absorbente especificado por el fabricante, siempre que se establezca una garantía que cubra su estabilidad y funcionalidad por un período mínimo de 15 años.

Malla de protección de la lana de roca:

Malla de polipropileno de 1,2 mm de espesor y 50 kg/m^3 . Podrá admitirse con autorización de la dirección facultativa cualquier otro material resistente a radiación UV.

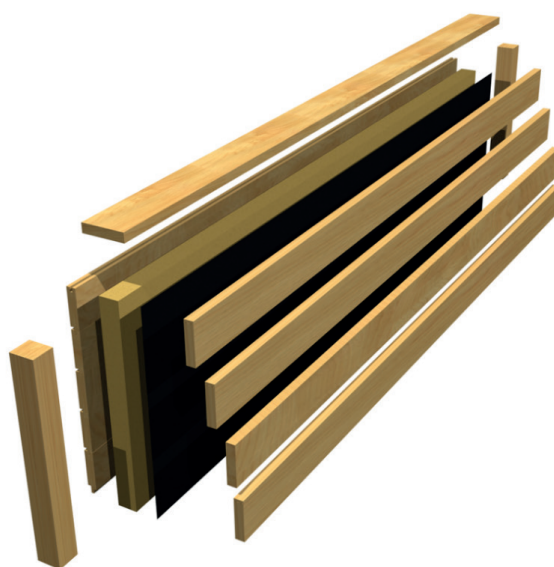


Figura 16: Detalle de una pantalla acústica de madera.

5.3.2. Requisitos mínimos exigibles para las pantallas acústicas de madera

Tabla 18: Requisitos mínimos para las pantallas acústicas de madera.

Paneles acústicos de madera		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características acústicas:		
Para pantallas instaladas en campo difuso:		
1. Índice de absorción en campo difuso	UNE-EN 1793-1 (*)	$DL_{\alpha} \geq 8 \text{ dB}$
2. Índice de aislamiento en campo difuso	UNE-EN 1793-2 (*)	$DL_R \geq 28 \text{ dB}$
Para pantallas instaladas en campo directo:		
3. Índice de evaluación de la reflexión del sonido en campo directo	UNE-EN 1793-5 (*)	$DL_{RI} \geq 4 \text{ dB}$
4. Índice de aislamiento acústico en poste en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, P} \geq 34 \text{ dB}$
5. Índice de aislamiento acústico en elemento en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, E} \geq 34 \text{ dB}$
Características no acústicas:		
6. Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A	140 kg/m ²
7. Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5 (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A	210 kg/m ²
8. Peso propio	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	>20 kg/m ²
9. Peso mojado	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
10. Peso mojado reducido	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
11. Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	El panel debe resistir el peso mojado de los elementos acústicos de la pantalla acústica más alta

Continuación		
Paneles acústicos de madera		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
12. Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico puede soportar (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Carga de diseño de 140 kg/m ² y carga estática vertical correspondiente al peso mojado de los paneles acústicos de una pantalla de 6 m de altura
13. Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras	UNE-EN 1794-1, ANEXO C	Satisfactorio
14. Carga normal (90°) debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico puede soportar (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO E	9 kN/2x2 (carga de ensayo de 13,5 kN/2x2)
15. Resistencia a cargas dinámicas: Riesgo de caída de trozos desprendidos (**)	UNE-EN 1794-2, ANEXO B	Clase 4
16. Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2, ANEXO D	Clase 2
17. Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza	UNE-EN 1794-2, ANEXO A	Clase 2
18. Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas: durabilidad	UNE-EN 14389	Durabilidad en años para cada clase de exposición

(*) Los ensayos a realizar y los correspondientes informes a presentar serán en campo difuso o en campo directo en función de la ubicación de las pantallas conforme a lo indicado en el anexo IV de este documento. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo difuso se presentarán los informes de los ensayos 1 y 2. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo directo se presentarán los informes de los ensayos 3, 4 y 5. Los informes de ensayo deben incluir explícitamente, mediante fotografías y texto escrito, el sistema de sellado realizado en el laboratorio entre el panel y el poste y entre paneles si los hubiere. Dichos sistemas de sellado se han de reproducir igual cuando las pantallas se instalen en la obra.

(**) En los informes de los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15 se deberá indicar explícitamente la longitud de los elementos acústicos ensayados.

Todos los ensayos arriba indicados deben realizarse con el mismo modelo de panel, con los mismos componentes, espesores y densidades de los materiales que constituyen el panel y con el mismo tipo de sellado entre paneles y entre paneles y postes. De forma que, por ejemplo, si los ensayos acústicos 3, 4, y 5, se han realizado colocando una tapa de cierre con extensor (ver punto 4.3) entre el panel acústico y el poste de soporte, el ensayo de carga de viento 6 y 7, se tiene que realizar con la misma tapa de cierre con extensor entre el panel y el poste de soporte.

De manera excepcional, se podrá justificadamente solicitar autorización a los servicios centrales de la Dirección General de Carreteras el empleo de materiales con especificaciones distintas de las indicadas en esta tabla.

5.4. Pantallas acústicas de PVC

Estos paneles consisten en una estructura en forma de caja de PVC, en cuyo interior se inserta una capa fonoabsorbente de material fibroso. Dicha caja puede ser fabricada por extrusión en una sola pieza o en varias.

Tienen algunas ventajas frente a otras tipologías como son su resistencia a la corrosión, el bajo mantenimiento (revestimiento repelente al agua y la suciedad), tienen una vida útil extremadamente larga, su ligereza ($< 25 \text{ kg/m}^2$) y por tanto la rapidez y sencillez de instalación y una muy buena resistencia química.

Se pueden fabricar con PVC 100 % reciclado y reciclable y los grafitis son fáciles de limpiar sobre este tipo de superficie.

5.4.1. Geometría y componentes

La geometría de la pantalla acústica debe definirse detalladamente en el proyecto constructivo, estableciéndose su altura y longitud a lo largo de cada tramo a construir, según resulte del correspondiente estudio acústico.

Las pantallas acústicas de PVC estarán compuestas por paneles modulares plásticos dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte. El diseño y características geométricas de los paneles modulares pueden variar según sea el fabricante, siendo habituales espesores comprendidos entre 50 mm y 150 mm, alturas de panel de entre 150 mm y 500 mm y longitudes de hasta 5000 mm en función de la distancia entre los postes de soporte.

Resulta recomendable siempre que sea posible, por razones de coste, fijar una distancia entre postes soporte de 4000 o 5000 mm. Las separaciones menores entre postes se deben reservar para los casos en que las condiciones de resistencia a cargas y de diseño de los anclajes y cimentaciones, así lo requieran.

Las soluciones constructivas del armazón o estructura soporte, deberán permitir en caso de avería la fácil reparación del tramo afectado.

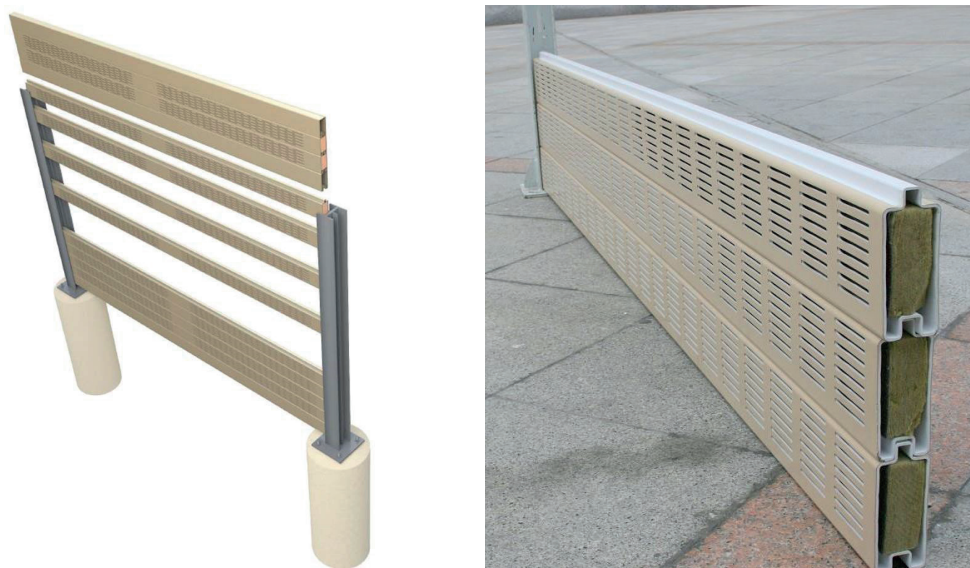


Figura 17: Detalles de pantallas acústicas de PVC.

5.4.1.1. Componentes y materiales para la realización de pantallas acústicas modulares de PVC

Las pantallas acústicas estarán generalmente constituidas por paneles modulares dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte.

Tanto los paneles como la estructura soporte deberán haberse dimensionado, al menos, con arreglo a lo estipulado en las normas UNE-EN que resulten de aplicación y sin perjuicio de mayores exigencias requeridas en cualquier otra norma que resulte aplicable.

- **Componentes y materiales para los paneles modulares metálicos absorbentes por una cara**

La materia prima con la que se fabrica este tipo de panel acústico es resina de PVC que puede ser virgen o procedente de PVC reciclado. Los paneles acústicos de PVC pueden ser fabricados en su totalidad con resina virgen de PVC.

En el caso de utilizar resina de PVC reciclado se fabricará el panel en un proceso de co-extrusión de forma que el PVC reciclado formará el cuerpo del panel acústico y exteriormente tendrá una fina capa de PVC virgen para proteger el PVC reciclado de los rayos UV.

Carcasa y rejilla de protección:

Deberá ser realizada con PVC reciclado o virgen. El material utilizado en estos perfiles exteriores se limita a compuestos rígidos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) en una sola extrusión homogénea o en una coextrusión de dos o más compuestos de PVC en capas distintas. El espesor mínimo de la pared tanto de la carcasa como de la rejilla será de 4 mm.

La parte del panel (carcasa o rejilla) que quede expuesto a la acción de los rayos UV deberá ser siempre realizada con PVC virgen.

En la siguiente tabla, se plantean los métodos de ensayo y valores recomendados para elementos acústicos en material plástico de PVC reciclado.

Tabla 19: Métodos de ensayo y valores recomendados para elementos acústicos en material plástico de PVC reciclado.

Características	Propiedades	Normas	Medidas	Valores
Mecánicas	Densidad	DIN 53479	gr/cm ²	1,44 + 0,02
	Carga a la Rotura	DIN 53455	N/mm ²	> 45
	Alargamiento a la rotura	DIN 53455	%	> 100
	Resistencia a la compresión	DIN 53455	N/mm ²	> 40
	Resistencia a la flexión	DIN 53455	N/mm ²	> 85
	Resistencia al impacto 0 °C	DIN 53453	kJ/m ²	No rompe
	- 20 °C	DIN 53453	kJ/m ²	No rompe
	- 40 °C	DIN 53453	kJ/m ²	No rompe
	Resistencia al impacto con entalla 0 °C	DIN 53453	kJ/m ²	> 7
	23 °C	DIN 53453	kJ/m ²	> 25
	Módulo de elasticidad	DIN 53457	N/mm ²	> 2.500
	Dureza ShoreD	DIN 53457		81 + 3
Térmicas	Punto Vicat (método B)	DIN 53460	°C	83
	Conductividad térmica a 20 °C	DIN 53460	W/m K	Aprox. 0,21
	Tª flexión bajo carga (18,5 kg/cm ²)	DIN 52612	°C	< 40
	Coeficiente lineal de dilatación		cm/cm, °C	0,8x10 ⁻⁵
	Calor específico		kcal/kg K	Aprox. 1,06

Continuación				
Características	Propiedades	Normas	Medidas	Valores
Eléctricas	Volumen de resistividad	DIN 53482	Ohm/cm	$> 10^4$
	Resistencia específica	DIN 53482	Ohm	$> 4 \cdot 10^4$
	Constante dieléctrica a 50 y 300 ciclos			3,4
	Más de 1 millón de ciclos			2,9
	Factor de disipación 80 ciclos	DIN 53483		0,016
	800 a 1 millón de ciclos			0,024
	Rigidez dieléctrica	DIN 53481	kV/m·m	> 30

En la siguiente tabla se muestran los métodos de ensayo y valores recomendados para elementos acústicos en material plástico de PVC virgen:

Tabla 20: Propiedades de los elementos acústicos en material plástico.

Característica	Método de prueba	Valor de referencia
Densidad	ISO 1183-1	Entre 1400 kg/m ³ y 1500 kg/m ³
Resistencia a la tracción	UNE-EN ISO 527-2	Mínimo 35 MPa
Módulo de elasticidad	UNE-EN ISO 527-2	De 1900 N/mm ² a 2400 N/mm ²
Alargamiento en rotura	UNE-EN ISO 527-2	Mínimo 122 %
Temperatura de reblandecimiento Vicat B50 (50 N)	UNE-EN ISO 306	Mínimo 77 °C

Placa de material absorbente:

Se usará lana de roca utilizable en condiciones de saturación de humedad, resistente a radiación UV, de densidad igual o superior a 50 kg/m³ y espesor mínimo 60 mm.

Podrá admitirse con autorización de la dirección facultativa cualquier otro material absorbente especificado por el fabricante, siempre que se establezca una garantía que cubra su estabilidad y funcionalidad por un período mínimo de 15 años.

5.4.2. Requisitos mínimos exigibles a las pantallas acústicas de PVC

Tabla 21: Requisitos mínimos para las pantallas acústicas de PVC.

Paneles acústicos de PVC		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características acústicas:		
Para pantallas instaladas en campo difuso:		
1. Índice de absorción en campo difuso	UNE-EN 1793-1 (*)	$DL_{\alpha} \geq 7$ dB
2. Índice de aislamiento en campo difuso	UNE-EN 1793-2 (*)	$DL_R \geq 28$ dB
Para pantallas instaladas en campo directo:		
3. Índice de evaluación de la reflexión del sonido en campo directo	UNE-EN 1793-5 (*)	$DL_{RI} \geq 4$ dB
4. Índice de aislamiento acústico en poste en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, P} \geq 34$ dB
5. Índice de aislamiento acústico en elemento en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, E} \geq 34$ dB
Características no acústicas:		
6. Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A	100 kg/m ²
7. Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5 (***)	UNE-EN 1794-1 ANEXO A	150 kg/m ²
8. Peso propio	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	>20 kg/m ²
9. Peso mojado	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
10. Peso mojado reducido	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
11. Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	El panel debe resistir el peso mojado de los elementos acústicos de la pantalla acústica más alta
12. Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico puede soportar (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Carga de diseño de 100 kg/m ² y carga estática vertical correspondiente al peso mojado de los paneles acústicos de una pantalla de 6 m de altura

Continuación		
Paneles acústicos de PVC		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características no acústicas:		
13. Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras	UNE-EN 1794-1, ANEXO C	Satisfactorio
14. Carga normal (90°) debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico puede soportar (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO E	6 kN/2x2 (carga de ensayo de 9 kN/2x2)
15. Resistencia a cargas dinámicas: riesgo de caída de trozos desprendidos (**)	UNE-EN 1794-2, ANEXO B	Clase 2
16. Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2, ANEXO D	Clase 2
17. Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza	UNE-EN 1794-2, ANEXO A	Clase 2
18. Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas: durabilidad	UNE-EN 14389	Durabilidad en años para cada clase de exposición

(*) Los ensayos a realizar y los correspondientes informes a presentar serán en campo difuso o en campo directo en función de la ubicación de las pantallas conforme a lo indicado en el anexo IV de este documento. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo difuso se presentarán los informes de los ensayos 1 y 2. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo directo se presentarán los informes de los ensayos 3, 4 y 5. Los informes de ensayo deben incluir explícitamente, mediante fotografías y texto escrito, el sistema de sellado realizado en el laboratorio entre el panel y el poste y entre paneles si los hubiere. Dichos sistemas de sellado se han de reproducir igual cuando las pantallas se instalen en la obra.

(**) En el caso de que los paneles acústicos tengan en su composición algún tipo de adhesivo de unión entre sus componentes, el ensayo de carga de viento deberá realizarse después de realizar un ensayo de envejecimiento con al menos 10 ciclos de humedad-sequedad de los paneles para garantizar la funcionalidad del adhesivo a lo largo de la vida útil del panel. Los paneles a ensayar deberán pesarse en seco y posteriormente sumergirse completamente en agua durante 24 h, luego deben sacarse y dejarles drenar, en su misma posición de empleo. Posteriormente se procederá a su pesado hasta que el panel vuelva a su peso seco con una tolerancia del 5 % de sobre su peso seco inicial antes de volver a sumergirse y repetir así el proceso hasta completar 10 ciclos. Una vez completados esos paneles serán los que se usen para realizar los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15.

Todos los ensayos arriba indicados deben realizarse con el mismo modelo de panel, con los mismos componentes, espesores y densidades de los materiales que constituyen el panel y con el mismo tipo de sellado entre paneles y entre paneles y postes. De forma que, por ejemplo, si los ensayos acústicos 3, 4, y 5, se han realizado colocando una tapa de cierre con extensor (ver punto 4.3) entre el panel acústico y el poste de soporte, el ensayo de carga de viento 6 y 7, se tiene que realizar con la misma tapa de cierre con extensor entre el panel y el poste de soporte.

De manera excepcional, se podrá justificadamente solicitar autorización a los servicios centrales de la Dirección General de Carreteras el empleo de materiales con especificaciones distintas de las indicadas en esta tabla.

5.5. Pantallas acústicas de polimetilmetacrilato (PMMA) o policarbonato con protección UV

Este tipo de panel está formado por una placa de material traslúcido o transparente generalmente enmarcado con perfiles metálicos que aportan rigidez al panel acústico. Entre el enmarcado metálico y la placa se colocan juntas EPDM para evitar que el enmarcado metálico dañe la placa acrílica, facilitando las dilataciones/contracciones diferenciales entre el enmarcado y la placa.

5.5.1. Geometría y componentes

La geometría de la pantalla acústica debe definirse detalladamente en el proyecto constructivo, estableciéndose su altura y longitud a lo largo de cada tramo a construir, según resulte del correspondiente estudio acústico.

Las pantallas acústicas poliméricas estarán compuestas por paneles modulares dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte.

Los paneles modulares poliméricos podrán emplearse en diversas concepciones arquitectónicas de la pantalla acústica, ya sea como elementos únicos o en soluciones mixtas en combinación con cualquier otro tipo de paneles opacos absorbentes o reflectantes de tipo metálico, de hormigón, de PVC, etc. Cada panel deberá tener unas dimensiones totales, de forma que permita su fácil montaje y desmontaje en los perfiles soporte y las soluciones constructivas del armazón deberán permitir en caso de avería la fácil reparación del tramo afectado.

Los paneles modulares poliméricos tienen la función de asegurar un adecuado aislamiento a ruido aéreo y son de tipo reflectante, por lo que su empleo será admisible en aquellos casos en que no sea exigible un determinado valor del coeficiente de absorción acústica o que el proyecto defina una geometría de la pantalla que evite los efectos no deseados de las reflexiones acústicas.

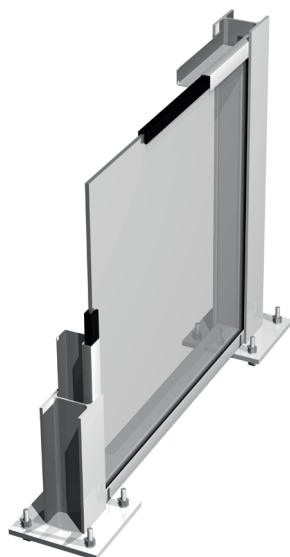


Figura 18: Detalles de una pantalla acústica de PMMA reflectante.

5.5.1.1. Componentes y materiales para la realización de las pantallas acústicas modulares poliméricas

Las pantallas acústicas poliméricas estarán generalmente constituidas por paneles modulares dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte.

Tanto los paneles como la estructura soporte deberán haberse dimensionado, al menos, con arreglo a lo estipulado en las normas UNE-EN que resulten de aplicación y sin perjuicio de mayores exigencias requeridas en cualquier otra norma que resulte aplicable.

- **Componentes y materiales para los paneles modulares poliméricos**

Los paneles modulares estarán constituidos por planchas de material polimérico, generalmente polimetacrilato PMMA o policarbonato, con diferente grado de transparencia, según se requiera y con un marco soporte o perfilería auxiliar, para ajuste y fijación a la estructura soporte, ajustados mediante juntas de goma EPDM.

Los paneles para pantallas acústicas pueden ser incoloros con un alto grado de transparencia o coloreados. En cualquier caso, debido al riesgo que puede suponer un elevado grado de transparencia para la fauna y especialmente las aves, se deben implementar sistemas adecuados que les alerten de la presencia de un obstáculo.

En general, los paneles modulares poliméricos estarán compuestos por:

- Placa polimérica transparente: deberá ser realizada con polimetacrilato PMMA o policarbonato, de espesor adecuado para garantizar el aislamiento acústico requerido (con un mínimo de 15 mm) y asumir las sollicitaciones mecánicas previstas.
- Perfiles de refuerzo y fijación: pueden ser perfiles angulares o marcos a base de perfiles o chapa perfilada. Incorporarán las adecuadas juntas EPDM para la correcta instalación de las placas poliméricas transparentes en los perfiles soporte de la estructura, permitiendo asumir sin riesgo de rotura, deformación o fuga acústica, las dilataciones térmicas de los materiales transparentes.

Los sistemas para instalar las placas poliméricas en la estructura soporte pueden ser muy diversos, los más habituales son:

- Perfiles angulares en “L” normalizados atornillados al alma de los postes de la estructura soporte, de acero laminado para construcción, de al menos calidad tipo S-275. Deberán ser galvanizados en caliente con una aportación mínima de zinc, determinada según la norma UNE-EN ISO 1461, de 300 gr/m².

Podrá aplicarse, con autorización de la dirección facultativa, cualquier otro tipo de protección anticorrosión siempre que se establezca una garantía que cubra cualquier deterioro que sufran las superficies expuestas por corrosión, superior al 2 % de dichas superficies expuestas.

Para fijar la placa polimérica entre el perfil angular y el ala del perfil estructural, se debe disponer una junta de goma EPDM adecuada que resulte inocua para el polímero de la placa y asegure la estanquidad acústica del conjunto.

- Marco perimetral que soporta la placa polimérica constituyendo un panel que se desliza entre las alas de los perfiles normalizados de la estructura soporte. El marco soporte perimetral puede realizarse con:
- Perfiles de chapa plegada de acero para construcción no aleado laminado en frío, con espesor mínimo de 2 mm, galvanizado continuo en caliente y la masa de zinc depositada en el revestimiento será de 600 gr/m² considerando ambas caras, correspondiente a la calidad tipo Z-600 según la norma UNE-EN 10346. Podrá emplearse con autorización de la dirección facultativa cualquier otro tipo de masa

de revestimiento, siempre que sea como mínimo de 275 gr/m² por ambas caras, correspondiente a la calidad tipo Z-275 según la norma UNE-EN 10346, si se establece una garantía que cubra cualquier deterioro que sufran las superficies expuestas por corrosión, superior al 2 % de dichas superficies expuestas, durante un período mínimo de 15 años. Los perfiles del marco perimetral irán pintados y la pintura a utilizar será un producto que pueda aplicarse directamente sobre superficies galvanizadas, con buena adherencia sobre dicho tipo de superficies. El color de la pintura será especificado por el proyectista o la dirección facultativa en base a la carta de colores RAL y el revestimiento de pintura deberá haberse aplicado imperativamente una vez mecanizadas y conformadas las diferentes piezas metálicas.

- Perfiles de extrusión de aleación de aluminio endurecido o con chapa plegada de aleación de aluminio endurecido tipo AL 3105 o similar, y acabado pintado o anodizado.

Para la realización de los marcos perimetrales, podrá aplicarse, con autorización de la dirección facultativa cualquier otro tipo de protección anticorrosión siempre que se establezca una garantía que cubra cualquier deterioro que sufran las superficies expuestas por corrosión, superior al 2 % de dichas superficies expuestas.

Para fijar la placa polimérica en el marco soporte perimetral, se debe disponer una junta de goma EPDM adecuada que resulte inocua para el polímero de la placa y asegure la estanquidad acústica del conjunto.

5.5.1.2. Características en el caso de emplear placas en polimetilmetacrilato (PMMA)

Las láminas de polimetilmetacrilato (PMMA) a utilizar como pantallas acústicas pueden ser fundidas o extrusionadas. El material utilizado para las láminas de PMMA debe cumplir con la norma UNE-EN ISO 7823-1 (si es de tipo fundido), o con la norma UNE-EN ISO 7823-2 (si es de tipo extruido).

El espesor de las láminas de PMMA no debe ser inferior a 15 mm.

La siguiente tabla 22 muestra los métodos de ensayo y los valores recomendados para las placas acústicas de polimetilmetacrilato (PMMA).

Tabla 22: Propiedades de los elementos acústicos en PMMA.

Característica	Método de ensayo	Valor de referencia
Densidad	ISO 1183-1	$\geq 1,15 \text{ kg/m}^3$
Absorción de agua ¹	UNE-EN ISO 62 Método 1 (24h, 23 °C)	$\leq 0,5 \%$
Fuerza flexible	UNE-EN ISO 178	$\geq 100 \text{ MPa}$
Resistencia a la tracción	ISO 527-2 / 1B / 50	$\geq 65 \text{ MPa}$
Resistencia a la tracción después del envejecimiento	UNE-EN ISO 527-2 / 1B / 50	$\geq 60 \text{ MPa}$
Módulo de elasticidad a la flexión	UNE-EN ISO 178	$\geq 3000 \text{ MPa}$
Módulo de elasticidad a la tracción	UNE-EN ISO 527-2 / 1B / 1	$\geq 3000 \text{ MPa}$
Módulo de elasticidad a la tracción después del envejecimiento	UNE-EN ISO 527-2 / 1B / 1	$\geq 2800 \text{ MPa}$
Resistencia al impacto Izod con muescas	UNE-EN ISO 180	$\geq 1,5 \text{ KJ/m}^2$
Resistencia al impacto Charpy sin muesca	UNE-EN ISO 179-1 / 1fU	$\geq 10 \text{ KJ/m}^2$
Temperatura de ablandamiento Vicat	UNE-EN ISO 306 (Método B50)	$\geq 95 \text{ °C}$
Factor de transmisión de luz total ²	UNE-EN ISO 13468-1	$\geq 90 \%$
Factor de transmisión de luz a 420 nm. Antes de la exposición:	UNE-EN ISO 13468-1	$\geq 90 \%$
Factor de transmisión de luz a 420 nm. Después de la exposición a la lámpara de xenón:	UNE-EN ISO 4892-2 (para 1.000 h)	$\geq 88 \%$
Tensión admisible sobre el material (hasta 40 °C)	-----	$\leq 7 \text{ N/mm}^2$

¹ Para la única verificación de la absorción de agua, las probetas son cuadradas, con un lado igual a 50 mm y un espesor de 3 mm (ver UNE-EN ISO 62).

² Para la única verificación de las características ópticas, las probetas son incoloras y de 3 mm de espesor (UNE-EN ISO 7823-1 y UNE-EN ISO 7823-2).

Las juntas EPDM a utilizar en el contacto del enmarcado metálico con el PMMA deberán cumplir los requisitos especificados en el apartado 5.1.1.1 de estas Especificaciones.

Las láminas de PMMA deben soportar cargas dinámicas y estáticas, como exige la norma UNE-EN 1794-1 (apéndice A).

A la hora de fijar las láminas de PMMA se deben seguir los siguientes criterios:

- Las láminas de PMMA deben introducirse en el marco, incluida la junta de EPDM, a una profundidad tal que impida que las láminas se salgan por deformación.
- Las láminas de PMMA deben poder expandirse o contraerse según la temperatura.
- El espesor de las láminas de PMMA debe determinarse en función de las cargas dinámicas y estáticas requeridas, el tamaño de la lámina, el tipo de fijación prevista y la tensión permitida sobre el material.

En el caso de instalación de losas en posiciones críticas, donde la caída de fragmentos después de un impacto accidental puede causar daños a los usuarios de la vía o a terceros, se recomienda el uso de material armado con armadura interna y ensayado según la norma UNE-EN 1794-2 previsto (apéndice B), u otras soluciones adecuadas.

5.5.1.3. Características en el caso de emplear placas paneles de policarbonato con protección UV

Las láminas de policarbonato son generalmente del tipo extruido, con la aplicación de una película de protección UV en ambos lados de la lámina.

El espesor de las láminas de policarbonato con protección UV a utilizar como pantallas acústicas no debe ser inferior a 12 mm.

La siguiente tabla 23 muestra los métodos de prueba y los valores recomendados para los elementos acústicos de policarbonato con protección UV.

Tabla 23: Métodos de ensayo y valores recomendados de algunas propiedades de los elementos acústicos de policarbonato con protección UV.

Característica	Método de ensayo	Valor de referencia
Densidad	UNE-EN ISO 1183-2	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3$
Absorción de agua ⁽¹⁾	UNE-EN ISO 62, Método 1 (24 h, 23 °C)	$\leq 16 \%$
Resistencia a la tracción	UNE-EN ISO 527-2 / 1B / 50	$\geq 60 \text{ MPa}$
Resistencia a la tracción después del envejecimiento	UNE-EN ISO 527-2 / 1B / 50	$\geq 55 \text{ MPa}$
Módulo de elasticidad a la tracción	UNE-EN ISO 527-2 / 1B / 1	$\geq 2200 \text{ MPa}$
Módulo de elasticidad a la tracción después del envejecimiento	UNE-EN ISO 527-2 / 1B / 1	$\geq 2000 \text{ MPa}$
Resistencia al impacto Charpy con muesca	UNE-EN ISO 179-1	$\geq 6 \text{ KJ/m}^2$
Temperatura de ablandamiento Vicat	UNE-EN ISO 306 (Método B50)	$\geq 145 \text{ °C}$
Factor de transmisión de luz a 420 nm. Antes de la exposición	UNE-EN ISO 13468-1	$\geq 85 \%$
Factor de transmisión de luz a 420 nm. Después de la exposición a la lámpara de xenón	UNE-EN ISO 4892-2 (para 1.000 h)	$\geq 82 \%$
Tensión admisible sobre el material (hasta 40 °C)	-----	$\leq 10 \text{ N/mm}^2$

⁽¹⁾ Para la única verificación de la absorción de agua, las probetas son cuadradas, con un lado igual a 50 mm y un espesor de 3 mm (ver UNE-EN ISO 62)

Las juntas a utilizar en contacto con policarbonato con protección UV deben cumplir con los requisitos especificados en el punto 5.5.1.4.

Las láminas de policarbonato con protección UV deben resistir las cargas dinámicas y estáticas, como exige la norma UNE-EN 1794-1 (apéndice A).

En la colocación de láminas de policarbonato con protección UV se deben seguir los siguientes criterios:

- Las láminas de policarbonato con protección UV deben insertarse en el marco, incluida la junta de EPDM, a una profundidad tal que impida que las láminas se salgan por deformación.

- Las láminas de policarbonato con protección UV deben poder expandirse o contraerse según la temperatura.
- El espesor de las láminas de policarbonato con protección UV debe determinarse en función de las cargas dinámicas y estáticas requeridas, el tamaño de la lámina, el tipo de fijación prevista y la tensión permitida sobre el material.

En el caso de instalación de paneles en lugares críticos, donde la caída de fragmentos tras un impacto accidental pueda causar daños a los usuarios de la vía o a terceros, el uso de material de espesor adecuado y ensayado según UNE-EN 1794-2 (apéndice B) será preceptivo con al menos una clase 3.

5.5.1.4. Juntas entre la placa transparente y el marco metálico

Las características de insonorización de las pantallas acústicas están garantizadas por el uso de juntas y selladores adecuados entre los diferentes materiales y componentes en contacto, como entre panel y panel, panel y poste de sujeción, panel y zócalo de apoyo en cimentación.

Las juntas a utilizar en contacto con el material transparente (PMMA, policarbonato con protección UV y vidrio) pueden ser juntas EPDM o justas TPV-EPDM.

En el caso de utilizar juntas EPDM deben cumplir los siguientes requisitos:

- Ser de EPDM, con dureza entre 65 y 75 Shore.
- Ser compatibles con el material transparente (es decir, durante su vida útil, no deben liberar sustancias químicas que ataquen químicamente al material transparente).
- Tener una forma que impida que se salgan durante la vida útil y, internamente, tener una geometría que permita la expansión y retracción de los paneles en material transparente.

No se permite el uso de siliconas ni bandas de caucho esponjoso para la fijación del PMMA o del policarbonato al marco metálico. Las juntas EPDM deben tener las características mínimas enumeradas en la tabla 24, a continuación.

Tabla 24: Propiedades de los sellados.

Característica	Método de ensayo	Valor mínimo de referencia
Dureza	UNE-EN ISO 868	70 ± 5 Shore A/3
Carga mínima de rotura	ISO 37	8 MPa
Alargamiento a la rotura	ISO 37	290 %
Densidad	ISO 1183	1,29 gr/cm ³

Tabla 25: Variaciones toleradas de los requisitos de las juntas después del envejecimiento térmico (en cumplimiento de la norma DIN 7863).

Característica	Método de ensayo	Valor mínimo de referencia
Dureza	UNE-EN ISO 868	± 1 Shore A
Carga mínima de rotura	ISO 37	± 10 %
Alargamiento a la rotura	ISO 37	± 5 %

En el caso de utilizar juntas TPV-EPDM, las características mínimas a satisfacer se indican en la siguiente tabla:

Tabla 26: Características mínimas que deben cumplir las juntas TPV-EPDM.

Ensayo	Norma	Unidades	Valores
Densidad	ISO 1183	g/cm ³	0,95
Dureza	ISO 868 (5s)	Shore A	70 ± 5
Carga de rotura	ISO 37	MPa	6,7
Alargamiento	ISO 37	%	388
Módulo 100 %	ISO 37	MPa	3,3
Deformación 22 h a 70 °C	ISO 815	%	36
Desgarro a 23 °C	ISO 34 método A	kN/m	12,1
Temperatura de fragilidad	ISO 812	°C	- 60

Los ensayos deberán ser realizados sobre probetas obtenidas transversalmente al flujo de inyección de placa de 2 mm de espesor.

Después del envejecimiento térmico de siete días a una temperatura de 100 °C, de conformidad con la norma DIN 7863, no debe haber cambios en las características superiores a los informados en la siguiente tabla 27.

Tabla 27: Variaciones toleradas de los requisitos de las juntas después del envejecimiento térmico (en cumplimiento de la norma DIN 7863).

Característica	Método de ensayo	Valor mínimo de referencia
Dureza	UNE-EN ISO 868	± 1 Shore A
Carga mínima de rotura	ISO 37	± 10 %
Alargamiento a la rotura	ISO 37	± 5 %

5.5.2. Requisitos mínimos exigibles a las pantallas acústicas de PMMA o policarbonato

Tabla 28: Requisitos mínimos para las pantallas acústicas de PMMA o policarbonato.

Paneles acústicos de PMMA o policarbonato		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características acústicas:		
Para pantallas instaladas en campo difuso:		
1. Índice de absorción en campo difuso	UNE-EN 1793-1 (*)	$DL_a \geq 0$ dB
2. Índice de aislamiento en campo difuso	UNE-EN 1793-2 (*)	$DL_R \geq 25$ dB
Para pantallas instaladas en campo directo:		
3. Índice de evaluación de la reflexión del sonido en campo directo	UNE-EN 1793-5 (*)	$DL_{RI} \geq 0$ dB
4. Índice de aislamiento acústico en poste en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, P} \geq 32$ dB
5. Índice de aislamiento acústico en elemento en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, E} \geq 40$ dB
6. Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A (**)	118 kg/m ²
Características no acústicas:		
7. Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5 (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A (**)	177 kg/m ²
8. Peso propio	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	>20 kg/m ²
9. Peso mojado	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
10. Peso mojado reducido	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
11. Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	El panel debe resistir el peso mojado de los elementos acústicos de la pantalla acústica más alta
12. Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Carga de diseño de 100 kg/m ² y carga estática vertical correspondiente al peso mojado de los paneles acústicos de una pantalla de 6 m de altura

Prescripciones técnicas exigibles a los dispositivos reductores de ruido (DRR)

Continuación		
Paneles acústicos de PMMA o policarbonato		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características no acústicas:		
13. Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras	UNE-EN 1794-1, ANEXO C	Satisfactorio
14. Carga normal (90°) debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico puede soportar (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO E (**)	10 kN/2x2 (carga de ensayo de 15 kN/2x2).
15. Resistencia a cargas dinámicas: Riesgo de caída de trozos desprendidos (***)	UNE-EN 1794-2, ANEXO B	Clase 2 o 3****
16. Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2, ANEXO D	Clase 2
17. Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza	UNE-EN 1794-2, ANEXO A	Clase 3
18. Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas: durabilidad	UNE-EN 14389	Durabilidad en años para cada clase de exposición

- (*) Los ensayos a realizar y los correspondientes informes a presentar serán en campo difuso o en campo directo en función de la ubicación de las pantallas conforme a lo indicado en el anexo IV de este documento. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo difuso se presentarán los informes de los ensayos 1 y 2. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo directo se presentarán los informes de los ensayos 3, 4 y 5. Los informes de ensayo deben incluir explícitamente, mediante fotografías y texto escrito, el sistema de sellado realizado en el laboratorio entre el panel y el poste y entre paneles si los hubiere. Dichos sistemas de sellado se han de reproducir igual cuando las pantallas se instalen en la obra.
- (**) En el caso de que los paneles acústicos tengan en su composición algún tipo de adhesivo de unión entre sus componentes, el ensayo de carga de viento deberá realizarse después de realizar un ensayo de envejecimiento con al menos 10 ciclos de humedad-sequedad de los paneles para garantizar la funcionalidad del adhesivo a lo largo de la vida útil del panel. Los paneles a ensayar deberán pesarse en seco y posteriormente sumergirse completamente en agua durante 24 h, luego deben sacarse y dejarles drenar, en su misma posición de empleo. Posteriormente se procederá a su pesado hasta que el panel vuelva a su peso seco con una tolerancia del 5 % de sobre su peso seco inicial antes de volver a sumergirse y repetir así el proceso hasta completar 10 ciclos. Una vez completados esos paneles serán los que se usen para realizar los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15.
- (***) En los informes de los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15 se deberá indicar explícitamente la longitud de los elementos acústicos ensayados.
- (****) Las pantallas que se monten sobre estructuras, en particular, cuando la pantalla está colocada sobre una estructura elevada donde su rotura por cualquier motivo pueda conllevar un peligro potencial para los usuarios de la carretera o para quienes se encontrasen debajo de la estructura, se encuadrarán dentro de la clase 3 o superior, de tal forma que, acreditando esta clasificación, les impida desprenderse y caer. El desprendimiento de elementos de paneles o bien de paneles enteros, a consecuencia de una colisión violenta, así como de caída de trozos rotos, podría representar un peligro, ya sean peatones o vehículos que circulen por la vía que pasa por debajo de la estructura elevada.

Todos los ensayos anteriormente indicados deben realizarse con el mismo modelo de panel, con los mismos componentes, espesores y densidades de los materiales que constituyen el panel y con el mismo tipo de sellado entre paneles y entre paneles y postes. De forma que, por ejemplo, si los ensayos acústicos 3, 4 y 5, se han realizado colocando una junta de goma EPDM entre el panel acústico y el poste de soporte, el ensayo de carga de viento 6 y 7, se tiene que realizar con la misma junta de goma EPDM entre el panel y el poste de soporte.

De manera excepcional, se podrá justificadamente solicitar autorización a los servicios centrales de la Dirección General de Carreteras el empleo de materiales con especificaciones distintas de las indicadas en esta tabla.

5.6. Pantallas acústicas de vidrio

5.6.1. Geometría y componentes

Los paneles de vidrio antirruído, por razones de seguridad, deben estar fabricados exclusivamente con láminas de vidrio laminado templado o endurecido. El vidrio laminado está formado por dos o más láminas de vidrio, también de distinta naturaleza y espesor, con interposición de una película plástica de polivinilo butiral (PVB), con un espesor mínimo de 1,52 mm, aplicada en autoclave a presión y temperatura controladas.

Las láminas individuales deberán someterse a un tratamiento térmico de templado o endurecimiento, según el tipo de aplicación, la resistencia que se deba garantizar y el grado de seguridad que se pretenda conseguir en caso de impacto. El tratamiento de templado añade, al nivel de seguridad debido a la estratificación, los resultados de mayor resistencia mecánica y a los choques térmicos, mejorando la seguridad de uso del producto, especialmente en el caso de aplicación en pantallas acústicas instaladas en las inmediaciones de la carretera.

En el caso de utilizar láminas curvas, es preferible la estratificación de dos o más vidrios templados de la misma naturaleza y espesor.

Si las láminas se aplican sobre el techo, recomendamos el uso de vidrio laminado compuesto por una lámina templada y otra endurecida, ya que el vidrio templado tiene una mejor resistencia mecánica, mientras que el vidrio endurecido tiene una compacidad en caso de rotura mayor que el vidrio templado estratificado, ya que presenta una gran fragmentación.

5.6.1.1. Características en el caso de emplear pantallas acústicas de vidrio

La siguiente tabla 29 muestra los métodos de ensayo y los valores recomendados para los paneles de vidrio acústico.

Tabla 29: Propiedades de los elementos de vidrio acústico.

Característica	Método de ensayo	Valor de referencia
Espesor total	-----	14 mm
Características del material base y limitación de defectos ópticos y visuales	UNE-EN 572-1, UNE-EN 572-2 y UNE-EN ISO 12543-6	-----
Resistencia a altas temperaturas, humedad y radiación solar simulada	UNE-EN ISO 12543 (Partes 1, 2, 3 y 4)	-----
Dimensiones, desviaciones límite y acabados de cantos	UNE-EN ISO 12543-5	-----
Tratamiento de serigrafía (si corresponde)	UNE-EN 12150-1	-----
Factor de transmisión de luz ⁽¹⁾	UNE-EN 410 y UNE-EN 673	≥ 0.81
Factor de reflexión de la luz ⁽¹⁾	UNE-EN 410 y UNE-EN 673	≥ 0.07
Factor de transmisión de energía ⁽¹⁾	UNE-EN 410 y UNE-EN 673	≥ 0.54
Factor de reflexión de energía ⁽¹⁾	UNE-EN 410 y UNE-EN 673	≥ 0.40
Factor de absorción de energía ⁽¹⁾	UNE-EN 410 y UNE-EN 673	≥ 0.06
Factor solar ⁽¹⁾	UNE-EN 410 y UNE-EN 673	≥ 0.65

⁽¹⁾ Estos requisitos ya no se pueden garantizar en el caso de la serigrafía o el grabado al ácido de las placas.

Los paneles de vidrio deben resistir las cargas dinámicas y estáticas, como exige la norma UNE-EN 1794-1 (apéndice A).

A la hora de fijar los paneles de vidrio, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- Si están enmarcados, los paneles de vidrio deben insertarse en el marco en al menos tres lados; además, la junta de EPDM debe tener una profundidad tal que impida que los paneles se salgan por deformación.
- Los paneles de vidrio deben poder expandirse o contraerse según la temperatura.
- El espesor de los paneles de vidrio debe determinarse en función de las cargas dinámicas y estáticas requeridas, las dimensiones de los paneles, el tipo de fijación prevista y la tensión admitida sobre el material.
- Los elementos acústicos no enmarcados deben, en cualquier caso, fijarse con las restricciones apropiadas, verificadas a las cargas de diseño.

- No se permite el uso de siliconas para la fijación de PMMA y policarbonato con protección UV.
- En cuanto a la fijación del vidrio, en caso de contacto entre el film de PVB y las juntas perimetrales de las láminas de vidrio, estas juntas deberán estar realizadas con un compuesto a base de silicona, compatible con el film de PVB.

En el caso de instalación de láminas en posiciones críticas, donde la caída de fragmentos tras un impacto accidental pueda causar daños a los usuarios de la vía o a terceros, se prevé el uso de láminas de vidrio de espesor y estratificación adecuados, u otras soluciones adecuadas.

5.6.2. Requisitos mínimos exigibles a las pantallas acústicas de vidrio

Tabla 30: Requisitos mínimos para las pantallas acústicas de vidrio.

Paneles acústicos de vidrio		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características acústicas:		
Para pantallas instaladas en campo difuso:		
1. Índice de absorción en campo difuso	UNE-EN 1793-1 (*)	$DL_a \geq 0$ dB
2. Índice de aislamiento en campo difuso	UNE-EN 1793-2 (*)	$DL_R \geq 25$ dB
Para pantallas instaladas en campo directo:		
3. Índice de evaluación de la reflexión del sonido en campo directo	UNE-EN 1793-5 (*)	$DL_{RI} \geq 0$ dB
4. Índice de aislamiento acústico en poste en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, P} \geq 32$ dB
5. Índice de aislamiento acústico en elemento en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, E} \geq 40$ dB
Características no acústicas:		
6. Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A (**)	118 kg/m ²
7. Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5 (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A (**)	177 kg/m ²
8. Peso propio	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	> 20 kg/m ²
9. Peso mojado	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²

Paneles acústicos de vidrio		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características no acústicas:		
10. Peso mojado reducido	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
11. Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	El panel debe resistir el peso mojado de los elementos acústicos de la pantalla acústica más alta
12. Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Carga de diseño de 100 kg/m ² y carga estática vertical correspondiente al peso mojado de los paneles acústicos de una pantalla de 6 m de altura
13. Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras	UNE-EN 1794-1, ANEXO C	Satisfactorio
14. Carga normal (90°) debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico puede soportar (***)	UNE-EN 1794-1, ANEXO E (**)	10 kN/2x2 (carga de ensayo de 15 kN/2x2)
15. Resistencia a cargas dinámicas: Riesgo de caída de trozos desprendidos (***)	UNE-EN 1794-2, ANEXO B	Clase 2
16. Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2, ANEXO D	Clase 2
17. Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza	UNE-EN 1794-2, ANEXO A	Clase 3
18. Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas: durabilidad	UNE-EN 14389	Durabilidad en años para cada clase de exposición

(*) Los ensayos a realizar y los correspondientes informes a presentar serán en campo difuso o en campo directo en función de la ubicación de las pantallas conforme a lo indicado en el anexo IV de este documento. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo difuso se presentarán los informes de los ensayos 1 y 2. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo directo se presentarán los informes de los ensayos 3, 4 y 5. Los informes de ensayo deben incluir explícitamente, mediante fotografías y texto escrito, el sistema de sellado realizado en el laboratorio entre el panel y el poste y entre paneles si los hubiere. Dichos sistemas de sellado se han de reproducir igual cuando las pantallas se instalen en la obra.

(**) Para estos ensayos se prestará especial atención a que la carga aplicada se distribuya uniformemente sobre la placa de vidrio y no directamente sobre los marcos metálicos que rodean la placa, de forma que la transmisión de la carga se produzca desde la placa de vidrio al marco metálico. Para ello, la aplicación de la carga en esta tipología de paneles se realizará necesariamente mediante sacos de arena, cemento o similar, no mediante perfiles metálicos.

(***) En los informes de los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15 se deberá indicar explícitamente la longitud de los elementos acústicos ensayados.

Todos los ensayos anteriormente indicados deben realizarse con el mismo modelo de panel, con los mismos componentes, espesores y densidades de los materiales que constituyen el panel y con el mismo tipo de sellado entre paneles y entre paneles y postes. De forma que, por ejemplo, si los ensayos acústicos 3, 4 y 5, se han realizado colocando una junta de goma EPDM entre el panel acústico y el poste de soporte, el ensayo de carga de viento 6 y 7, se tiene que realizar con la misma junta de goma EPDM entre el panel y el poste de soporte.

De manera excepcional, se podrá justificadamente solicitar autorización a los servicios centrales de la Dirección General de Carreteras el empleo de materiales con especificaciones distintas de las indicadas en esta tabla.

5.7. Pantallas acústicas de materiales plásticos reciclados procedentes de la fracción de rechazo de los vertederos

5.7.1. Geometría y componentes

La geometría de la pantalla acústica debe definirse detalladamente en el proyecto constructivo, estableciéndose su altura y longitud a lo largo de cada tramo a construir, según resulte del correspondiente estudio acústico.

Las pantallas acústicas de madera polimérica procedente de plásticos reciclados o de rechazo estarán compuestas por paneles modulares plásticos dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte. El diseño y características geométricas de los paneles modulares pueden variar según sea el fabricante, siendo habituales espesores comprendidos entre 50 mm y 150 mm, alturas de panel de entre 150 mm y 500 mm y longitudes de hasta 5000 mm en función de la interdistancia entre postes de la estructura soporte.

Resulta recomendable siempre que sea posible, por razones de coste, fijar una interdistancia entre postes soporte de 4000 o 5000 mm. Las separaciones menores entre postes se deben reservar para los casos en que las condiciones de resistencia a cargas y de diseño de los anclajes y cimentaciones, así lo requieran.

Las soluciones constructivas del armazón o estructura soporte, deberán permitir en caso de avería la fácil reparación del tramo afectado.



Figura 19. Pantallas acústicas fabricadas con materiales plásticos reciclados procedentes del material de rechazo de los vertederos.

5.7.1.1. Componentes y materiales para la realización de las pantallas acústicas modulares de materiales plásticos reciclados procedentes de la fracción de rechazo de los vertederos

Las pantallas acústicas estarán generalmente constituidas por paneles modulares dispuestos entre los perfiles normalizados de acero, que constituyen el armazón o estructura soporte.

Tanto los paneles como la estructura soporte deberán haberse dimensionado, al menos, con arreglo a lo estipulado en las normas UNE-EN que resulten de aplicación y sin perjuicio de mayores exigencias requeridas en cualquier otra norma que resulte aplicable.

- **Componentes y materiales para los paneles modulares fabricados con materiales plásticos reciclados procedentes del material de rechazo de los vertederos**

Los paneles modulares tienen la doble función de aislamiento y absorción acústica. Cada panel tendrá unas dimensiones totales, de forma que permita su fácil montaje y desmontaje en los perfiles soporte.

Se emplearán como materia prima los residuos plásticos NO RECICLABLES (o de rechazo) cuyo destino es la incineración o el enterramiento en rellenos sanitarios o vertederos.



Figura 20: Imagen de la materia prima empleada en la fabricación de este tipo de pantallas.

Para la fabricación de los paneles acústicos se utilizará madera polimérica procedente de la fracción resto del plástico de rechazo con origen de vertedero RSU (Residuos sólidos urbanos), agrícola o industrial, con una densidad media de $1,044 \text{ g/cm}^3$ ($\pm 0,007$) según UNE-EN ISO 1183-1A y una composición de polímeros aproximada de: 50 % de PELD (Polietileno de baja densidad); 20 % de PEHD (Polietileno de alta densidad); 10 % PP (Polipropileno) y 20 % de otros materiales plásticos.

Se considera plástico de rechazo al resto que queda después de haber sido seleccionado y apartado todo el plástico reciclable y reutilizable y cuyo destino es la incineración o el enterramiento.

Con el objeto de garantizar un carácter totalmente ecológico del material, la madera plástica debe acreditar haber sido producida sin generación de lixiviados líquidos de ningún tipo, tanto durante el proceso de producción en caliente como en los procesos de acabado en frío y de carecer de aporte de polímeros nuevos en la mezcla.

El panel tipo estará compuesto por:

Estructura de material plástico reciclado procedente de la fracción de rechazo de vertedero:

- Estará constituida por lamas machihembradas de 20 mm de espesor y 1000 kg/m^3 . Estructura interior de rastreles de madera plástica de 40 x 40 mm.

- Lana de roca de 60 mm y 100 kg/m³.
- Lamas frontales verticales de madera plástica de 40 mm x 20 mm de sección y 1000 kg/m³, con una separación entre ellas que permita conseguir los parámetros de absorción indicados posteriormente.

Placa de material absorbente:

- Se usará lana de roca utilizable en condiciones de saturación de humedad, resistente a radiación UV, de densidad igual o superior a 100 kg/m³ y espesor mínimo 50 mm, con un velo de fibra de vidrio compactado y neoprenado.
- Podrá admitirse con autorización de la dirección facultativa cualquier otro material absorbente especificado por el fabricante, siempre que se establezca una garantía que cubra su estabilidad y funcionalidad por un período mínimo de 15 años.

Red de protección de la lana de roca:

- Red de polipropileno de 1,2 mm de espesor y 50 kg/m³. Podrá admitirse con autorización de la dirección facultativa cualquier otro material resistente a radiación UV.



Figura 21: Lamas de madera obtenidas a partir de la materia prima de plásticos no reciclables.

5.7.2. Requisitos mínimos exigibles para las pantallas acústicas de materiales plásticos reciclados procedentes de la fracción de rechazo de los vertederos

Tabla 31: Requisitos mínimos para las pantallas acústicas de materiales plásticos reciclados procedentes de la fracción de rechazo de los vertederos.

Paneles acústicos de materiales plásticos reciclados procedentes de la fracción de rechazo de los vertederos		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características acústicas:		
Para pantallas instaladas en campo difuso:		
1. Índice de absorción en campo difuso	UNE-EN 1793-1 (*)	$DL_a \geq 5 \text{ dB}$
2. Índice de aislamiento en campo difuso	UNE-EN 1793-2 (*)	$DL_R \geq 26 \text{ dB}$
Para pantallas instaladas en campo directo:		
3. Índice de evaluación de la reflexión del sonido en campo directo	UNE-EN 1793-5 (*)	$DL_{RI} \geq 4 \text{ dB}$
4. Índice de aislamiento acústico en poste en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, P} \geq 32 \text{ dB}$
5. Índice de aislamiento acústico en elemento en campo directo	UNE-EN 1793-6 (*)	$DL_{SI, E} \geq 32 \text{ dB}$
Características no acústicas:		
6. Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A	100 kg/m ²
7. Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico puede soportar F_{d50} o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5 (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO A	150 kg/m ²
8. Peso propio	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	> 20 kg/m ²
9. Peso mojado	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²
10. Peso mojado reducido	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Peso en kg/ud o kg/m ²

Continuación		
Paneles acústicos de materiales plásticos reciclados procedentes de la fracción de rechazo de los vertederos		
Naturaleza del ensayo	Norma	Valor mínimo
Características no acústicas:		
11. Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	El panel debe resistir el peso mojado de los elementos acústicos de la pantalla acústica más alta
12. Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico puede soportar (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO B	Carga de diseño de 100 kg/m ² y carga estática vertical correspondiente al peso mojado de los paneles acústicos de una pantalla de 6 m de altura
13. Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras	UNE-EN 1794-1, ANEXO C	Satisfactorio
14. Carga normal (90°) debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico puede soportar (**)	UNE-EN 1794-1, ANEXO E	6 kN/2x2 (carga de ensayo de 9 kN/2x2)
15. Resistencia a cargas dinámicas: Riesgo de caída de trozos desprendidos (**)	UNE-EN 1794-2, ANEXO B	Clase 2
16. Reflexión de la luz	UNE-EN 1794-2, ANEXO D	Clase 2
17. Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza	UNE-EN 1794-2, ANEXO A	Clase 2
18. Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas: durabilidad	UNE-EN 14389	Durabilidad en años para cada clase de exposición

(*) Los ensayos a realizar y los correspondientes informes a presentar serán en campo difuso o en campo directo en función de la ubicación de las pantallas conforme a lo indicado en el anexo IV de este documento. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo difuso se presentarán los informes de los ensayos 1 y 2. En el caso de que las pantallas se ubiquen en condiciones de campo directo se presentarán los informes de los ensayos 3, 4 y 5. Los informes de ensayo deben incluir explícitamente, mediante fotografías y texto escrito, el sistema de sellado realizado en el laboratorio entre el panel y el poste y entre paneles si los hubiere. Dichos sistemas de sellado se han de reproducir igual cuando las pantallas se instalen en la obra.

(**) Para estos ensayos se prestará especial atención a que la carga aplicada se distribuya uniformemente sobre la placa de vidrio y no directamente sobre los marcos metálicos que rodean la placa, de forma que la transmisión de la carga se produzca desde la placa de vidrio al marco metálico. Para ello, la aplicación de la carga en esta tipología de paneles se realizará necesariamente mediante sacos de arena, cemento o similar, no mediante perfiles metálicos.

(***) En los informes de los ensayos 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15 se deberá indicar explícitamente la longitud de los elementos acústicos ensayados.

Todos los ensayos anteriormente indicados deben realizarse con el mismo modelo de panel, con los mismos componentes, espesores y densidades de los materiales que constituyen el panel y con el mismo tipo de sellado entre paneles y entre paneles y postes. De forma que, por ejemplo, si los ensayos acústicos 3, 4 y 5, se han realizado colocando una junta de goma EPDM entre el panel acústico y el poste de soporte, el ensayo de carga de viento 6 y 7, se tiene que realizar con la misma junta de goma EPDM entre el panel y el poste de soporte.

De manera excepcional, se podrá justificadamente solicitar autorización a los servicios centrales de la Dirección General de Carreteras el empleo de materiales con especificaciones distintas de las indicadas en esta tabla.

5.8. Pantallas acústicas vegetalizables

Las pantallas acústicas vegetalizables, tal y como se indica en el apartado 2.1 de este documento, no son susceptibles de obtener un certificado CE, por lo tanto, los requisitos técnicos y características exigibles a estas pantallas difieren del resto de tipologías.

La cimentación que requieren es muy sencilla siendo en muchos casos suficiente con una pequeña losa de hormigón o bien una capa de zahorra bien compactada. El inconveniente es que requiere de suficiente espacio para su ubicación ya que en la base se requerirá un ancho de entre 1 y 2 ms dependiendo de la altura de la pantalla.

La geometría de la pantalla acústica debe definirse detalladamente en el proyecto constructivo, estableciéndose su altura y longitud a lo largo de cada tramo a construir, según resulte del correspondiente estudio acústico y se determine en proyecto.

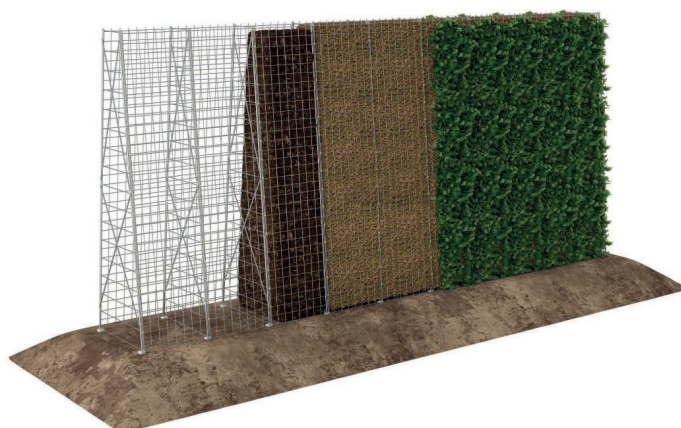


Figura 22: Ejemplo de pantalla vegetalizable.

Las pantallas acústicas vegetalizables son estructuras continuas, autoportantes (que no necesitan postes o elementos estructurales como en las pantallas convencionales) de sección trapezoidal o escalonada, formadas por:

- Mallas metálicas, de diversas tipologías, que generan una envolvente exterior. Normalmente las mallas usadas corresponden a:
 - Malla electrosoldada según UNE-EN 10223-8: Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 8: Gaviones de malla electrosoldada.
 - Malla hexagonal según UNE-EN 10223-3: Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 3: Malla hexagonal de acero para aplicaciones en ingeniería civil.
 - La combinación de ambas.
- Láminas de diversos tipos, para la retención del relleno interior. Siempre con características drenantes, las más frecuentes son:
 - Mantas biológicas: conocidas como “coco”, asocian dicho material a redes de polipropileno para dotarlas de la resistencia adecuada.
 - Manta orgánica resistente al fuego. Fabricada en 60 % plantas marinas + 40 % fibras de coco, con una red de polipropileno de color marrón en ambas caras. Gramaje 490 g/m²; apertura malla red de polipropileno superior 12,5 x 15 mm y 6 x 6 mm inferior; resistencia a la tracción (ASTM 1682): 2,1 kN/m.
 - Control de erosión: que evitará la salida del material a largo plazo dotando a la pantalla de una mayor seguridad frente a fuego y lluvias intensas.
 - Rafias: geotextil tejido, con una estructura plana y fabricado por tejido, en trama y urdido, de cintas de polipropileno.
 - Césped artificial: sobre un tejido primario de polipropileno, se insertan los filamentos de polietileno y/o polipropileno.
- Relleno interior, que le confieren masa y capacidad de aislamiento. Cada fabricante dará las características del relleno interior que garantice los valores acústicos y estructurales declarados. En general pueden considerarse dos tipologías:
 - Pantallas donde las mallas metálicas y las láminas para la retención de finos actual como RECIPIENTE para la contención del material de relleno. Se aconseja instalar un control antihierba en coronación para evitar la salida de malas hierbas.

- Relleno de arcilla expandida para mejorar el aislamiento acústico con un espesor menor a 50 cm y reforzadas con perfiles.
- Pantallas donde se construye una ESTRUCTURA DE “TERRENO REFORZADO” por disponer sucesivas capas de mallas de refuerzo y compactación a Proctor 95 del material de relleno (que será de características adecuadas para alcanzar dicho índice de compactación). Estas estructuras generan mejores características mecánicas y, especialmente, de aislamiento por la mayor compactación del relleno.
- Adicionalmente, las pantallas pueden tener también estructuras metálicas al efecto de sujetar las mallas externas, antes y después del relleno, e incrementar la rigidez de dichas estructuras. Cuando dichas estructuras metálicas sean visibles desde el exterior, serán tratadas como pantallas con postes en cuanto a la determinación de las características acústicas.
- Deben suministrarse los accesorios necesarios para el correcto montaje: grapas, alambre y tirantes prefabricados, todos ellos según están definidos en las normas anteriormente citadas: UNE-EN 10223-8 y UNE-EN 10223-3 y en las calidades en ellas reguladas. Los tirantes son esenciales para garantizar el no abombamiento de las mallas exteriores.
- La vegetalización (normalmente inherente a este tipo de pantallas) no puede ser garantizada por el fabricante. En consecuencia, no puede ser tenida en cuenta en el “ensayo tipo” inicial propio de ninguno de los parámetros. Por regla general la vegetalización SOLO PUEDE MEJORAR las prestaciones de la pantalla.



Figura 23: Pantallas vegetalizable a base de terreno reforzado y control de erosión con manta de coco.

El diseño y las características geométricas de las pantallas varía en función del fabricante, siendo habituales espesores comprendidos entre 1000 mm y 1800 mm de la base y alturas entre 2000 mm y 8000 mm. La longitud es totalmente libre.

Desde el punto de vista de las características acústicas, las pantallas vegetalizables deberán cumplir con lo indicado en la norma UNE-EN 1793-5, con un índice de reflexión en campo directo $DLRI \geq 7$ dB. Así mismo deberán cumplir con lo indicado en la norma UNE-EN 1793-6, con un índice de aislamiento en campo directo de al menos $DLSI \geq 50$ dB.

Desde el punto de vista de las características mecánicas, estas pantallas se comportan como un muro de gravedad y por tanto, el peso propio es determinante. Por esta misma razón, la anchura de la base guarda una estricta relación con la altura de la pantalla. Las pantallas vegetalizables deberán cumplir con lo indicado en la norma UNE-EN 1794-1: anexo A, para una carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico de al menos 100 kg/m^2 .

Protección anticorrosión: en este sentido y de acuerdo con la norma UNE-EN 14389-2, para las mallas metálicas utilizadas en este tipo de pantallas acústicas, las normas de referencia (UNE-EN 10223-3 y 8) establecen los tipos de protección anticorrosión, los espesores mínimos requeridos en los distintos recubrimientos galvánicos (en función del diámetro), aunque se recomienda 4,5 mm de diámetro con un mínimo de recubrimiento de 350 gr en Zn Al y, juntamente con otras normas ISO para productos de alambres, los asocian a una vida útil para cada ambiente. En aplicación de las normas vigentes se puede establecer lo siguiente:

- Los recubrimientos galvánicos de los alambres vienen definidos en la norma UNE-EN 10244-2: Alambre de acero y productos de alambre. Recubrimientos metálicos no ferrosos sobre alambre de acero. Parte 2: Recubrimientos de cinc o de aleaciones de cinc.
- Los ambientes atmosféricos, su agresividad de corrosión, están definidos en la norma ISO 9223: *Corrosion of metals and alloys–Corrosivity of atmospheres–Classification, determination and estimation*.

Tabla 32: Vida útil de las mallas metálicas en función del ambiente y la calidad del recubrimiento.

Ambiente ISO 9223	Descripción	Calidad de recubrimiento	Años de vida útil
C2	Zona templada, ambiente atmosférico con baja contaminación ($\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), por ejemplo zonas rurales, pueblos pequeños Zona seca o fría, entorno atmosférico con poco tiempo de humedad, por ejemplo desiertos, áreas sub-árticas	Zn Clase A (EN 1461)	25
		Zn95Al5 Clase B	25
		Zn95Al5 Clase A	50
		Zn90Al10 Clase B	50
		Zn90Al10 Clase A	120
C3	Zona templada, ambiente atmosférico con contaminación media (SO_2 de 5 a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) o algún efecto de cloruros, por ejemplo zonas urbanas, zonas costeras con baja deposición de cloruros.	Zn95Al5 Clase B	10
		Zn95Al5 Clase A	25
		Zn90Al10 Clase B	25
	Zona subtropical y tropical, atmósfera con baja contaminación	Zn90Al10 Clase A	50
		Plastificado PVC	120
C4	Zona templada, ambiente atmosférico con alta contaminación (SO_2 de 30 a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) o efecto sustancial de cloruros, por ejemplo áreas urbanas contaminadas, zonas industriales, zonas costeras sin <i>spray</i> de agua salada, exposición a fuertes efectos de la sal de deshielo	Zn95Al5 Clase A	10
		Zn90Al10 Clase B	10
		Zn90Al10 Clase A	25
	Zona subtropical y tropical, atmósfera con contaminación media	Plastificado PVC	120

La vida útil antes señalada es la de las mallas metálicas. No debe confundirse con la vida útil de la pantalla acústica.



Figura 24: Pantallas acústicas vegetalizables con estructura portante interior.

A large, white, stylized number '6' is centered on a green background. The background has a horizontal gradient bar at the bottom, transitioning from a darker green to a lighter green.

**Sistemas de
contención:
distancia a
obstáculos**

Los criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos en la Red de Carreteras del Estado se establecen en la **Orden Circular 35/2014 sobre criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos**. Serán de aplicación todos los criterios establecidos en la citada orden circular. En este apartado se resaltan algunos de los aspectos más importantes que deben ser tenidos en cuenta cuando se trata de proteger adecuadamente a los usuarios de la vía de un posible impacto contra una pantalla acústica.

La Orden Circular 35/2014, en su apartado 2.1 Consideraciones previas, indica que en el proyecto de una carretera se debe realizar un análisis de los márgenes de la plataforma para identificar los elementos o situaciones de potencial riesgo. En este sentido, hace una relación de posibles elementos o situaciones de potencial riesgo, entre las que se encuentran las siguientes:

- “[...] Las dotaciones viales que sobresalgan del terreno, tales como báculos de iluminación, elementos de sustentación de carteles, pórticos y banderolas, postes SOS, **pantallas acústicas**, etc.”.

Por tanto, las pantallas acústicas constituyen un elemento de riesgo de acuerdo con la Orden Circular 35/2014.

Por otro lado, la Orden Circular 35/2014, en su apartado **2.2. Criterios de instalación**, clasifica los elementos de riesgo según su nivel de riesgo, en su apartado b, indica lo siguiente:

b) **“Riesgo de accidente grave [...]”**

b.3) Velocidad de proyecto V_p superior a 60 km/h y existencia en las proximidades de:

- Elementos en los que un choque pueda producir la caída de objetos de gran masa sobre la plataforma (tales como pilas de pasos superiores, pórticos o banderolas de señalización, estructuras de edificios, **pantallas acústicas** y otros similares)”.

En caso de que la V_p sea igual o inferior a 60 km/h (caso en el que falta alguno de los requisitos para ser considerado como accidente grave), se considerará **riesgo de accidente normal**.

La distancia mínima en m, medida desde el borde exterior de la marca vial, a la que debe estar una pantalla acústica para no ser considerada un elemento de riesgo, se define en la tabla 1 de la mencionada Orden Circular 35/2014, y depende del tipo de carretera, trazado, pendiente de los márgenes y riesgo de accidente.

Tabla 33: Distancias por debajo de las cuales un obstáculo debe considerarse un riesgo.

Tipo de Carretera	Tipo de Alinación	Talud (*) Transversal del Margen (**) Horizontal: Vertical	Riesgo de Accidente	
			Grave o Muy Grave	Normal
Carreteras de calzada única	Recta, lados interiores de curvas, lado exterior de una curva de radio > 1 500 m	> 8:1	7,5	4,5
		8:1 a 5:1	9	6
		< 5:1	12	8
	Lado exterior de una curva de radio <1500 m	> 8:1	12	10
		8:1 a 5:1	14	12
		< 5:1	16	14
Carreteras con calzadas separadas	Recta, lados interiores de curvas, lado exterior de una curva de radio >1 500 m	> 8:1	10	6
		8:1 a 5:1	12	8
		< 5:1	14	10
	Lado exterior de una curva de radio <1500 m	> 8:1	12	10
		8:1 a 5:1	14	12
		< 5:1	16	14
		< 5:1	16	14
		< 5:1	16	14

Fuente: Tabla 1 de la Orden Circular 35/2014.

(*) En todo el texto los taludes transversales del margen se expresan mediante la relación horizontal: vertical.

(**) Entre el borde exterior de la marca vial y el obstáculo a o desnivel.

Si una pantalla acústica se encuentra situada a una distancia del borde de la calzada menor a la indicada en la tabla 33, y no es posible su ubicación en otro lugar, es necesario protegerla adecuadamente mediante un sistema de contención de vehículos.

También será necesario protegerla si se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- Está situada entre las dos plataformas de una divergencia de salida o bifurcación de la calzada, a una distancia inferior a 60 m a partir del punto de apertura de los carriles completos.
- Está situada en la mediana y a menos de 60 m del comienzo de la misma, en el paso de calzada única a calzadas separadas.

6.1. Selección de nivel de contención

Si, de acuerdo a los criterios establecidos en el apartado anterior, se concluye que es necesaria la implantación de un sistema de contención de vehículos para proteger a los usuarios de la vía o a un tercero, de un posible impacto de un vehículo contra una pantalla acústica, se seleccionará su nivel de contención de acuerdo a la siguiente tabla¹.

Tabla 34: Selección del nivel de contención para riesgos de accidente graves y muy graves.

Riesgo de accidente	IMD e IMDp por sentido	Nivel de contención recomendado	
		Barreras	Pretiles
Grave	IMDp $\geq 10\ 000$	H1-H2	H3
	IMDp ≥ 2000	H2	H3
	$400 \leq \text{IMDp} < 2000$	H1	H2
	IMDp < 400	N2-H1	H1-H2
Normal	IMDp ≥ 2000	H1	H1 - H2
	$400 \leq \text{IMDp} < 2000$	N2 - H1	H1
	IMDp < 400	N2	N2 - H1
	IMDp < 50 y Vp ≤ 80 km/h	N1 - N2	N2

(1) Es importante señalar que, en caso de que, en un mismo tramo de la vía, concurren varios elementos de riesgo diferentes, debe seleccionarse el nivel de contención que corresponda al nivel de riesgo más alto. Por ejemplo, si en un viaducto se deben colocar pantallas acústicas, están presentes como mínimo dos elementos de riesgo, que son la presencia de una pantalla acústica y la caída a un desnivel. Si la caída a un desnivel, de acuerdo a la Orden Circular 35/2014 se considera accidente muy grave, debe seleccionarse el nivel de contención correspondiente al riesgo muy grave. Si, por el contrario, la caída a un desnivel dadas las características de la vía y del tráfico, se considera accidente normal, y la presencia de la pantalla acústica se considera accidente grave, debe seleccionarse el nivel de contención correspondiente al riesgo de accidente grave.

6.2. Selección del índice de severidad

Se seguirán los criterios establecidos en la Orden Circular 35/2014 en cuanto a la selección del nivel de severidad.

Para barreras de seguridad y pretils sólo se admitirán índices de severidad A y B. A efectos de seleccionar el sistema, serán preferibles, a igualdad de contención y desplazamiento transversal durante el impacto, los de índice de severidad A sobre los del B.

No se admitirá el empleo de barreras de seguridad o pretils de severidad C ($1,4 < ASI \leq 1,9$), salvo casos excepcionales que se justifiquen adecuadamente y requiriéndose autorización expresa de la Dirección General de Carreteras, que deberá solicitarse para cada obra o actuación concreta.

6.3. Selección de la clase de anchura de trabajo

Cuando una barrera o pretil tenga por objeto proteger al vehículo de un impacto contra una pantalla acústica, se seleccionará la clase de anchura de trabajo de la barrera de seguridad o pretil a disponer en los márgenes de la carretera, para lo cual se tendrá en cuenta lo establecido en la tabla 35 en función de la distancia transversal al obstáculo a proteger.

Tabla 35: Distancia transversal al obstáculo (d_0) y clase de anchura de trabajo (UNE-EN 1317).

Distancia al obstáculo, d_0 (m)	Clase de anchura de trabajo necesaria
$d_0 \leq 0,6$	W1
$0,6 < d_0 \leq 0,8$	W2 a W1
$0,8 < d_0 \leq 1,0$	W3 a W1
$1,0 < d_0 \leq 1,3$	W4 a W1
$1,3 < d_0 \leq 1,7$	W5 a W1
$1,7 < d_0 \leq 2,1$	W6 a W1
$2,1 < d_0 \leq 2,5$	W7 a W1

6.4. Disposición transversal

Las barreras de seguridad y pretils se colocarán siempre fuera del arcén de la carretera y cuando la anchura de este sea inferior a 0,50 m o no haya arcén, se situarán a una distancia transversal del borde de la calzada de, al menos, 0,50 m.

La zona comprendida entre el arcén y el sistema de contención de vehículos deberá ser llana, estar compactada y desprovista de obstáculos y, en caso de recrecimiento sobre el pavimento existente, se reacondicionará para evitar desniveles que puedan dirigir las ruedas de los vehículos y afectar, en su caso, al funcionamiento del sistema de contención. Se exceptuará de este supuesto la presencia de bordillos con los que se aplicarán los criterios recogidos en el apartado 6.3. de la Orden Circular 35/2014.

La distancia entre el borde anterior más próximo al tráfico de una barrera de seguridad o pretil y la pantalla acústica a proteger no será inferior a la anchura de trabajo del sistema a emplear, según lo indicado en el apartado 6.3. En dicha distancia, necesaria para permitir el desplazamiento transversal del sistema de contención en caso de impacto de un vehículo, el terreno también deberá ser llano y estar desprovisto de obstáculos. En aquellos casos en los que se instalen barreras de seguridad o pretils con un nivel de contención igual o superior a H1 para proteger pantallas acústicas de cierta altura, se considerará la intrusión del vehículo además de la anchura de trabajo.

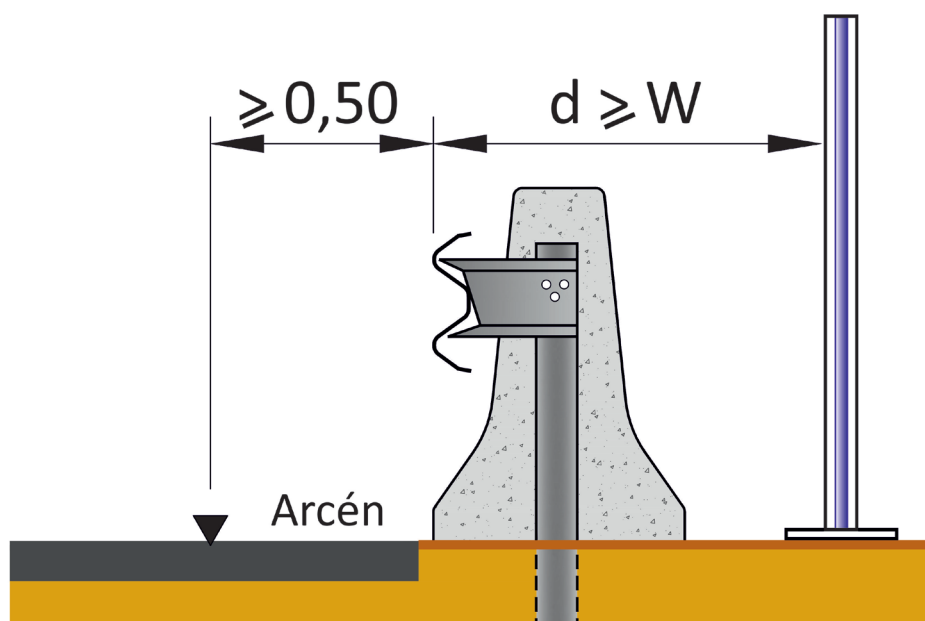


Figura 25: Distancia mínima entre un sistema de contención de vehículo y un obstáculo (d_0).

6.5. Empleo de atenuadores de impacto

En ocasiones, una pantalla acústica puede requerir la colocación de un atenuador de impacto para su adecuada protección.

De acuerdo a la Orden Circular 35/2014, se consideran elementos de riesgo las pantallas acústicas que se encuentren en alguna de estas situaciones:

- Está situada entre las dos plataformas de una divergencia de salida o bifurcación de la calzada, a una distancia inferior a 60 m a partir del punto de apertura de los carriles completos.
- Está situada en la mediana y a menos de 60 m del comienzo de la misma, en el paso de calzada única a calzadas separadas.

En cualquiera de las situaciones anteriores, bifurcaciones de carriles o comienzos de mediana, necesitaremos el empleo de atenuadores de impacto para su correcta protección. Para ello se tendrá en cuenta lo indicado en los apartados 6.7.3 y 6.7.4 de la Orden Circular 35/2014.

6.6. Empleo de sistemas de contención de vehículos con pantalla acústica integrada

El empleo de este tipo de sistemas debe estar debidamente justificado por la falta de disponibilidad del espacio transversal mínimo requerido para la implantación de una pantalla acústica independiente del sistema de contención, y se utilizarán únicamente cuando no sea posible el empleo de alguno de los métodos recogidos en los apartados anteriores.

Los sistemas de contención con pantalla acústica integrada deben estar ensayados y certificados de acuerdo a la norma europea UNE-EN 1317 (marcado CE). En aquellos casos en los que se haya incorporado una pantalla acústica a un sistema de contención existente, el conjunto resultante formado por dicho sistema de contención y la pantalla acústica es, a todos los efectos, un sistema de contención distinto del sistema original.

El fabricante del sistema de contención con pantalla acústica integrada debe presentar la documentación que acredite que, tanto el sistema de contención como la

pantalla acústica con los que han sido realizados los ensayos de choque a escala real según la norma UNE-EN 1317 del certificado, son los mismos que se van a utilizar en la implantación que corresponda y, en particular, que la pantalla acústica integrada en el sistema de contención tiene la misma configuración (misma altura, misma distancia entre soportes), misma geometría y dimensiones y mismos elementos materiales constituyentes que en los ensayos de choque según la norma UNE-EN 1317. Además, el fabricante del producto debe acreditar que el sistema de contención no produce el desprendimiento de objetos de gran masa ($\geq 2,0$ kg), tanto durante los ensayos de impacto a escala real, como ante cualquier otro impacto concebible.

El terreno sobre el que se va a cimentar o apoyar el sistema de contención con pantalla acústica integrada (suelo controlado, asfalto, hormigón...) debe ser el mismo que el utilizado en los ensayos según la norma UNE-EN 1317.

En el caso de existir alguna discrepancia entre la documentación presentada y el sistema de contención con pantalla acústica integrada ensayado y/o instalado en obra, será responsabilidad del fabricante la subsanación del error y, en su caso, las responsabilidades económicas o legales que puedan derivarse.



7

Fase de
ejecución

7.1. Verificación del cumplimiento de requisitos básicos de proyecto

Antes de iniciar la fase de ejecución de la obra el director de obra debe tener definidos desde la fase de proyecto:

- Las longitudes y alturas de las pantallas acústicas a instalar.
- La ubicación de las pantallas acústicas (en la berma, en la cabeza del desmonte, etc.).
- La tipología de las pantallas acústicas a instalar en función de los materiales elegidos para su construcción.
- Los requisitos acústicos de los paneles a instalar (valores de absorción y aislamiento en campo difuso y/o directo según corresponda), que serán como mínimo los indicados en el apartado 5 de este documento.
- Las cargas de diseño (viento, peso propio, nieve etc.) de cada pantalla acústica en función de su ubicación. Se indican los valores mínimos en función de la tipología de la pantalla en el apartado 5 de este documento.
- Otros requisitos específicos de cada pantalla, por ejemplo, la exigencia de una determinada clasificación frente al riesgo de caída de trozos desprendidos en una pantalla a instalar en un viaducto que cruza por encima de otra vía, en la que con motivo de un accidente en el viaducto que produzca la rotura de la pantalla acústica, pueda generar otro accidente en la vía inferior debido a los trozos desprendidos de la pantalla.

Para que el contratista y el director de obra puedan comprobar la idoneidad de las pantallas acústicas propuestas por los fabricantes de los DRR para el proyecto, estos deben proporcionar los siguientes documentos:

1. La declaración de prestaciones (DoP).
2. El marcado CE (etiquetado).
3. Los informes de evaluación o ensayos de tipo inicial (ITT). Se presentarán los informes de ensayo completos (con todas sus hojas) realizados por el laboratorio acreditado, con las prestaciones declaradas en la DoP.

4. Un dossier de producto que incluya las características técnicas del DRR, presentando planos de detalle con las dimensiones geométricas, espesores, características de los materiales, medios de sellado entre los elementos acústicos (si los hubiere), y entre estos y los postes metálicos de soporte (si los hubiere), tolerancias, y resto de características del DRR. El nivel de detalle debe ser suficiente para poder identificar sin lugar a dudas todos los componentes del DRR así como las características técnicas de cada componente (espesor, densidad, calidad del material, etc.).
5. El manual de instalación que describe cómo debe instalarse el producto (elemento acústico, pantalla acústica completa, etc.) para lograr el rendimiento o prestaciones declaradas.
6. Un manual de mantenimiento en el que se especifiquen las acciones a realizar, o a evitar, para mantener la durabilidad de las prestaciones acústicas, la resistencia estructural, etc., a lo largo del tiempo.

La empresa constructora (contratista) y el director de obra deben comprobar:

1. Que el proveedor de los “dispositivos de reducción de ruido” ha elaborado una declaración de prestaciones y dispone de un marcado CE de acuerdo con la norma UNE-EN 14388 conforme a lo indicado en el punto 2 de este documento.
2. Que los informes de ensayo del fabricante proceden de un laboratorio notificado para la norma UNE-EN 14388 y acreditado por ENAC.
3. Que las prestaciones declaradas satisfacen todos y cada uno de los requisitos detallados en los artículos correspondientes del presente documento en su apartado 5 “Tipologías de pantallas acústicas en función de los materiales de los que están constituidas. Requisitos mínimos”. Serán de aplicación los requisitos indicados en cualquiera de los documentos del proyecto constructivo (pliego de condiciones técnicas particulares, estudio acústico, anejo de cálculo de estructuras, etc.), cuando se especifiquen valores superiores a los indicados en el apartado 5 de este documento. Así, por ejemplo, si en el proyecto de construcción se han dimensionado los perfiles metálicos de sujeción de los paneles acústicos de PVC para una carga de viento de 200 kg/m^2 , por estar situados en un viaducto de gran altura, considerando una separación entre perfiles de soporte de 4 m, los paneles acústicos de PVC deberán haber sido ensayados para resistir al menos

esa carga para esa misma separación entre perfiles de soporte. De igual forma, si en el estudio acústico del proyecto se han introducido en el modelo predictivo paneles acústicos de hormigón con un índice de absorción en campo directo de $DL_{RI} = 12$ dB, los paneles propuestos por el fabricante deberán haber sido ensayados para alcanzar ese nivel de absorción.

4. Que, en los informes de ensayo presentados por el fabricante, tanto en los relativos al comportamiento acústico como en los relativos al comportamiento no acústico, la descripción técnica del panel ensayado (geometría, espesores, densidad, materiales, componentes, etc.) es la misma en todos los informes de ensayo. Así, por ejemplo, si para el ensayo de aislamiento en campo directo se han presentado informes de ensayo de un modelo de paneles de metacrilato de 15 mm de espesor con marcos metálicos constituidos por perfiles de acero en los cuatro lados de 5 mm de espesor y juntas EPDM entre enmarcados y perfiles de soporte, en el ensayo de resistencia a las cargas de viento se tiene que haber ensayado con el mismo modelo de panel, con los mismos enmarcados y juntas. De igual forma el resto de los ensayos indicados en la tabla 2 del apartado 2.3.3 deben haber sido realizados con el mismo modelo de panel, enmarcados y juntas.
5. Que, en todos los informes de ensayo presentados por el fabricante, tanto en los relativos al comportamiento acústico como en los relativos al comportamiento no acústico, los elementos de sellado entre paneles y entre los paneles y los perfiles de soporte son los mismos en todos los ensayos y cumplen los requisitos especificados en el apartado 5 de este documento para cada tipología de pantalla. Así, por ejemplo, si en el ensayo de aislamiento en campo directo se han presentado informes de ensayo de paneles acústicos metálicos con tapas laterales de polipropileno y con juntas EPDM de sellado integradas en las tapas, en el ensayo de resistencia a las cargas de viento se debe haber ensayado el mismo modelo de panel, con las mismas tapas de polipropileno y juntas EPDM. De igual forma el resto de los ensayos indicados en la tabla 2 del apartado 2.3.3 deben haber sido realizados con el mismo modelo de panel, las mismas tapas de polipropileno y juntas EPDM. Los elementos de sellado utilizados en los ensayos serán los que se habrán de aplicar durante la ejecución de la obra para conseguir así las mismas prestaciones en la obra que las ensayadas en el laboratorio.

6. Que, en todos los informes de ensayo presentados por el fabricante relativos al comportamiento no acústico, los paneles acústicos han sido ensayados con la longitud más desfavorable prevista en el proyecto. Así, por ejemplo, si en el proyecto se han dispuesto los perfiles de soporte con una separación de 5 m, los paneles acústicos deben haber pasado satisfactoriamente todos los ensayos mecánicos indicados en la tabla 2 del apartado 2.3.3 “VALORES A DECLARAR EN EL MARCADO CE Y EN LA DECLARACION DE PRESTACIONES (DoP)” con una longitud de al menos 5 m.

Cuando la administración y el director de obra soliciten cualquier requisito sobre las prestaciones de la pantalla, no se aceptará la mención “Prestación no determinada” (PND).

7.2. Condiciones de instalación: verificación del correcto montaje de pantallas acústicas

Las comprobaciones de montaje garantizan que el trabajo realizado cumpla con los requisitos del manual de instalación.

Los controles que se realizarán tanto durante la etapa de montaje como después del montaje deben hacerse tanto en la estructura metálica de soporte como en los paneles acústicos de las distintas tipologías.

Con respecto a la estructura metálica de soporte se deben llevar a cabo los siguientes controles:

- Comprobación de la distancia entre ejes de los perfiles de soporte.
- Verificación de la verticalidad o aplomado de los perfiles de soporte.
- La inspección visual de las soldaduras.
- La inspección visual de la capa protectora de pintura.
- La inspección visual de la ausencia de daños causados por el montaje y manipulación.
- Comprobación de las conexiones de tipo estructural con una llave dinamométrica.
- Comprobar la capacidad de carga del anclaje y el fallo del hormigón con un ensayo de extracción.

Con respecto a los paneles acústicos, se deben llevar a cabo los siguientes controles:

- Verificación visual de la correcta inserción de los paneles y el centrado entre los elementos estructurales.
- Inspección visual del sistema de juntas de sellado entre el panel y el perfil de soporte y verificación de que este sistema de sellado se corresponde con el realizado en los ensayos iniciales de tipo (acústicos y mecánicos).
- Verificación del sistema de unión entre panel y panel del mismo tipo y verificación de que este sistema de sellado entre paneles se corresponde con el realizado en los ensayos iniciales de tipo (acústicos y mecánicos).
- Verificación visual del sistema de conexión entre paneles y zócalos u otra estructura de cimientos.
- Verificación visual del sistema de conexión entre paneles de diferentes tipos.
- Verificación visual de la ausencia de daños causados por el montaje o manipulación y de huecos que puedan suponer zonas de fuga acústica.

También se deben llevar a cabo controles específicos para los tipos de productos individuales:

- Verificación de las conexiones atornilladas entre elementos de perfiles metálicos.
- Inspección visual de la colocación de las juntas.
- Control visual de la ausencia de daños en la película protectora para las superficies metálicas pintadas.
- Control visual de la correcta aplicación de los sistemas de protección de las aves en el caso de los módulos transparentes.
- Control visual de las uniones entre barrotes y listones en caso de utilización de paneles de madera.
- Control visual de la ausencia de armaduras visibles en el caso de paneles de hormigón o de otros artículos de hormigón armado.
- Comprobación de los planos de montaje y de la composición de color de la pantalla.
- Comprobación la fijación de cualquier tapajuntas o cubierta metálica.

7.3. Ensayos de recepción

7.3.1. Ensayos acústicos asociados a las características intrínsecas en los dispositivos reductores de ruido

Para evaluar las prestaciones acústicas intrínsecas se prevé la realización de ensayos en campo directo *in situ* que se basa en la evaluación de los siguientes índices, con la aplicación de los siguientes procedimientos:

- Índice de reflexión acústica DL_{RI} , de acuerdo con la norma UNE-EN 1793-5.
- Índice de aislamiento acústico DL_{SI} , de acuerdo con la norma UNE-EN 1793-6.
- Índice de difracción de sonido DL_{ADI} , de acuerdo con la norma UNE-EN 1793-4: el índice de difracción de sonido se evalúa sólo en el caso de que el sistema de protección contra el ruido esté equipado con dispositivos añadidos en la parte superior (elementos tubulares, octogonales u otra forma) que tienen el propósito de influir en la eficacia acústica del sistema original actuando principalmente sobre la energía difractada.

En la fase de los ensayos de recepción, la dirección de obra debe solicitar una verificación experimental de los valores de aislamiento acústico y de absorción acústica, a través del procedimiento *in situ* (campo directo), en tramos de pantalla compuesta del mismo tipo que aquellas para las cuales se realizó la evaluación de las prestaciones acústicas en los ensayos iniciales de tipo durante el proceso del marcado CE. Se recomienda realizar las pruebas de aceptación al inicio de las actividades de instalación. En el caso de que la ejecución de los ensayos sea en fases más avanzadas de la ejecución de la obra, la empresa proveedora no podrá reclamar por posibles acciones correctivas que se realizarán en función de la evaluación de los resultados del ensayo de recepción realizado.

En comparación con los valores nominales del proceso de marcado CE y de la declaración de prestaciones, se admite una tolerancia de 2 dB con respecto al aislamiento acústico, expresada con el índice $DL_{SI, P}$ o $DL_{SI, EL}$ y de 1 dB de tolerancia con respecto al índice de reflexión DL_{RI} . Los valores mínimos establecidos para el cumplimiento acústico en función del tipo de pantalla se muestran en el apartado 5.

En caso de incumplimiento de los requisitos exigidos para las características intrínsecas, se deberán comprobar los materiales utilizados para la construcción de la obra, así como la correcta instalación de las pantallas acústicas.

La prueba de las características acústicas intrínsecas se considera aprobada positivamente solo cuando estas pruebas adicionales también arrojen un resultado positivo.

El número mínimo de ensayos a realizar por cada tipología del proyecto será de $N=2$. Para obras con una superficie de pantallas superior a 2000 m^2 , el número de ensayos, por tipología de pantalla, vendrá dado por la siguiente expresión:

donde,

N : es el número entero de ensayos en campo directo bajo la norma 1793-5 y 1793-6.

$$N = 2 + 10 \cdot \log \left(\frac{S}{2000} \right)$$

S : es la superficie total de pantallas en m^2 .

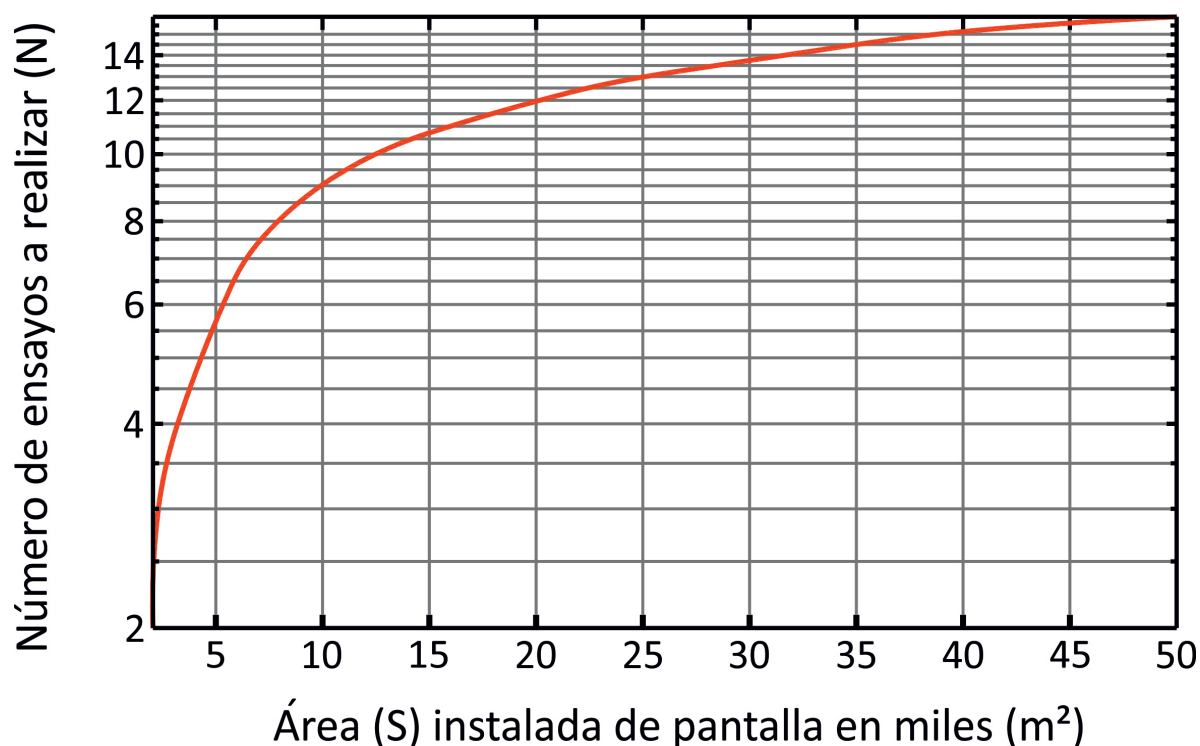


Figura 26: Relación entre el área instalada de pantalla y el número de ensayos a realizar.

Para la selección de las N posiciones a ensayar, se seguirá el criterio de aproximarlos a las zonas de mayor afección acústica, separándolos como mínimo una distancia de 200 m.

En el caso en que los resultados de los ensayos para el total de puntos evaluados sean desfavorables para al menos el 20 % de los casos, se duplicará el número de ensayos en aquellos puntos donde se hayan detectado resultados fuera del mínimo exigible.

Para que los resultados de los ensayos de recepción sean comparables con los realizados en la fase del marcado CE, se realizarán sobre tramos de pantalla con al menos 4 m de altura. De no existir tramos en la obra con esa altura, se prolongará la altura de alguno de los tramos de la obra en una longitud de al menos 6 m hasta alcanzar los 4 m de altura en esa longitud. Se prestará especial atención a los sistemas de sellado entre paneles y entre paneles y postes de soporte de forma que los realizados en el tramo de ensayo sean iguales a los realizados en el resto de la obra.

En caso de que los resultados de los ensayos no sean satisfactorios se procederá a realizar una evaluación técnica de las causas comprobando si son correctos todos los factores intervinientes:

- Material (pantalla acústica).
- Instalación.
- Proyecto acústico.
- Cambio en las condiciones del entorno.

7.3.2. Ensayos asociados a las características extrínsecas en los dispositivos reductores de ruido

Las inversiones en pantallas acústicas en los proyectos de carreteras van encaminadas al cumplimiento de los niveles máximos de inmisión en las viviendas más expuestas, garantizando en todo momento la protección de las personas.

Independientemente que los ensayos *in situ* de las pantallas certifiquen las características prescritas en el proyecto, estas serán ineficaces si la mejora prevista no se materializa tras la ejecución de las obras, bien por diferencias o errores en las hipótesis consideradas del modelo predictivo, bien por modificaciones en la ejecución de la obra respecto de lo proyectado, sobremanera, la variación de la posición relativa de la pantalla respecto del vial y las edificaciones más afectadas.

Es por ese motivo, resulta necesario verificar la eficacia de su implantación, antes de la puesta en servicio, siguiendo el procedimiento que se expone a continuación:

1. Los proyectos de apantallamiento incorporarán un apartado específico denominado “ensayos en receptores sensibles previamente a la puesta en servicio”, donde el proyectista fijará, por cada 1000 m lineales de pantalla, la sección más crítica obtenida del cálculo predictivo, es decir, aquellas secciones perpendiculares a la vía donde se encuentren las edificaciones con mayores niveles de ruido en la fachada.
2. En dicha sección, se identificará la edificación más expuesta al ruido (R) donde se calculará el valor del nivel de ruido a una distancia de 2 m de la fachada y a una altura de 4 m sobre el suelo obtenido del modelo predictivo (LP), para el tráfico del horizonte fijado en proyecto, anotándose sus coordenadas UTM para su posterior replanteo en obra. Igualmente se incluirá una tabla con las mejoras obtenidas tras la implantación de la pantalla en el resto de los edificios de su entorno (receptores Ri), valores que denominaremos (ILPi).
3. Para cada sección transversal, el proyectista igualmente calculará la mejora acústica obtenida tras la implantación de la pantalla en dicha edificación, para la consideración de la emisión de una fuente puntual de ruido omnidireccional (F), situado a una altura de 1 m sobre el eje del carril más próximo a la pantalla, anotándose sus coordenadas UTM, para su replanteo posterior en obra. El receptor sensible a evaluar (R) se situará en el modelo predictivo, en la misma posición descrita en el apartado anterior. Se indicará en el proyecto la potencia acústica de la fuente simulada.
4. La atenuación conseguida (ILP) vendrá dada por la diferencia de los niveles sonoros estimados en la fachada de la edificación seleccionada, sin y con pantalla, con la fuente puntual en funcionamiento, expresado en dBA, resultados que quedarán recogidos en el proyecto para su posterior comprobación.
5. Para verificar dicha mejora se realizará una campaña de ensayos acústicos siguiendo los criterios descritos en los siguientes apartados, registrando los niveles de presión sonora antes y después de la instalación del dispositivo reductor de ruido.
6. Las mediciones se realizarán con sonómetros tipo I que cumplan con las condiciones de medición establecidas en el apartado 3.5 del anejo IV del Real Decreto 1367/2007. De igual forma, será obligatoria la colocación de pantallas antiviento en el micrófo-

no durante las mediciones. El indicador utilizado será el nivel de ruido equivalente (L_{Aeq}), expresado en dBA.

7. Para garantizar una mejor relación señal ruido, todos los ensayos se realizarán en la franja horaria nocturna en el que el ruido de fondo sea lo más bajo posible.
8. En primer lugar, se situará una fuente de ruido omnidireccional, en la posición (F) establecida en el proyecto, con dinámica suficiente para que los niveles sonoros medidos en el receptor sensible seleccionado se encuentren 3 dBA por encima del ruido de fondo (RF). Para garantizar un mismo nivel de potencia acústica de la fuente en la posición (F), antes y después de la instalación de la pantalla acústica, se tomarán registros que se describen a continuación:
 - a. Para el caso del nivel de presión de la fuente antes de la instalación de la pantalla acústica, se realizará una medida en la posición (F), ubicando el micrófono y tomando los valores de potencia acústica en al menos 4 puntos alrededor de la fuente sobre el eje de emisión horizontal y a una distancia de 1 m de la fuente (L_{Fi}). Además, se comprobará que las condiciones meteorológicas son las adecuadas.
 - b. Para la obtención de los niveles de presión sonora alrededor de la fuente después de la instalación de la pantalla acústica, se regulará el amplificador de la fuente emisora hasta obtener el mismo nivel de presión sonora en las cuatro posiciones descritas en el apartado a), que denominaremos (L_{Ff}). De igual forma, la topografía del terreno y las condiciones ambientales deberán ser similares a las existentes antes.
9. Seguidamente se situará el micrófono del sonómetro en la posición del receptor (R) establecida en proyecto, a 4 m sobre el nivel del suelo, fijado a un elemento portante estable y separado al menos 2 m de cualquier fachada o paramento que pueda introducir distorsiones por reflexiones en la medida.
10. Con la fuente sonora en funcionamiento, se tomarán un mínimo de cinco medidas de los niveles sonoros de 15 segundos de duración, con un intervalo mínimo de 3 minutos entre ellas, obteniéndose como nivel sonoro resultante, la media aritmética de las medidas registradas (L_{AeqT}). De la misma forma se actuará con la fuente apagada, obteniéndose el valor (L_{AeqRF}).
11. El nivel sonoro resultante en el receptor sensible (R), con la fuente sonora en funcionamiento (L_{AeqAR}), será la parte entera del nivel medido, corregido por el

ruido existente con la fuente apagada (ruido de fondo), conforme a las siguientes correcciones:

F: posición de la fuente sonora omnidireccional.

Si $L_{Aeq} T - L_{Aeq} RF > 10 \text{ dB(A)} \rightarrow$ No se realiza corrección por RF $L_{Aeq} AR = L_{Aeq} T$

Si $L_{Aeq} T - L_{Aeq} RF \leq 3 \text{ dB(A)} \rightarrow$ No se puede determinar la afección ruidosa de la actividad.

Para los demás casos $\rightarrow L_{Aeq} AR = 10 \log \left(10^{\left(\frac{L_{Aeq} T}{10}\right)} - 10^{\left(\frac{L_{Aeq} RF}{10}\right)} \right)$

R: punto de control en el edificio.

IL_p: mejora acústica por inserción del modelo predictivo para la fuente F, en dBA.

IL_c: mejora acústica por inserción obtenida en campo, en dBA.

MR: incremento de niveles sonoros en R (ILP-ILC) en dBA.

LP: niveles de ruido en R para ruido del tráfico obtenido en proyecto, en dBA.

LP_{con}: nivel de ruido en R para ruido de tráfico estimado tras las mediciones en campo, en dBA.

LA_{eq} RF: nivel equivalente corregido por ruido de fondo en R para una emisión en la fuente F, en dBA.

LA_{eq} T: nivel equivalente para el periodo temporal de la fuente F durante el ensayo.

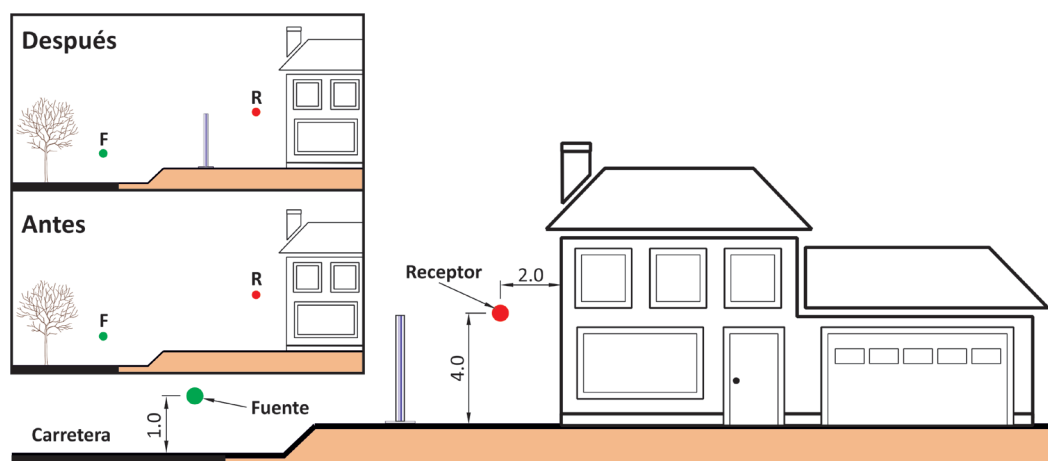


Figura 27: Esquema para la verificación de la eficacia de una pantalla acústica tras su implantación y antes de su puesta en servicio.

12. La mejora obtenida en campo (ILC) tras la implantación de la pantalla, será, para la fuente puntual, la diferencia entre el valor entre los niveles sonoros inicial (antes de la instalación de la pantalla acústica) y final (después de la instalación de la pantalla acústica) $L_{Aeq}ARi - L_{Aeq}ARf$, expresado en dBA.
13. Por último, se procederá a comparar la mejora medida en campo con la estimada en el proyecto, valor (MR1), obtenida por la diferencia ILP-ILC. En el caso de que diferencia fuera positiva, se actuará de la siguiente manera:
- a. Se le sumará al nivel estimado en la edificación (R) en el modelo predictivo para el ruido de tráfico (LP), la reducción de la mejora prevista (MR), obteniéndose el incremento de nivel producido como consecuencia de la pérdida de la efectividad real de la pantalla, valor que denominaremos (LPcorr).
 - b. En el supuesto de que el valor (LP1corr) sobrepase los niveles máximos de inmisión exigidos para nuevas infraestructuras viarias (Tabla A1 del Real Decreto 1367/2007), se procederá a la redacción de un plan de acción específico.
 - c. En este plan de acción, inicialmente se analizará el impacto acústico de este incremento de niveles en las viviendas del entorno, ampliando la campaña de ensayos iniciales, si fuera necesario.
 - d. Una vez conocido el alcance, se propondrán las medidas correctoras que sea necesario implantar para cumplir con los requisitos legales. Estas medidas correctoras irán encaminadas a aumentar la efectividad de la pantalla, como pudiera ser entre otras el aumentado de altura o mediante la colocación de difractores en coronación de las pantallas. Solo como último recurso, se propondrá actuar sobre las edificaciones, aumentando el aislamiento de sus fachadas, garantizando en todo caso los objetivos de calidad acústica en el espacio interior habitable.

7.3.3. Mecánicos: ensayo de resistencia a cargas

Los sistemas antirruído deben estar ensayados para resistir cargas de tipo estático y dinámico atribuibles a:

- Cargas de viento, de nieve y su propio peso.
- Sobrepresión dinámica de vehículos en tránsito.
- Sobrepresión debido a la nieve acumulada desde los medios de evacuación.

En esta fase de ensayo de recepción, el objetivo es comprobar que los paneles acústicos en presencia de la carga de viento de diseño cumplen con los límites máximos de deflexión requeridos por las normas.

La prueba experimental debe llevarse a cabo en las mismas condiciones (aplicación de la carga y medición de la deformación) que se realizaron en la fase de marcado CE y declaración de prestaciones según el procedimiento de ensayo indicado en la norma UNE-EN 1794-1.

De igual forma para la realización del ensayo, las juntas entre paneles y el sistema de unión de los paneles con el poste deben ser los mismos que los realizados en la obra. En el caso de existir distintas configuraciones de unión panel-poste y/o distintas separaciones entre perfiles de soporte, se escogerá para llevar a cabo el ensayo la configuración más desfavorable.

Para ello la dirección de obra escogerá aleatoriamente de entre los paneles suministrados el número de unidades necesarias para llevar a cabo el ensayo. No se permitirá el envío directo desde la fábrica al laboratorio de ensayo de paneles acústicos fabricados exprofeso para el ensayo, sino que serán elegidos aleatoriamente de entre los paneles suministrados a la obra.

La prueba generalmente se lleva a cabo colocando los paneles en posición horizontal aplicando a la pantalla una carga uniformemente distribuida mediante sacos de arena o cemento, simulando la carga de viento y la carga dinámica debido a la sobrepresión de los vehículos en tránsito conforme a lo indicado en el punto 3.1.

Se realizará al menos un ensayo de carga de viento por cada tipología de panel instalado en la obra. En función del volumen de la obra, la dirección de obra podrá optar por realizar un número mayor de ensayos.

El propósito es determinar si la resistencia frente a la carga de viento y las deformaciones elástica y permanente, se corresponde con las medidas durante en el ensayo inicial de tipo que dio lugar a los valores declarados en la DoP. Las cargas a aplicar serán las indicadas en las tablas de valores mínimos del punto 5 para cada tipología de pantalla, salvo que en el proyecto constructivo la carga de diseño sea mayor, en cuyo caso se aplicará esta última.

8

**Definiciones y
conceptos básicos**

Absorción: característica intrínseca de los materiales constituyentes de las pantallas acústicas que se refiere a su capacidad de disipar parte de la energía acústica de la onda sonora incidente sobre la pantalla acústica. La capacidad de absorción acústica de un material se expresa mediante el coeficiente de absorción, que es función de la frecuencia o espectro de frecuencias de la onda sonora incidente.

Para evaluar la capacidad de absorción acústica de una pantalla acústica, como un conjunto constituido por todos los elementos y materiales que la componen, se emplean unos índices de evaluación apropiados al uso previsto.

- **DL_{α}** : índice de evaluación de la absorción acústica de una pantalla en campo difuso, se expresa en decibelios (dBA).
- **DL_{RI}** : índice de absorción (reflexión) definido para aplicaciones de campo directo, se expresa en decibelios (dBA).

Aislamiento: característica intrínseca de los materiales constituyentes de las pantallas acústicas que se refiere a su capacidad de impedir, en mayor o menor medida, que parte de la energía acústica de la onda sonora incidente sobre la pantalla acústica pase a su través. La capacidad de aislamiento acústico de un material se expresa mediante el coeficiente de aislamiento o reducción acústica, que es función de la frecuencia o espectro de frecuencias de la onda sonora incidente.

Para evaluar la capacidad de aislamiento acústico de una pantalla acústica, como un conjunto constituido por todos los elementos y materiales que la componen, se emplean unos índices de evaluación apropiados al uso previsto.

- **DL_R** : índice de aislamiento acústico de una pantalla en campo difuso, se expresa en dBA.
- **DL_{SI}** : índice de aislamiento acústico de una pantalla en campo directo, se expresa en dBA. Este índice se obtiene, en su caso, en función del índice de aislamiento a ruido aéreo $DL_{SI,EL}$ correspondiente a la zona de elementos acústicos y del índice de aislamiento a ruido aéreo $DL_{SI,p}$ correspondiente a la zona de los postes soporte.

Campo acústico difuso: propagación del sonido radiado por la fuente sonora en espacios cerrados o relativamente confinados en que predominan fenómenos de reverberación.

Campo acústico libre o directo: propagación del sonido radiado por la fuente sonora en espacios abiertos en que no predominan los fenómenos de reverberación.

Decibelio (dB): el nivel del sonido en un punto concreto se mide en una escala en decibelios como la diferencia de presión en ese punto respecto de una presión P_0 denominada presión de referencia, que se corresponde con el nivel inferior de audición del oído humano y que su valor es de 2×10^{-5} pascals. El oído humano es capaz de detectar variaciones de presión comprendidas entre $20 \mu\text{Pa}$ (umbral inferior de audición) y $10^8 \mu\text{Pa}$ (umbral de dolor), es decir un rango muy amplio, por esta razón y con el fin de no utilizar cifras tan elevadas, se usa una escala decibélica para su evaluación.

Decibelio A (dBA): el oído humano percibe de diferente manera el nivel sonoro según sea la frecuencia del sonido, por lo que se han realizado estudios para definir unas curvas de ponderación en frecuencia que tome en consideración esta diferente apreciación subjetiva. Para representar con un solo valor el nivel de un ruido, que es una mezcla confusa de sonidos de diversas frecuencias, hay que considerar el hecho de que el oído humano no posee la misma sensibilidad para todas y cada una de la gama de frecuencias audibles, por ello, se efectúa una ponderación con ayuda de un filtro o curva "A" de ponderación de frecuencia y el nivel de presión sonora viene expresado entonces en decibelios A o dBA.

Difracción: fenómeno que afecta a la propagación de la onda sonora generando la dispersión de la energía acústica de la misma en los bordes (aristas de difracción) de los obstáculos no permeables al sonido (pantallas acústicas), que encuentra en su camino. Su explicación se basa en el principio de Fresnel-Huygens y la magnitud del efecto depende de la relación que existe entre la longitud de onda y el tamaño del obstáculo.

Dispositivos reductores de ruido (DRR): dispositivos diseñados para reducir la propagación del ruido del tráfico en el entorno de la carretera. Los DRR pueden comprender solo elementos acústicos o tanto elementos estructurales como acústicos. Las aplicaciones de los DRR incluyen pantallas acústicas, revestimientos fonoabsorbentes, cubiertas totales o parciales de la vía y dispositivos adicionales (difractores).

Elemento acústico: elemento cuya función principal es proveer propiedades acústicas al dispositivo reductor de ruido.

Elemento estructural: elemento cuya función principal es soportar o mantener en su posición los elementos acústicos.

Emisor acústico: foco donde se localiza la fuente sonora generadora del ruido, tal como cualquier infraestructura, equipo, maquinaria, actividad o comportamiento que genere contaminación acústica.

Inmisión sonora: nivel de presión sonora en un receptor, generado por uno o varios emisores.

Nivel de presión sonora, SPL o L: se define el nivel de presión sonora como veinte veces el logaritmo decimal de la relación entre una presión sonora determinada y la presión sonora de referencia (2×10^{-5} Pa). Se expresa en dB y/o dBA.

Pantallas acústicas: son aquellos elementos o dispositivos, que dispuestos entre la fuente y el receptor y dimensionados convenientemente, suponen una barrera que interrumpe el camino de propagación de las ondas sonoras, ofreciendo una gran resistencia a la transmisión del sonido a su través y distinto grado de absorción acústica, para crear una zona de “sombra acústica” junto al receptor, por difracción de las ondas sonoras en sus bordes.

Pérdida por inserción (IL): eficacia acústica en la reducción de la inmisión sonora, resultante de la diferencia entre los niveles de presión sonora en un receptor antes y después de la instalación de una pantalla acústica. La definición de la pérdida por inserción de una pantalla acústica viene dada por la expresión:

$$IL = 10 \cdot \log \frac{(P_{dir})^2}{(P_{dif})^2}$$

Donde P_{dir} es la presión sonora en el receptor antes de la instalación de la pantalla y P_{dif} es la presión sonora en el receptor después de la instalación de la pantalla, de forma que:

$$IL = SPL_{directo} - SPL_{difractado}$$

Donde $SPL_{directo}$ es el nivel de presión sonora en el receptor antes de la instalación de la pantalla y $SPL_{difractado}$ es el nivel de presión sonora después de la instalación de la pantalla acústica.

Presión sonora: fluctuación de la presión atmosférica por encima y por debajo de su valor estático en presencia de una onda acústica, expresada en pascales (Pa).

Propagación: trayectorias descritas por las ondas sonoras entre el emisor y el receptor.

Receptor: punto donde se localiza una zona o ente sensible al impacto acústico, tal como cualquier persona, comunidad, edificación, etc. susceptible de verse afectada por la contaminación acústica.

Reflexión: característica intrínseca de los materiales constituyentes de las pantallas acústicas que se refiere a su capacidad de modificar la dirección de propagación de la energía acústica de la onda sonora en función de su ángulo de incidencia sobre la superficie de la pantalla acústica.

Reverberación: fenómeno que se refiere a la permanencia del sonido en un espacio más o menos cerrado, una vez que ha cesado la emisión de la fuente sonora. La permanencia del nivel sonoro se mantiene decreciente hasta su desaparición durante un determinado espacio de tiempo.



Anexos

Anexo I: Búsqueda de laboratorios notificados

Se muestra en las siguientes imágenes el proceso de búsqueda de laboratorios notificados. Introduciendo la especificación técnica 14388 en el formulario de búsqueda de la siguiente página web de la Comisión Europea, se presentan los laboratorios notificados a nivel europeo:

<https://webgate.ec.europa.eu/single-market-compliance-space/#/notified-bodies/free-search>

NOTA: Se debe marcar la opción “productos de construcción” para habilitar a continuación la opción de ingresar la especificación técnica “14388” en el formulario.

Single Market Compliance Space

Home Notified Bodies Noise emissions Glossary

Free search

Refine list of bodies using search criteria below (by entering appropriate keywords) and click on body name to view details

Search options

Notification status: Active

Body number:

Body name:

Legislation: Regulation (EU) No 305/2011

Article/Annex:

Procedure:

Products:

☒ Construction products legislation

☐ Interoperability legislation

☐ Medical devices legislation

Decision:

Product family:

Intended use:

AVCP system:

Technical specification: 14388

Search results (1489)

Showing results 1 - 30

NOTIFICATION STATUS: Active

Items per page: 30

Body type	Body name	Country
NB 2911	TEHNIČKI PROJEKT I ITESTI d.o.o.	Croatia
NB 0504	VTT Expert Services Oy	Finland
NB 3013	SNC Uygunluk Değerlendirme Anonim Şirketi	Türkiye
RTPO 2620	International Weld S.r.l.	Italy
NB 2958	CCS (GREECE) LTD	Greece
RTPO 2761	ITEC - ISTITUTO TECNOLOGICO EUROPEO DI CERTIFICAZIONE S.r.l.	Italy
NB 2741	Kontest Belgelendirme ve Muayene Hizmetleri Limited Şirketi	Türkiye
NB 2749	VBG CERT OOD	Bulgaria
RTPO 2749	VBG CERT OOD	Bulgaria
NB 3016	Alba Akademi Belgelendirme Güzelm ve Eğitim Hizmetleri Tic. Ltd. Şti.	Türkiye
NB 2354	TÜV NORD Turkey Teknik Kontrol ve Belgelendirme Anonim Şirketi	Türkiye
NB 1777	LABORATORIO PROVE MATERIALI - POLITECNICO DI MILANO	Italy
NB 1685	CONTROL LIFT SA	Greece
NB 2514	EQS CERT, Lda.	Portugal
NB 2211	Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade	Portugal
NB 2890	Arrowhead Industrial Services (EU), Unipessoal Lda	Portugal
NB 1231	TÜV NORD NEDERLAND B.V.	Netherlands
NB 2680	Bureau Technical Inspection OÜ	Estonia
NB 0644	INGENIERIA Y TECNICAS DE CALIDAD S.L. INTECA	Spain
RTPO 2414	SC TÜV AUSTRIA ROMANIA SRL	Romania
NB 1837	ITEM CONSULT Ltd. - Departament Conformity Assessment	Bulgaria
NB 0063	Kiwa Nederland B.V.	Netherlands
NB 0598	SGS FIMKO OY	Finland

Figura 28: Vista del proceso de búsqueda de laboratorios notificados a fecha de edición del presente documento..

Single Market Compliance Space

[Home](#)
[Notified Bodies](#)
[Noise emissions](#)
[Glossary](#)
[Home](#) > [Notified Bodies](#) > [Free search](#)

Free search

Refine list of bodies using search criteria below (by entering appropriate keywords) and click on body name to view details

Search options

Notification status

Active

Body number

Body name

Legislation

Regulation (EU) No 305/2011 - 

Article/Annex

Procedure

Products

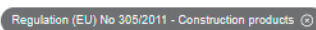
☒ Construction products legislation

☐ Interoperability legislation

☐ Medical devices legislation

Decision

Search results (30)

NOTIFICATION STATUS LEGISLATION TECHNICAL SPECIFICATION Items per page: 30 

Body type 	Body name 	Country
NB 2211	Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade	Portugal
NB 0497	CSI SPA	Italy
NB 0370	LGAI TECHNOLOGICAL CENTER, S. A.(Applus+)	Spain
NB 1292	FUNDACION TECNALIA RESEARCH & INNOVATION	Spain
NB 0809	Eurofins Expert Services Oy	Finland
NB 1164	Centre d'Etudes et de Recherche de l'Industrie du Béton (CERIB)	France
NB 0407	ISTITUTO GIORDANO S.P.A.	Italy
NB 1783	TURKISH STANDARDS INSTITUTION (TSE)	Türkiye
NB 2264	Peutz bv	Netherlands
NB 1415	ÉMI Építészeti Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.	Hungary
NB 2477	Institut IGH dioničko društvo za istraživanje i razvoj u graditeljstvu	Croatia
NB 1136	BUILDWISE - CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC) - WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF (WTCB) - BELGIAN BUILDING RESEARCH INSTITUTE (BBRI)	Belgium

Figura 29: Vista de los resultados de la búsqueda de laboratorios notificados.

Anexo II: Ejemplo de declaración de prestaciones (DoP) para pantallas acústicas y otros DRR

Tabla 36: Ejemplo de documento de declaración de prestaciones (DoP) (Parte I: Datos básicos).

Declaración de prestaciones:
(Declaration of performance DoP) No. 001CPR2014-07-14
1. Código de identificación único del producto y su referencia:
ANYNOISE Pantalla acústica absorbente tipo ABC123
2. Tipo, lote o serie o cualquier otro elemento que permita la identificación del producto de construcción como exige el artículo 11, apartado 4:
Tipo ABS123 de 3,0 m largo x 0,5 m alto x 0,11 m ancho sección de panel elementos estructurales (postes)
3. Uso o usos previstos del producto de construcción, de acuerdo con la especificación técnica armonizada aplicable, según lo previsto por el fabricante:
Reducción de ruido junto a las carreteras
4. Nombre, marca registrada o marca comercial registrada y dirección de contacto del fabricante, según lo dispuesto en el artículo 11 (5):
AnyCo SA, Apdo. Correos 2100 28100 Madrid, España Fax: +34123456789 Email: anyco.sa@provider.es
5. En su caso, nombre y dirección de contacto del representante autorizado cuyo mandato abarca las tareas especificadas en el artículo 12 (2):
Anyone Ltd Flower Str. 24 West Hamfordshire UK-589645 United Kingdom Tel. +44987654321 Fax: +44123456789 E-mail: anyone.ltd@provider.uk

Continuación

Declaración de prestaciones:**(Declaration of performance DoP) No. 001CPR2014-07-14****6. Sistema o sistemas de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones del producto de construcción como se establecen en el RPC, anexo V:**

Sistema 3

7. En el caso de la declaración de prestaciones relativa a un producto de construcción cubierto por una norma armonizada:**Ensayos acústicos (absorción y aislamiento). En campo difuso y en campo directo:**

Índice de evaluación de la absorción sonora $DL_{\alpha, NRD}$:	Informe de ensayo N° por el laboratorio acreditado: (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Índice de evaluación del aislamiento a ruido aéreo DL_R :	Informe de ensayo N° por el laboratorio acreditado: (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Índice de evaluación de la reflexión del sonido: DL_{RI} :	Informe de ensayo N° por el laboratorio acreditado: (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Índice de evaluación del aislamiento a ruido aéreo en el poste: $DL_{SI, P}$:	Informe de ensayo N° por el laboratorio acreditado: (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Índice de evaluación del aislamiento a ruido aéreo en el elemento: $DL_{SI, EL}$:	Informe de ensayo N° por el laboratorio acreditado: (Nombre y N° del laboratorio) en fecha

Ensayos mecánicos:

Peso seco (panel de 4 m de longitud):	Informe de ensayo N° por el laboratorio acreditado: (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Peso mojado reducido (panel de 4 m de longitud):	Informe de ensayo N° por el laboratorio acreditado: (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Peso mojado (panel de 4 m de longitud):	Informe de ensayo N° por el laboratorio acreditado: (Nombre y N° del laboratorio) en fecha

Prescripciones técnicas exigibles a los dispositivos reductores de ruido (DRR)

Continuación	
Declaración de prestaciones:	
(Declaration of performance DoP) No. 001CPR2014-07-14	
Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico para paneles de 4 m de longitud:	Informe de ensayo N° ... por el laboratorio acreditado: ... (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar:	Informe de ensayo N° ... por el laboratorio acreditado: ... (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar Fd50 o F segura con $SF \geq 1.5$ (carga de ensayo = carga de diseño x un coeficiente de seguridad mínimo de 1.5):	Informe de ensayo N° ... por el laboratorio acreditado: ... (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar Fd50 o F segura con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5:	Informe de ensayo N° ... por el laboratorio acreditado: ... (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Carga normal (90°) de diseño debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar:	Informe de ensayo N° ... por el laboratorio acreditado: ... (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Carga normal (90°) de ensayo debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar (carga de ensayo = carga de diseño x un coeficiente de seguridad de 1.5):	Informe de ensayo N° ... por el laboratorio acreditado: ... (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza:	Informe de ensayo N° ... por el laboratorio acreditado: ... (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Reflexión de la luz:	Informe de ensayo N° ... por el laboratorio acreditado: ... (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras:	Informe de ensayo N° ... por el laboratorio acreditado: ... (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
Resistencia a cargas dinámicas-riesgo de caída de trozos desprendidos: elemento acústico de 4 m de longitud:	Informe de ensayo N° ... por el laboratorio acreditado: ... (Nombre y N° del laboratorio) en fecha
8. Declaración de prestaciones:	

Tabla 37: Ejemplo de documento de declaración de prestaciones (DoP)
(Parte II:Características esenciales).

ANYNOISE Pantalla acústica absorbente tipo ABC123		
Características esenciales: longitud del panel: 4 m	Valor	Norma
Índice de evaluación de la absorción sonora $DL_{\alpha, NRD}$:	20 dB	UNE-EN 1793-1
Índice de evaluación del aislamiento a ruido aéreo DL_R :	28 dB	UNE-EN 1793-2
Índice de evaluación de la reflexión del sonido: DL_{RI} :	8 dB	UNE-EN 1793-5
Índice de evaluación del aislamiento a ruido aéreo en el poste: $DL_{SI, P}$:	35 dB	UNE-EN 1793-6
Índice de evaluación del aislamiento a ruido aéreo en el elemento: $DL_{SI, EL}$:	38 dB	UNE-EN 1793-6
Peso seco (panel de 4 m de longitud):	40 kg	UNE-EN 1794-1
Peso mojado reducido (panel de 4 m de longitud):	50 kg	UNE-EN 1794-1
Peso mojado (panel de 4 m de longitud):	80 kg	UNE-EN 1794-1
Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico para paneles de 4 m de longitud:	960 kg (12 paneles mojados)	UNE-EN 1794-1
Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar:	Horizontal 150 kg/m ² y vertical 1218 kg	UNE-EN 1794-1
Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar F_{d50} o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (carga de ensayo = carga de diseño x un coeficiente de seguridad mínimo de 1.5):	220 kg/m ²	UNE-EN 1794-1
Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar F_{d50} o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5:	330 kg/m ²	UNE-EN 1794-1
Carga normal (90°) de diseño debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar:	15 kN/2x2	UNE-EN 1794-1
Carga normal (90°) de ensayo debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar (carga de ensayo = carga de diseño x un coeficiente de seguridad de 1.5):	22,5 kN/2x2	UNE-EN 1794-1
Resistencia al fuego causado por el fuego de la maleza:	Clase 3	UNE-EN 1794-2
Reflexión de la luz:	Clase 2	UNE-EN 1794-2
Resistencia a cargas dinámicas por el impacto de piedras:	Satisfactorio	UNE-EN 1794-1

Continuación ANYNOISE Pantalla acústica absorbente tipo ABC123		
Características esenciales: longitud del panel: 4 m	Valor	Norma
Resistencia a cargas dinámicas-Riesgo de caída de trozos desprendidos: elemento acústico de 4 m de longitud	Clase 2	UNE-EN 1794-2
Protección medioambiental:	100 % reciclable	UNE-EN 1794-2
Emisión de sustancias peligrosas (mercurio):	66 ppm	UNE-EN 1794-2

Tabla 38: Ejemplo de documento de declaración de prestaciones (DoP) (Parte III: Durabilidad de las características acústicas y no acústicas).

Durabilidad acústica													
Absorción sonora DL_{α}													
Valor al final de vida útil:	13 dB												UNE-EN 14389
	4B1	4B2	4C2	4C3	4C4	4K2	4K3	4M3	4M4	4S2	4Z6	4Z7	UNE-EN 14389
Vida útil declarada en función de la clase de exposición ambiental:	10	15	15	15	23	8	20	15	15	10	20	20	UNE-EN 14389
Índice de reflexión DL_{RI}													
Valor al final de vida útil:	6 dB												UNE-EN 14389
	4B1	4B2	4C2	4C3	4C4	4K2	4K3	4M3	4M4	4S2	4Z6	4Z7	UNE-EN 14389
Vida útil declarada en función de la clase de exposición ambiental:	10	15	15	15	23	8	20	15	15	10	20	20	UNE-EN 14389
Aislamiento a ruido aéreo DL_R													
Valor al final de vida útil:	25 dB												UNE-EN 14389
	4B1	4B2	4C2	4C3	4C4	4K2	4K3	4M3	4M4	4S2	4Z6	4Z7	UNE-EN 14389
Vida útil declarada en función de la clase de exposición ambiental:	10	15	15	15	23	8	20	15	15	10	20	20	UNE-EN 14389

Durabilidad acústica													
Aislamiento a ruido aéreo $DL_{SI, G}$													
Valor al final de vida útil:	35 dB												UNE-EN 14389
	4B1	4B2	4C2	4C3	4C4	4K2	4K3	4M3	4M4	4S2	4Z6	4Z7	UNE-EN 14389
Vida útil declarada en función de la clase de exposición ambiental:	10	15	15	15	23	8	20	15	15	10	20	20	UNE-EN 14389
Durabilidad no acústica													
	4B1	4B2	4C2	4C3	4C4	4K2	4K3	4M3	4M4	4S2	4Z6	4Z7	UNE-EN 14389
Vida útil declarada en función de la clase de exposición ambiental:	10	15	15	15	23	8	20	15	15	10	20	20	UNE-EN 14389

Tabla 39: Ejemplo de documento de declaración de prestaciones (DoP)
(Parte IV: Firma).

9. Las prestaciones del producto identificado en los puntos 1 y 2 está en conformidad con las prestaciones declaradas en el punto 8.

Esta declaración de prestaciones se expide bajo la exclusiva responsabilidad del fabricante identificado en el punto 4.

Firmado por y en nombre del fabricante por:

Nombre y función:

Lugar y fecha de emisión:

Firma:

Anexo III: Ejemplo de marcado CE



1292

AnyCo SA, Apdo. Correos 2100, 28100 Madrid, España.

14

No. 001CPR2014-07-14

EN 14388

PA ABS 123

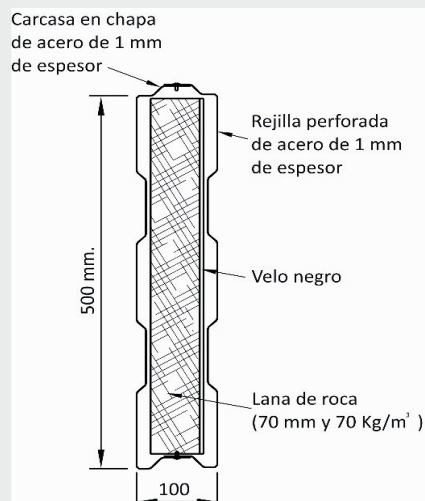
Pantalla acústica para reducción de ruido de tráfico

Tipo: PA ABS 123

Elementos acústicos: Tipo ABS123 de 3,0 m x
0,5 m x
0,11 m ancho sección panel

Elementos estructurales (postes): Tipo ABC 123 Perfil
normalizado HEA 140

Croquis:



- Símbolo CE
- N.º Identificación del laboratorio notificado
- Nombre y dirección del fabricante
- Dos últimos dígitos del año del marcado CE
- N.º de referencia de la DoP
- N.º de la norma europea aplicada
- Código de identificación del tipo de producto
- Uso previsto del producto

Niveles o clases
de prestaciones
declaradas



ANYNOISE Pantalla acústica absorbente tipo ABC123		
Características esenciales: longitud del panel: 4 m	Valor	Norma
Índice de evaluación de la absorción sonora $DL_{a,NRD}$:	20 dB	UNE-EN 1793-1
Índice de evaluación del aislamiento a ruido aéreo $DL_{a,r}$:	28 dB	UNE-EN 1793-2
Índice de evaluación de la reflexión del sonido: $DL_{R,r}$:	8 dB	UNE-EN 1793-5
Índice de evaluación del aislamiento a ruido aéreo en el poste: $DL_{a,r,p}$:	35 dB	UNE-EN 1793-6
Índice de evaluación del aislamiento a ruido aéreo en el elemento: $DL_{a,r,EL}$:	38 dB	UNE-EN 1793-6
Peso seco (panel de 4 m de longitud):	40 kg	UNE-EN 1794-1
Peso mojado reducido (panel de 4 m de longitud):	50 kg	UNE-EN 1794-1
Peso mojado (panel de 4 m de longitud):	80 kg	UNE-EN 1794-1
Resistencia a las cargas debidas al peso mojado del resto de paneles que queden colocados por encima del primer panel acústico para paneles de 4 m de longitud:	960 kg (12 paneles mojados)	UNE-EN 1794-1
Carga combinada, viento y carga estática que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar:	Horizontal 150 kg/m ² y vertical 1218 kg	UNE-EN 1794-1
Carga de diseño normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar $F_{d,50}$ o F_{segura} con $SF \geq 1.5$ (carga de ensayo = carga de diseño x un coeficiente de seguridad mínimo de 1.5):	220 kg/m ²	UNE-EN 1794-1
Carga de ensayo normal (90°) debida a la carga de viento y al tráfico que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar $F_{d,50}$ o F_{segura} con un coeficiente de seguridad mínimo SF de 1.5:	330 kg/m ²	UNE-EN 1794-1
Carga normal (90°) de diseño debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar:	15 kN/2x2	UNE-EN 1794-1
Carga normal (90°) de ensayo debida a la retirada de la nieve que un elemento acústico de 4 m de longitud puede soportar (carga de ensayo = carga de diseño x un coeficiente de seguridad de 1.5):	22,5 kN/2x2	UNE-EN 1794-1

→ Detalle de la tabla 37 del anexo II en la que se muestra un ejemplo de documento de características esenciales de una pantalla acústica.

Continuación ANYNOISE Pantalla acústica absorbente tipo ABC123		
Características esenciales: longitud del panel: 4 m	Valor	Norma
Resistencia a cargas dinámicas-Riesgo de caída de trozos desprendidos: elemento acústico de 4 m de longitud	Clase 2	UNE-EN 1794-2
Protección medioambiental:	100 % reciclable	UNE-EN 1794-2
Emisión de sustancias peligrosas (mercurio):	66 ppm	UNE-EN 1794-2

Tabla 38: Ejemplo de documento de declaración de prestaciones (DoP) (Parte III: Durabilidad de las características acústicas y no acústicas).

Durabilidad acústica												
Absorción sonora DL_a												
Valor al final de vida útil:	13 dB											UNE-EN 14389
	4B1	4B2	4C2	4C3	4C4	4K2	4K3	4M3	4M4	4S2	4Z6	4Z7
Vida útil declarada en función de la clase de exposición ambiental:	10	15	15	15	23	8	20	15	15	10	20	20
Índice de reflexión $DL_{R,r}$												
Valor al final de vida útil:	6 dB											UNE-EN 14389
	4B1	4B2	4C2	4C3	4C4	4K2	4K3	4M3	4M4	4S2	4Z6	4Z7
Vida útil declarada en función de la clase de exposición ambiental:	10	15	15	15	23	8	20	15	15	10	20	20
Aislamiento a ruido aéreo $DL_{a,r}$												
Valor al final de vida útil:	25 dB											UNE-EN 14389

→ Detalle de la tabla 38 del anexo II en la que se muestra un ejemplo de documento de durabilidad acústica/no acústica.

Figura 30: Ejemplo de etiqueta para el marcado CE de una pantalla acústica.

Anexo IV: Campo difuso y campo directo

Para determinar si una pantalla acústica trabaja bajo condiciones libres (campo directo) o reverberantes (campo difuso) se debe aplicar una relación de distancias en un corte transversal de la configuración a ejecutar (ver figura 31).

Las condiciones de reverberación o campo difuso se definen en base a la geometría del contorno, e , donde $e = (W + H1 + H2)$, a lo largo de una carretera formada por barreras, trincheras o edificios (el contorno no incluye la superficie de la vía), tal y como se muestra en la figura 31. Se debe determinar las dimensiones libres (w) de la sección transversal de la configuración y las dimensiones cubiertas por los DRR, (suma de h_i). Las condiciones se consideran reverberantes o de campo difuso cuando el porcentaje de espacio abierto en el contorno es menor o igual al 25 %, es decir, existen condiciones de reverberación cuando $w/e \leq 0,25$.

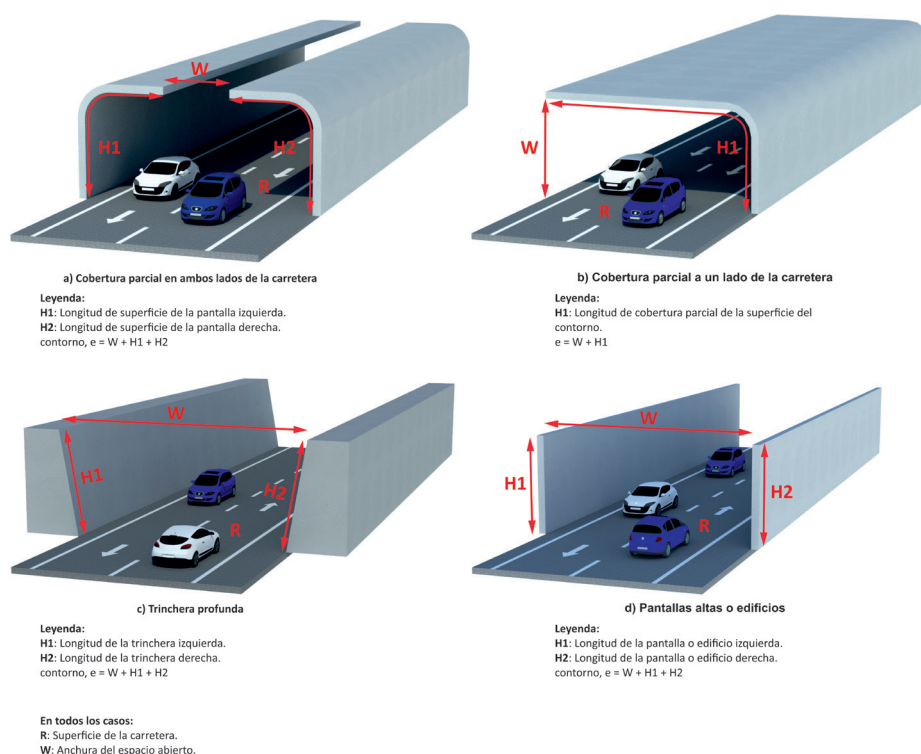


Figura 31: Ejemplo de disposición de pantallas acústicas respecto de la carretera.

En la mayoría de las circunstancias los dispositivos reductores de ruido trabajan en condiciones de campo directo. Las pantallas acústicas podrían llegar a trabajar en condiciones de campo difuso, sólo cuando se instalan a ambos lados de carreteras estre-

chas y las pantallas son de elevada altura o bien se encuentran situadas en el borde superior de trincheras profundas.

Otras circunstancias en que los DRR suelen trabajar en condiciones de campo difuso son en bocas de túneles, trincheras y cubiertas totales o parciales de la vía, por lo que se aplican en general a los revestimientos absorbentes.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

SECRETARÍA GENERAL
TÉCNICA

CENTRO
DE PUBLICACIONES