

MEDIDAS DE MEJORA DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN EL ENTORNO DE LAS CARRETERAS. ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA REDACCIÓN DE LOS PLANES DE ACCIÓN

Dámaso Alegre Marrades

Jefe Dpto. de Innovación e I+D de Ferrovial Agromán, S.A.,
Presidente de la European Noise Barrier Federation - ENBF

Introducción

El ruido ambiental es un factor complejo y en continuo crecimiento, que origina impactos en la salud y la calidad de vida de un gran porcentaje de población en el ámbito mundial. Aunque no existe una estimación a escala internacional del número de población afectada por niveles de ruido ambientales, sí existe un consenso en cuanto a que los niveles de ruido a los que se ve sometida la población son inaceptables en un gran número de países del mundo y existe una conciencia de que este problema social continuará en crecimiento en el futuro.

Por lo tanto resulta obvia la necesidad de nuevas políticas y estrategias de gestión del ruido para mejorar la situación medioambiental y de impacto acústico existente. La Comisión Europea publicó el "Libro Verde de la Política Futura de lucha contra el ruido" en 1996 y comenzó el desarrollo de nuevas regulaciones sobre el ruido, para abordar el problema del ruido ambiental en toda la Unión Europea de forma coherente y armonizada.

Con la aprobación el 25 de junio de 2002 de la Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, y su posterior transposición a la legislación española mediante la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido y su desarrollo parcial según el Real Decreto 1513/2005, de 16 de noviembre y el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, se pone en marcha un proceso, que debe culminar con la realización de Mapas Estratégicos de Ruido y Planes de Acción de aglomeraciones urbanas, grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos.

En la actualidad nos hallamos inmersos en un proceso de impulso por parte de las administraciones tanto de la regulación de la emisión del ruido como de la evaluación del impacto sobre el ambiente sonoro y la adopción de acciones encaminadas a la lucha contra el ruido. La reciente Ley del Ruido y las regulaciones de las Comunidades Autónomas han contribuido a crear un clima de debate y de expectación frente a los pasos a seguir en los próximos años.

Una vez acometidos los trabajos destinados a evaluar el ruido ambiental que soportan los ciudadanos, mediante la elaboración de los Mapas Estratégicos de Ruido, ya muy avanzada

su ejecución, se deben plantear los planes de acción contra el ruido, que aborden toda la complejidad de las posibles medidas preventivas y correctoras del impacto sobre el ambiente sonoro.

Respecto a estos planes de actuación, todavía existe una cierta falta de definición en cuanto a los contenidos y alcance de las actuaciones, y sobre las responsabilidades y los distintos modos de participación en los mismos de las administraciones implicadas. Sin embargo, ya comienzan a aparecer planes sectoriales (como es el caso de la Dirección General de Carreteras) donde la reducción del ruido figura específicamente como uno de los programas incluidos en los planes.

En el caso de las carreteras, es preciso incorporar medidas preventivas en los procesos de planificación y proyecto de las mismas, asumiendo nuevos condicionantes de trazado y explotación, y estableciendo nuevas pautas en el diseño de las infraestructuras. A la hora de adoptar medidas correctoras, teniendo en cuenta la enorme dificultad de disminuir el ruido en el entorno de una carretera, es necesario contar con todas las opciones posibles. Entre éstas, ocupan un lugar destacado la instalación de barreras y dispositivos reductores de ruido en las carreteras y la utilización de pavimentos menos ruidosos.

Medidas correctoras y lucha contra la contaminación acústica generada por las carreteras y otros medios de transporte

Para poder abordar el problema de la contaminación acústica en general y elaborar los adecuados planes de acción, es preciso conocer todos los factores que intervienen: físicos, psicosociales, etc.

En primer lugar conviene considerar qué se entiende por ruido, y la definición más aceptada es la de un sonido no deseado.

El estado del arte en la actualidad permite un adecuado análisis de los parámetros que describen el fenómeno físico

La calidad de un determinado ambiente sonoro resulta un aspecto cargado de una gran componente subjetiva, lo que dificulta enormemente la caracterización científica de los efectos de la contaminación acústica. No obstante, existe una demostrada relación entre el ruido de los transportes y los riesgos para la salud y el confort de las personas afectadas.

Hay que considerar, en cualquier caso, los aspectos peculiares de este tipo de contaminación:

- Se trata de una contaminación que podemos definir, a diferencia de los restantes tipos de contaminación, como “limpia”, en efecto, solo existe contaminación mientras existe una fuente de ruido activa y una vez desaparecida dicha fuente, no queda ningún tipo de con-

taminación residual. Por consiguiente, la cuarta dimensión, el "Tiempo", deberá considerarse para el diseño de las medidas correctoras.

- Precisa de la existencia de individuos sensibles a la molestia asociada al ruido para ocasionar efectos negativos. Por tanto las medidas correctoras deberán ser eficaces en los puntos donde se localicen esos receptores.

Como medidas correctoras del ruido asociado a las carreteras, pueden analizarse la viabilidad de emprender distintas actuaciones que, de forma general, cabe agrupar en 4 grandes grupos.

- Actuaciones en la planificación de las infraestructuras de transporte y ordenación del territorio.
- Acciones sobre los vehículos, reduciendo al máximo la emisión de ruido del motor, escape, etc.
- Actuaciones sobre la propagación del sonido: pantallas acústicas y otros dispositivos reductores de ruido.
- Actuaciones tendentes a reducir el ruido generado en la interfase neumático-calzada y rueda-raíl.

Resulta evidente que la primera forma de evitar los efectos nocivos de la contaminación acústica de los transportes es una buena planificación urbanística, de forma que los usos del suelo menos sensibles al ruido se localicen próximos a los corredores y zonas de afección de las infraestructuras. Esto debe tenerse muy presente en la redacción de planes de acción de forma que se evite el aumento de receptores sensibles junto a las carreteras modificando en lo posible los planes urbanísticos, estableciendo limitaciones a los usos del suelo, etc.

Las normativas europeas, ordenanzas municipales, etc. establecen límites de emisión sonora a los diferentes tipos de vehículos y medios de transporte que cada vez son menos ruidosos. No obstante siempre existe algún tipo de limitación que impide bajar de determinados niveles la emisión de las fuentes sonoras a considerar.

Las acciones sobre la propagación del sonido son las consideradas como medidas correctoras más comunes para la redacción de un determinado plan de acción y de ellas hablaremos más adelante.

Las actuaciones tendentes a reducir el ruido en la interfase neumático- calzada y rueda-raíl, se suelen concretar principalmente en la prescripción y empleo de firmes de tipo poroso-drenante, infraestructura de vía con carril continuo y traviesas con elementos antivibraciones, etc. Para la redacción de los planes de acción en proyectos ya consolidados, puede tomarse en consideración el cambio y/o sustitución de estos elementos en las operaciones de explotación y mantenimiento a prever.

Dispositivos reductores de ruido: equipamiento específico

Las acciones que podemos ejercer para dificultar la propagación del sonido procedente de una carretera, básicamente se concretan en:

- a) la interposición de obstáculos a la transmisión, que presenten unas adecuadas características de aislamiento a ruido aéreo,

y/o,

- b) la modificación de las condiciones de absorción acústica en las superficies apropiadas, que intervienen delimitando el camino de la propagación acústica.

Estos parámetros, aislamiento y absorción, son fundamentales en la definición de las dotaciones anti-ruido de la infraestructura y, según sea el problema acústico al que nos enfrentemos, deberemos considerar uno, otro o los dos, exigiendo a los materiales a emplear, que presenten unas adecuadas características acústicas.

Entendemos por el término barrera o pantalla acústica aquellos elementos u obstáculos que por su situación y características protegen del ruido proveniente de una determinada fuente sonora a un determinado receptor, dificultando la transmisión del sonido a través de ellos. Por tanto en este término consideraremos incluidos:

- Pantallas vegetales: constituidas por masas de vegetación perennifolia, muy densas e implantadas en una banda de anchura considerable (se precisa una anchura del orden de 50 m de bosque de pino denso, para obtener una reducción de 2 a 3 dBA; no son eficaces las plantaciones de algunas pocas filas de árboles o arbustos junto a las carreteras.
- Diques de tierra: obstáculos formados por amontonamiento de tierra con grandes espesores en la base. Generalmente se suelen recubrir con tierra vegetal u otros elementos para facilitar la revegetación y crecimiento de plantas. Presentan la ventaja de que el coste del material de construcción es relativamente bajo ya que pueden aprovecharse los excedentes del movimiento de tierras en infraestructuras de nueva construcción, no obstante, la ocupación de espacio que precisan y el coste de las expropiaciones que aumentarían el montante total de la obra, pueden llegar a desaconsejar su prescripción como medida correctora. Adecuadamente ejecutados, su integración paisajística puede ser óptima, particularmente en zonas rurales. Conviene recordar que su eficacia respecto a las pantallas acústicas está condicionada por su geometría.
- Pantallas acústicas: muros o barreras constituidas por elementos de pared relativamente delgada, verticales o inclinados, que presentan distinto grado de absorción acústica y que ofrecen una gran resistencia a la transmisión del sonido a través de ellos, es decir un índice de aislamiento a ruido aéreo suficiente. Las pantallas pueden adoptar numerosas formas y pueden emplearse diversos materiales: elementos metálicos, hormigón, madera, vidrio,

materiales plásticos, materiales cerámicos, elementos prefabricados a base de los materiales anteriores y materiales absorbentes (lana mineral, fibra de vidrio), etc. Son las barreras más usualmente empleadas y más interesantes como equipamiento anti-ruido, propiamente dicho, de las carreteras.

- Construcciones mixtas: son soluciones que resultan de la combinación de algunos de los tipos anteriores (dique de tierra + pantalla acústica en su coronación, semi-dique con elementos de contención de tierra vegetalizables, etc.).
- Cubriciones parciales o totales de la calzada o vía de circulación: evidentemente, desde el punto de vista de la eficacia en la reducción de ruido, son las más interesantes, pero su elevado presupuesto de ejecución las hace generalmente inabordables. Existen soluciones de cubrición total o parcial mediante elementos ligeros similares a los empleados en apantallamiento acústico (paneles modulares, enrejados de baffles, cubiertas translúcidas o transparentes, etc.), pero igualmente su empleo resulta muy limitado en razón de la elevada inversión que suponen.
- Dispositivos especiales: son dispositivos diseñados especialmente para casos muy particulares, como por ejemplo, la reducción del ruido que se produce en algunas juntas de dilatación de viaductos y obras de fábrica cuando el tráfico cruza sobre ellas, etc., o bien los dispositivos que se colocan en la parte alta de las pantallas acústicas para modificar el comportamiento de la difracción.

Asimismo, existen otro tipo de elementos que dificultan la propagación del sonido, desde la fuente al receptor, por absorción acústica de las ondas sonoras que inciden sobre ellos, son los:

- Tratamientos absorbentes: empleados para aumentar considerablemente el grado de absorción acústica de muros de contención, paredes de trincheras, accesos y bocas de túneles, etc. Suelen emplearse materiales análogos a los empleados para la realización de las pantallas acústicas absorbentes, sin que deban aportar un mínimo grado de aislamiento a ruido aéreo; con ellos se realiza un revestimiento de las superficies a tratar. Resultan igualmente muy interesantes como dispositivos reductores de ruido de la infraestructura vial.

Pantallas acústicas

Una pantalla acústica, según se ha definido, es un muro o barrera constituida por elementos de pared relativamente delgada, verticales o inclinados, con formas planas o curvas, que ofrecen una gran resistencia a la transmisión del sonido a través de ellos y distinto grado de absorción acústica, dispuesta entre la fuente y el receptor y dimensionada convenientemente para crear una zona de "sombra acústica" junto al receptor, por difracción de las ondas sonoras en sus bordes.

Principio de funcionamiento. Fundamento acústico

El sonido emitido por una fuente S, se propaga en campo libre por el aire hasta alcanzar al receptor R sin más atenuación que la debida a la distancia entre ambos y a la absorción del aire.

Si se interpone una pantalla entre la fuente y el receptor, la propagación del sonido resulta modificada. (véase Figura 1).

Parte de la energía acústica que incide en la pantalla pasa a través de la misma y alcanza al receptor (onda transmitida). Del resto de la energía incidente sobre la pantalla una parte es absorbida por el material (onda absorbida) y otra parte es reflejada según sea el ángulo de incidencia de la onda (onda reflejada). La parte de energía absorbida será mayor y por tanto, la parte reflejada menor, cuanto mayor sea la capacidad de absorción acústica de los materiales empleados en la construcción de la pantalla.

El resto de la energía acústica que alcanza al receptor, proviene de la difracción de los rayos sonoros en los bordes de la pantalla, que sufren un cambio de trayectoria (ondas difractadas) disminuyendo los niveles de ruido tras la pantalla en diferente medida según el punto considerado, creando una zona de "sombra acústica". La aplicación de las teorías de la difracción de Fresnel, fórmula de Kurze & Anderson y ábacos de Mae-kawa, permiten estimar la disminución del nivel de ruido en el punto receptor, causada por la difracción.

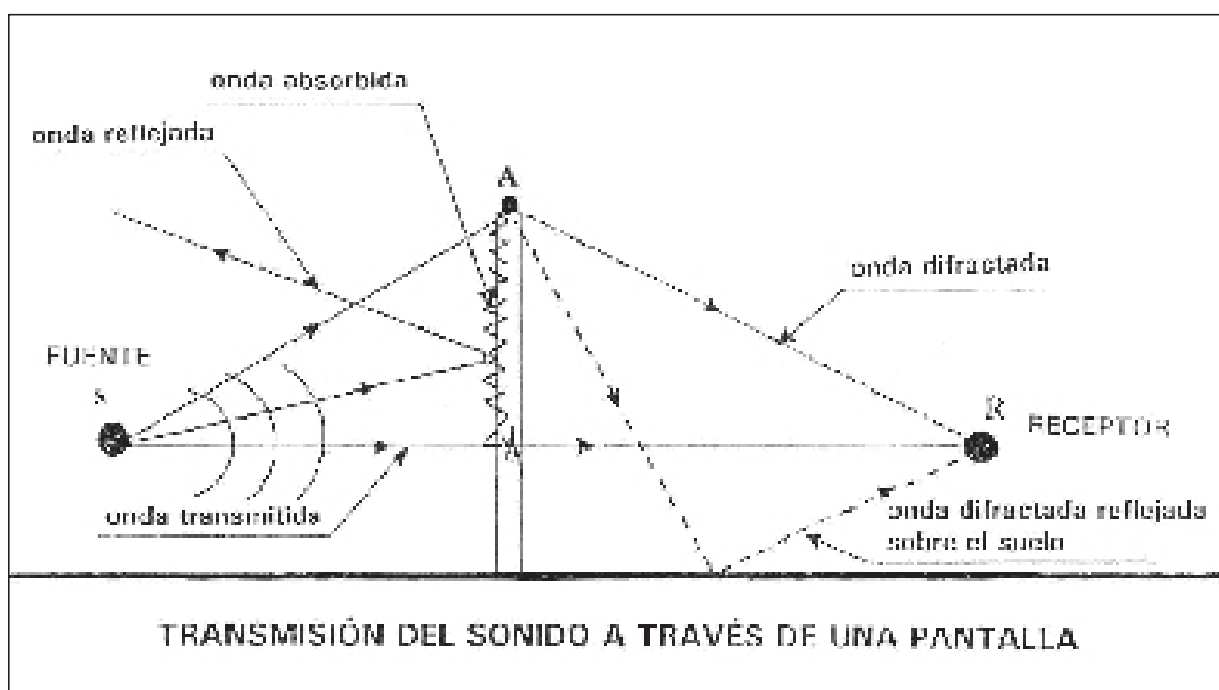


Figura 1. Principio de funcionamiento de una pantalla acústica.

Eficacia de las pantallas

La eficacia acústica, para un determinado receptor, de una pantalla instalada en una carretera es la atenuación sonora que proporciona frente al ruido del tráfico, disminuyendo el nivel de ruido en ese punto receptor. Los factores que influyen en la eficacia de una pantalla, según lo expuesto, son los siguientes:

- La capacidad de aislamiento acústico a ruido aéreo y el carácter absorbente o reflectante de la pantalla. Vienen determinados por los materiales constitutivos de la pantalla.
- El dimensionamiento geométrico. Fundamentalmente la altura y longitud de la pantalla.
- Su ubicación. Es decir la situación relativa de la pantalla con relación a la fuente de ruido y a la zona a proteger, así como la topografía y demás características del lugar de su implantación.

Diseño de las pantallas acústicas

El diseño de las pantallas acústicas para un determinado tramo de carretera objeto de un plan de acción, suele ser muy complejo e implica la realización de un análisis profundo de todos los factores que intervienen:

- Cuantificación precisa del problema acústico a resolver, es decir, de contaminación por ruido, y definición de la eficacia acústica que deberá aportar la pantalla.
- Determinación de la ubicación de la pantalla con respecto a la vía de circulación: una pantalla de una determinada altura sobre la calzada, en general, será más eficaz cuanto más próxima se halle a la fuente sonora, es decir al tráfico. No obstante, en la mayor parte de los casos, la colocación de la pantalla estará condicionada por la disponibilidad de terreno y por la necesidad de garantizar ciertas condiciones de seguridad para el tráfico, que pudieran verse afectadas.
- Diseño geométrico de la pantalla: como se ha indicado, la eficacia de la pantalla depende, entre otros factores, de su altura y de su longitud. En principio este par de factores se pueden combinar de multitud de maneras para obtener la eficacia deseada, en base a las teorías de la difracción acústica ya indicadas. Existen distintos modelos de cálculo con muy diferente grado de fiabilidad a la hora de optimizar el dimensionamiento geométrico de la pantalla, siendo recomendable, salvo en casos muy simples, acudir al empleo de programas expertos tridimensionales, que permiten un dimensionamiento optimizado muy fiable y, aunque más costosos, el gasto suele amortizarse con el ahorro de materiales que se produce al quedar la dimensión de la pantalla reducida al mínimo necesario.

- Diseño constructivo: existe una gran heterogeneidad en las soluciones adoptadas en los diferentes países europeos e incluso en la experiencia española al respecto, aunque no obstante últimamente, se detecta una cierta tendencia a la homogeneización de los tipos de pantalla a utilizar.

En general, una pantalla acústica estará constituida:

- Por los elementos, paneles modulares o materiales que constituyen el muro y que son los elementos que aportan las características acústicas a la pantalla.
- Por el armazón o estructura soporte en el que se dispondrán los elementos anteriores. Generalmente suele tratarse de perfiles normalizados tipo HEA, HEB o IPE, dispuestos a una determinada interdistancia entre ejes, calculados y dimensionados según los esfuerzos a soportar.
- Por las cimentaciones precisas para mantener la estabilidad de la pantalla acústica. Pueden adoptarse diversas soluciones y su cálculo debe realizarse siguiendo las pautas establecidas en las normativas generales de construcción de obra civil.

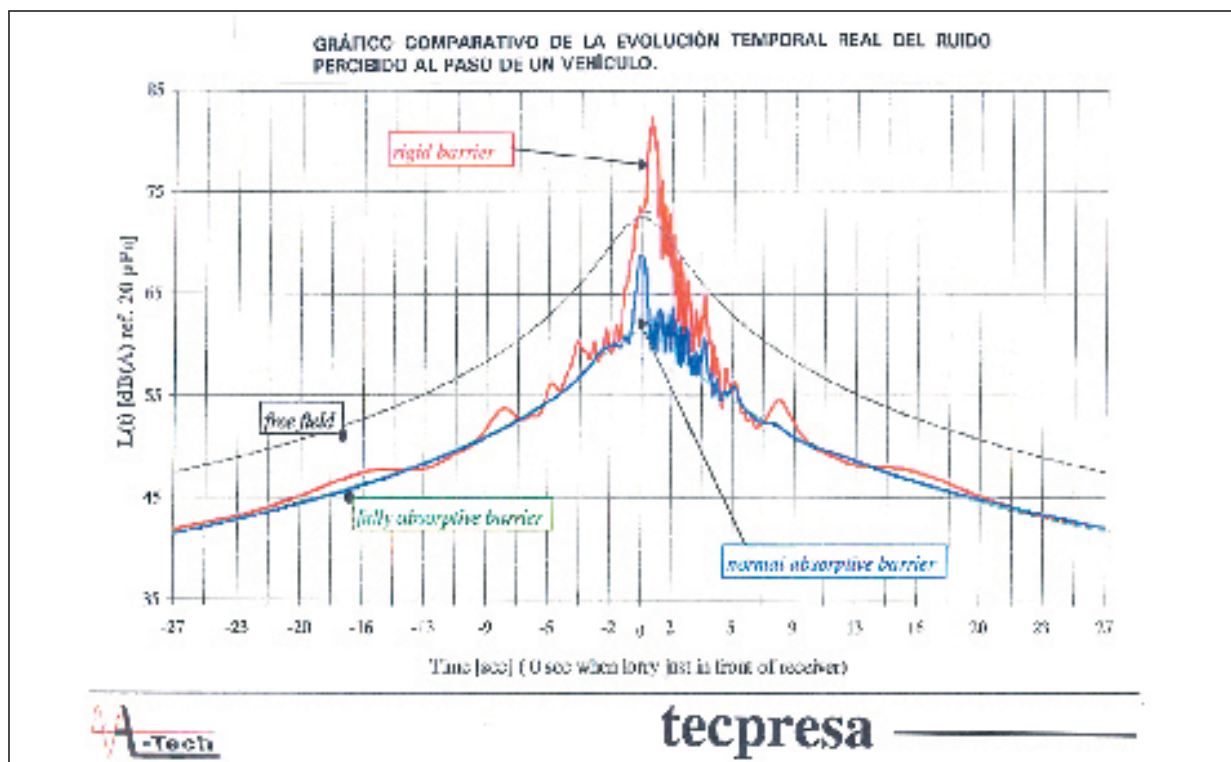
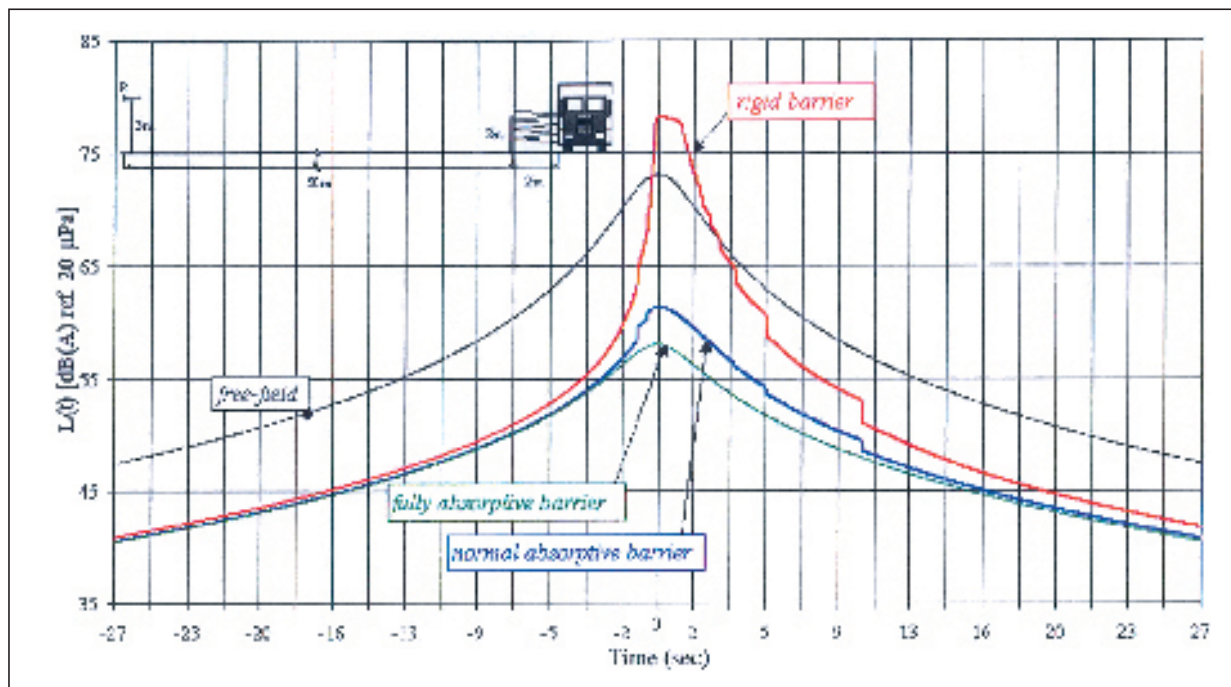
En el diseño constructivo de las pantallas acústicas deben considerarse todas las acciones exteriores y las cargas estructurales a las que puedan estar sometidas: la acción del viento, la presión dinámica del aire causada por el paso de los vehículos, el propio peso de los elementos que las constituyen, los choques de los vehículos en caso de accidente, los impactos causados por piedras y otros materiales despedido contra la pantalla y, en su caso, la carga dinámica debida al empuje de la nieve desplazada por las máquinas quitanieves contra la pantalla. Se han publicado Normas Europeas en las que se definen los requisitos exigibles a los elementos, fijaciones o anclajes y estructuras soporte, desde el punto de vista de su comportamiento mecánico y de estabilidad.

- Diseño para mantener la seguridad vial y medioambiental: las pantallas acústicas, son equipamientos que especialmente en infraestructuras como las carreteras, dadas sus características constitutivas y geométricas, pueden llegar a suponer un mayor riesgo de accidente al entorpecer la visibilidad, constituir elementos rígidos contra los que pueden llegar a colisionar los vehículos o ser causa de reflejos que puedan ocasionar despiste a otros conductores. Además, se trata de obras civiles de considerables dimensiones que pueden ocasionar un fuerte impacto visual sobre el paisaje.

Por ello habrá que cuidar extremadamente su diseño para evitar cualquier afección a la seguridad vial y dotarlas de un adecuado tratamiento estético.

- Definición de las prestaciones acústicas, exigibles a los materiales constituyentes de la pantalla: hay que analizar detalladamente la posibilidad de que las ondas reflejadas puedan o no alcanzar zonas sensibles al ruido y/o disminuir la eficacia calculada para la pantalla, por las reflexiones múltiples entre las carrocerías de los vehículos y la propia pantalla (véanse Figuras 2 y 3), antes de decidirse entre la instalación de una pantalla absorbente o una pantalla reflectante.

MEDIDAS DE MEJORA DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN EL ENTORNO DE LAS CARRETERAS.
ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA REDACCIÓN DE LOS PLANES DE ACCIÓN



El ejemplo ilustra la evolución temporal del ruido percibido en un punto receptor situado a 3 m de altura y a 50 m detrás de la pantalla, correspondiente al paso de un camión frente a una pantalla acústica vertical de 2 m de altura. Se describe el ruido que percibiríamos en campo libre, sin pantalla (negro), con una pantalla reflectante (rojo), con pantalla absorbente real (azul) y con una pantalla teórica completamente absorbente (verde).

El gráfico superior presenta la modelización teórica del evento considerando fuentes incoherentes y el gráfico inferior ilustra los resultados en el caso de fuentes coherentes, más próximo a las mediciones en el caso real.

Puede apreciarse en este ejemplo el efecto muy considerable que, sobre el nivel máximo de inmisión percibido, puede tener el que el material de la pantalla sea reflectante o absorbente, aunque en el nivel de inmisión equivalente total correspondiente al paso del vehículo el efecto sea menos importante.

Las características relativas al comportamiento acústico de los materiales a emplear deberán quedar claramente definidas en el pliego de condiciones del proyecto correspondiente. A tal efecto, la normativa europea UNE-EN en vigor, define unos índices, DL_R , para determinar el aislamiento a ruido aéreo y DL_a para evaluar la capacidad de absorción acústica, que deberán presentar los materiales a emplear. Estos índices se calculan a partir de ensayos realizados sobre una muestra de los materiales que se pretende utilizar, dispuestos de la misma forma en que esté prevista la instalación de la pantalla.

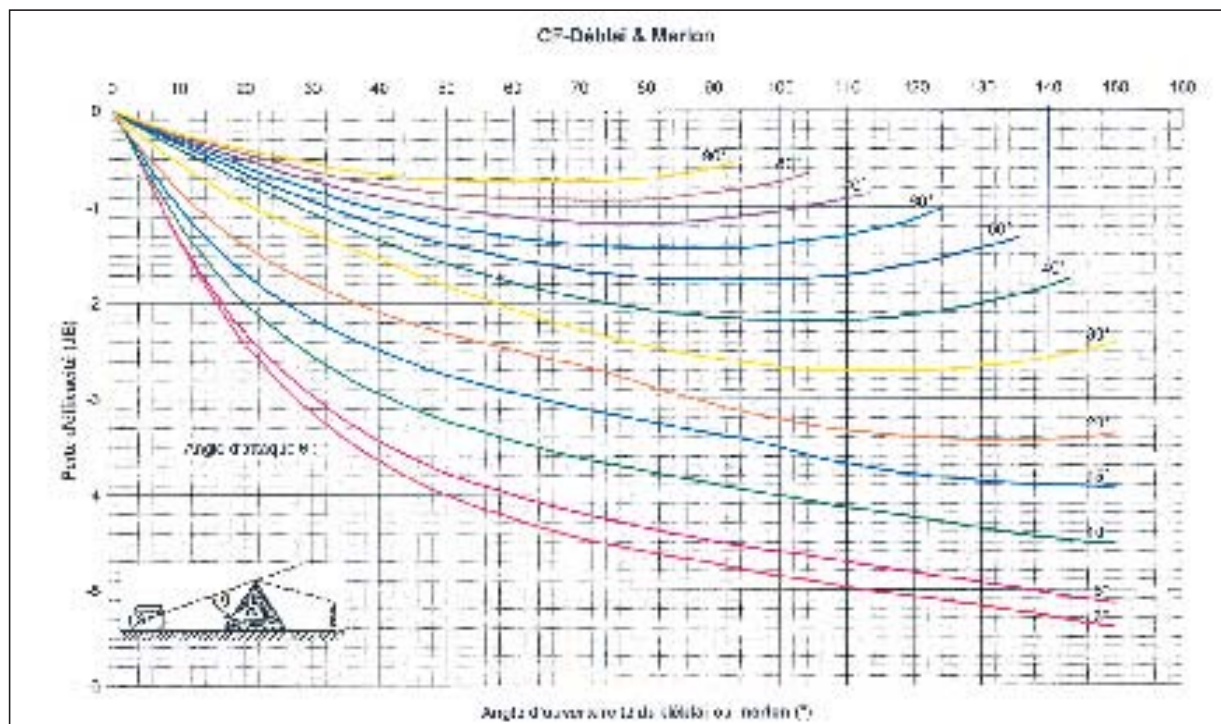


Figura 4. Pérdida de eficacia según los ángulos de ataque de onda en los desmontes y caballones de tierra.

Debe tenerse presente, asimismo, cuando se decide adoptar como medida correctora un dique, mota o caballón de tierra, que su comportamiento acústico no resulta tan eficaz como el de una pantalla acústica fina tradicional, a igualdad de altura. En efecto, se debe considerar la pérdida de eficacia que se genera según los ángulos de los taludes, por el diferente frente de ataque de onda. (véase Figura 4).

En cualquier caso, habrá que tener en cuenta que el diseño de las diferentes formas de la pantalla y su composición con materiales reflectantes, absorbentes o empleando ambos tipos, para un mismo caso a resolver, supondrán un comportamiento muy diferente en lo que se refiere a su eficacia y a los mapas acústicos resultantes para la zona a proteger, por lo que resulta recomendable que esta labor sea realizada por personal muy experto.

Así por ejemplo, aunque en este caso nos ocupemos de las carreteras, en las figuras siguientes (véanse Figuras 5 y 6), se presenta un estudio de la variación de los mapas de ruido generados por el paso de un tren de alta velocidad, en una zona correspondiente a un perfil transversal tras detrás de diferentes pantallas, que va desde 10 a 150 metros de distancia al carril de la vía más cercano y desde -15 a 45 metros de altura respecto a la cota de dicho carril. En la Figura 6, que representa los diferentes mapas de ruido obtenidos según sea la forma y composición de la pantalla acústica, se ha modificado la escala del mapa de ruido respecto a la configuración estudiada según se describe en la Figura 5 y se ha sobreimpreso cada configuración sobre su mapa de ruido correspondiente para que resulte más ilustrativo.

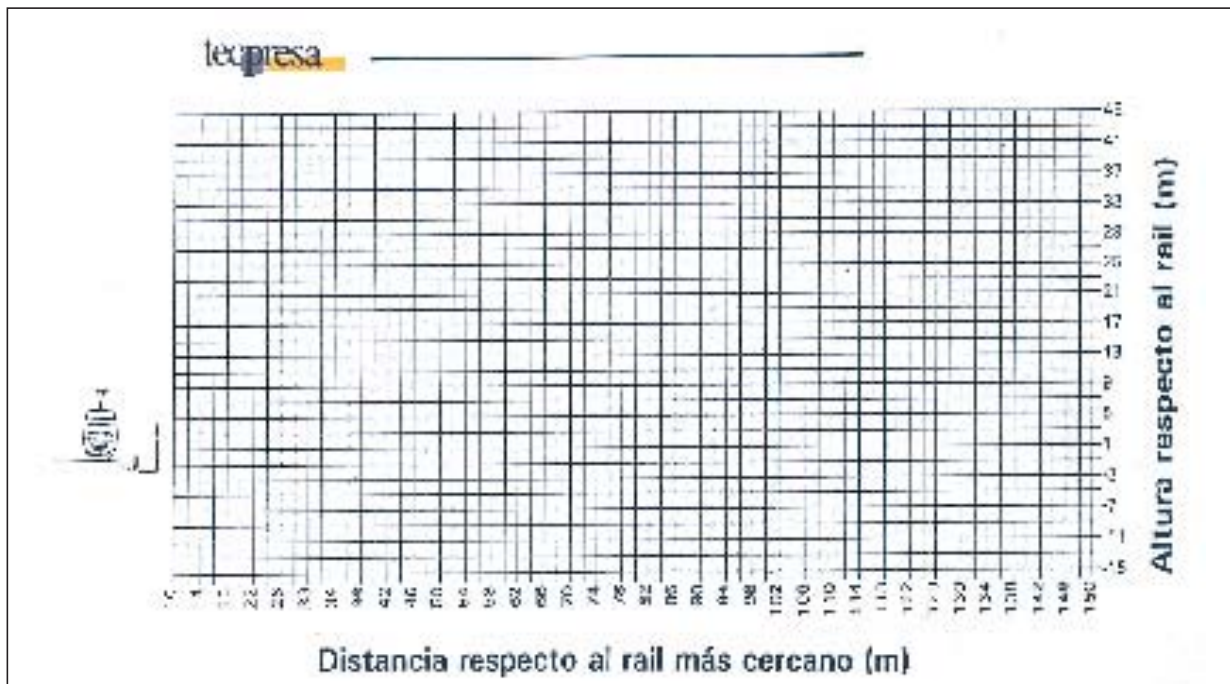


Figura 5. Ejemplo de variación del comportamiento acústico de una pantalla anti-ruido de 2'4 m de altura sobre cota de raíl para diferentes formas y materiales empleados en su diseño. Descripción de la zona estudiada.

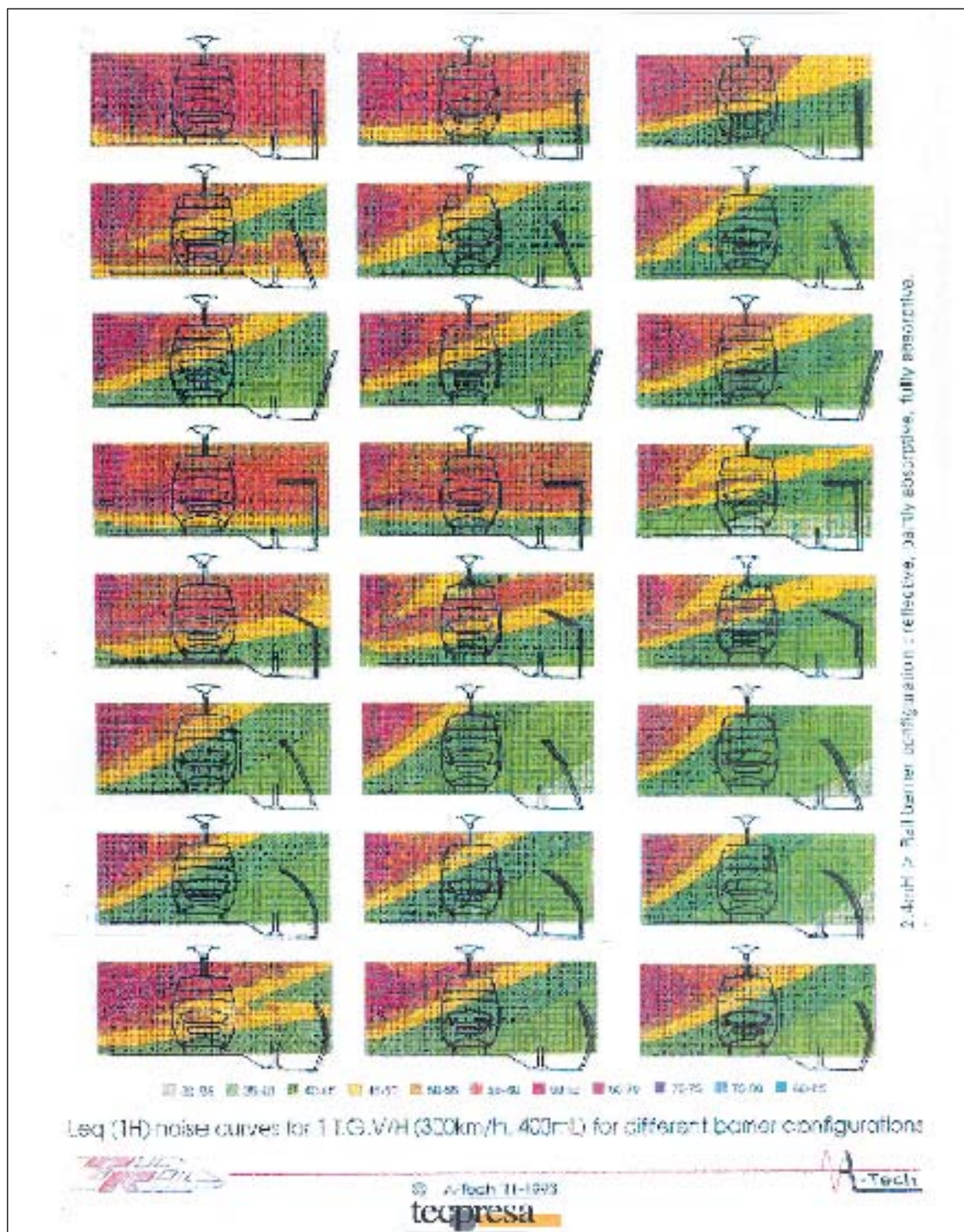


Figura 6. Ejemplo de variación del comportamiento acústico de una pantalla anti-ruido de 2'4 m de altura sobre cota de rail para diferentes formas y materiales empleados en su diseño. Mapas de isófonas según tipología de pantalla.

Puede apreciarse que para una altura constante de pantalla de 2'4 m, la modificación del campo acústico introducida por la pantalla es muy diferente en función de los materiales:

- reflectantes en la columna de la izquierda,
- mixto reflectantes y absorbentes en la columna central,
- absorbentes en la columna de la derecha.

Asímismo, puede comprobarse que la forma de la pantalla influye muy considerablemente en el resultado obtenido.

Este ejemplo ya ilustra de por sí la complejidad del diseño optimizado de las pantallas acústicas, pero aún más, si en lugar de tratarse de una vía de ferrocarril de alta velocidad a la que se refiere este ejemplo, se tratase de una autopista, el comportamiento de cada una de las diferentes formas y composiciones de la pantalla que se han detallado en ese ejemplo, cambiaría considerablemente.

- Definición de la vida en servicio de la pantalla: es éste un aspecto generalmente descuidado por los diseñadores de pantallas y que, sin embargo, condiciona todos los demás.

En efecto, las pantallas acústicas se dimensionan en base a los datos del tráfico que circula por la carretera IMD, velocidad media, porcentaje de pesados, etc., que variarán generalmente a lo largo del período de explotación de la infraestructura. Si se diseñan para corregir la situación prevista a muy corto plazo, puede que en breve, su eficacia resulte insuficiente para mantener los niveles de ruido por debajo de los máximos admisibles o que la mejora esperada en un determinado plan de acción resulte comprometida. Es portanto imperativo, definir para que condiciones de la explotación de la infraestructura viaria se diseña la pantalla.

Asímismo, será preciso prever una vida útil de la pantalla acorde con lo anterior, lo que determinará las características exigibles a los materiales a emplear en la construcción de la pantalla. Es evidente que habrá que garantizar que las prestaciones de aislamiento y absorción acústicas se mantengan prácticamente invariables a lo largo de su vida en servicio prevista. El comportamiento de los materiales frente a la corrosión, ambientes agresivos, radiación U.V., etc., debe considerarse, a fin de evitar que la pantalla pueda llegar a ser ineficaz o crear problemas de seguridad o de mantenimiento excesivo e incluso impracticable, por causa del envejecimiento de los materiales.

Tipos de pantallas acústicas en planes de acción y proyectos de infraestructuras de transporte

Las pantallas acústicas, pueden clasificarse, en base a sus características de absorción acústica, en dos grandes grupos:

EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE: UN ENFOQUE INTEGRADO

- Pantallas reflectantes: son pantallas con un índice DL_a muy bajo.
- Pantallas absorbentes: son pantallas con un índice DL_a considerable. Es evidente que una pantalla será tanto más absorbente cuanto mayor sea el valor de su índice DL_a .

Es preciso resaltar que a priori, no resulta preferible un tipo de pantalla frente a otro, serán las peculiaridades del problema acústico a resolver las que determinarán el grado de absorción más conveniente.

En lo que se refiere a la capacidad de aislamiento a ruido aéreo de las pantallas, igualmente serán las peculiaridades de cada caso acústico las que determinarán cual es el índice de aislamiento a ruido aéreo DL_R a exigir. Generalmente, suele ser suficiente que la pantalla aporte un índice de aislamiento del orden de 25 a 26 dBA para el espectro de ruido de tráfico por carretera normalizado, asimismo, si se tratase de tráfico ferroviario u otras fuentes sonoras fijas de tipo industrial, este índice de aislamiento debería considerarse respecto a los espectros característicos de esas fuentes sonoras. En efecto, se considera que la energía sonora transmitida a través de la pantalla es despreciable cuando su nivel de presión sonora es menor en 10 dBA que el nivel sonoro resultante que llega al receptor por otros caminos (difractado, directo, etc.) y, dado que ac-



Figura 7. Ejemplos de pantallas realizadas con distintos materiales.

tualmente la eficacia máxima de las pantallas acústicas es raramente mayor que 15 o 16 dBA, bastará con asegurar unas pérdidas por transmisión del orden indicado, de 25 a 26 dBA.

En cualquier caso, los materiales a emplear para la construcción de una pantalla acústica, deberán presentar una capacidad mínima de aislamiento acústico, mientras que solo en ciertos casos será, además, exigible una capacidad adecuada de absorción acústica.

Podríamos clasificar los tipos de pantallas acústicas en base a otros criterios: constructivos, materiales empleados, de ubicación, etc. Así por ejemplo, las pantallas pueden ser verticales o inclinadas, soportadas o autoportantes, transparentes u opacas, finas o volumétricas, etc.

Tratamientos absorbentes

En aquellos casos en que las reflexiones de las ondas sonoras sobre las superficies de paredes reflectantes, ya sea de muros de contención, de trinchera o de túneles, puedan ocasionar una elevación inaceptable del nivel de ruido en las zonas próximas a la infraestructura, se puede prever la instalación de revestimientos altamente absorbentes que permitan evitar la mencionada elevación del nivel de ruido.

Los revestimientos absorbentes tienen la función de absorción acústica de las ondas sonoras incidentes para evitar al máximo su reflexión sobre la superficie tratada, por lo que resulta deseable que el índice de absorción acústica DL_a de los materiales empleados para el revestimiento acústico, sea lo más elevado posible (13 o 14 dBA), para el espectro de ruido de tráfico particular que exista en la zona a tratar ya que las reflexiones múltiples pueden modificar el espectro de ruido de tráfico respecto al espectro normalizado para el caso de diseño de pantallas acústicas. Generalmente, la efectividad acústica del tratamiento puede aumentarse para las bajas frecuencias si se deja un espacio mayor entre el panel y la superficie del muro.

En este tipo de dotaciones anti-ruido en carreteras, lo que interesa es la capacidad de absorción acústica de los materiales sin que el aislamiento acústico tenga relevancia alguna.



Figura 8. Ejemplos de revestimientos absorbentes realizados con módulos metálicos y de madera.

EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE: UN ENFOQUE INTEGRADO

Cubriciones parciales o totales de la calzada o vía de circulación

La lucha contra el ruido de las infraestructuras presenta problemas de difícil solución, en particular en las grandes ciudades modernas, con edificios de gran altura junto a ejes viarios importantes. En estos casos, existen soluciones de cubrición total o parcial mediante elementos ligeros similares a los empleados en pantallamiento acústico (paneles modulares, enrejados de baffles, cubierta translúcida o transparentes, etc.), pero su empleo supone siempre una elevada inversión económica.

Es evidente que en estos casos puede llegar a tener mucha más relevancia el valor del índice de aislamiento a ruido aéreo DL_R de los materiales empleados.



Figura 9. Ejemplos de cubriciones parciales o totales de las vías de circulación.

Normativa a considerar para la definición y proyecto de pantallas acústicas

Para una adecuada respuesta al problema de la contaminación acústica asociada al transporte y en particular para afrontar la redacción de planes estratégicos de lucha contra el ruido en cada área concreta, será preciso conocer el marco normativo que resulta de aplicación en cada caso, podríamos distinguir tres grandes bloques:

- Normativa legal y Ordenanzas.
- Normativa técnica de definición y cálculo.
- Normativa de control y aseguramiento de la calidad.

El primer bloque mencionado, se refiere a todas aquellas disposiciones legales promulgadas por las diferentes Administraciones competentes a nivel comunitario, estatal, autonómico o local que tendrían que definir y regular, en base a una adecuada política de lucha contra el ruido, los niveles de calidad del entorno acústico exigibles y cuándo, cómo y quién debe responsabilizarse de su cumplimiento.

En el siguiente grupo, se consideran incluidos documentos tales como los reglamentos e instrucciones técnicas y normas básicas, que, publicados por los organismos competentes, debentenerse presentes para la definición y redacción de proyectos.

Finalmente, en el tercer bloque, se agrupa toda la normativa publicada por los diferentes organismos internacionales como la ISO y el CEN, o por los correspondientes organismos de normalización a nivel nacional (AENOR, BST, AFNOR, ÖNORM, DIN, etc...), cuyo objetivo final es el aseguramiento de la calidad de los sistemas y materiales empleados en los diferentes niveles de la implantación de las medidas correctoras para la reducción del ruido de tráfico.

Normativa legal y ordenanzas

Es evidente que el conocimiento de la normativa legal y reglamentos de aplicación en cada lugar, que establezcan los objetivos de calidad del ambiente acústico a conseguir es esencial para definir la eficacia que deberá aportar una determinada medida correctora de impacto acústico y en consecuencia establecer el adecuado plan de acción.

A nivel comunitario, la Directiva 2002/49/EC.

A nivel estatal, en España, la Ley 37/2003 de 17 de Noviembre, Ley del Ruido, que traspone a nuestra legislación la Directiva Comunitaria 2002/49/EC y su desarrollo mediante el Real Decreto 1513/2005 de 16 de diciembre y el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre.

A nivel autonómico, muchas comunidades autónomas disponen de normativa más detallada y en algunos casos más exigente.

A nivel municipal, así mismo, los principales municipios, Madrid, Barcelona, etc. disponen de Ordenanzas Municipales en las que ya se regulan estos aspectos, con diferente grado de concreción respecto al ruido de tráfico.

Normativa técnica de definición y cálculo

En este apartado, consideramos los reglamentos e instrucciones técnicas y normas básicas, que publicados por los organismos competentes, deben tenerse presente para la definición y redacción de proyectos. Los más interesantes son aquellos que definen los métodos de previsión y cálculo de niveles de ruido de tráfico, así como la eficacia prevista de las diferentes medidas correctoras.

Las diferencias entre las normas y reglamentos de cálculo empleados en los diferentes países residen generalmente, en el tipo de emisión considerado y en las formulaciones más o menos simplificadas de los principales efectos que intervienen en la atenuación de la propagación sonora. En algunos países se propone incluso dos niveles de precisión (método simplificado y método detallado).

Actualmente estos modelos de cálculo se encuentran disponibles en el mercado como programas informáticos de cálculo (Cadna, IMMI, Sound Plan, Predictor, etc.). Si bien se trata de unas herramientas muy útiles para la definición y el cálculo de la eficacia esperada para una determinada pantalla acústica, es preciso insistir en que su manejo, aunque pueda parecer sencillo en primera apreciación, resulta bastante complejo y precisa de una dilatada experiencia en este campo, pues de lo contrario, los resultados obtenidos muy frecuentemente resultan inadecuados cuando no erróneos.



Figura 10. Ejemplos de modelización tridimensional correcta.

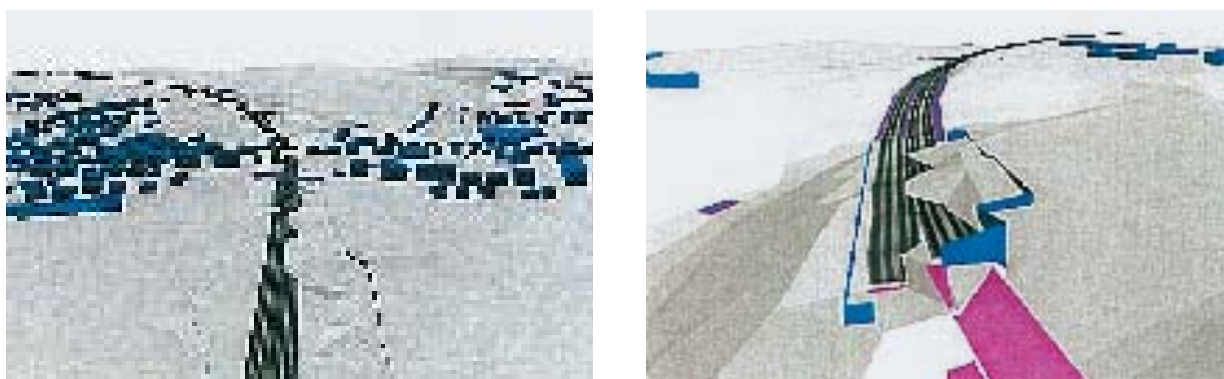


Figura 11. Ejemplos de modelización tridimensional erróneos.

Normativa de control y aseguramiento de la calidad.

En los proyectos de pantallas acústicas y otros dispositivos reductores de ruido que se redacten como parte de los planes de acción, no bastará con considerar todos los aspectos generales indicados anteriormente y realizar una correcta definición, modelización y cálculo de las soluciones, sino que será preciso redactar un adecuado pliego de condiciones que fije la calidad y características de los materiales a emplear.

De acuerdo con la Directiva Comunitaria de Productos de Construcción y el mandato M 111, se ha establecido el mercado CE para los dispositivos reductores de ruido en carreteras y ha sido el Comité Europeo de Normalización, CEN / TC226 / WG6 el que ha elaborado toda la normativa de aplicación al respecto, que se detalla a continuación:

Características acústicas

En un primer bloque, relativo a las características acústicas, el título de la Norma es "DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO DE TRÁFICO EN CARRETERAS - MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO", y consta a su vez de las partes siguientes:

- | | |
|--------------------------|---|
| Parte 1 (EN 1793-1): | Características intrínsecas - relativas a la absorción sonora. |
| Parte 2 (EN 1793-2): | Características intrínsecas - relativas al aislamiento acústico a ruido aéreo. |
| Parte 3 (EN 1793-3): | Espectro normalizado de ruido de tráfico. |
| Parte 4 (CEN.TS 1793-4): | Características intrínsecas - medida "in situ" de la difracción sonora. |
| Parte 5 (CEN.TS 1793-5): | Características intrínsecas - medida "in situ" de absorción sonora. |
| Parte 6 (CEN.TS 1793-6): | Características intrínsecas - medida "in situ" de aislamiento acústico a ruido aéreo. |

Características no acústicas

El segundo gran bloque de la normativa, es el relativo a las denominadas características no acústicas, y su título es "DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO DE TRÁFICO EN CARRETERAS - COMPORTAMIENTO NO ACÚSTICO", quedando, a su vez, dividida inicialmente en dos partes, a las que se ha añadido una tercera que está en fase de proyecto:

EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE:

UN ENFOQUE INTEGRADO

- Parte 1 (EN 1794-1): Comportamiento mecánico y requisitos de estabilidad.
- Parte 2 (EN 1794-2): Requisitos en relación con la seguridad general y consideraciones ambientales el medioambiente.
- Parte 3 (PrEN 1794-3): Reacción al fuego. Riesgo de incendio de los dispositivos reductores de ruido.

En lo relativo al comportamiento mecánico y a la estabilidad de los dispositivos reductores de ruido para carreteras, Parte 1, es evidente que éstos deberán ser capaces de soportar, en primer lugar, los esfuerzos debidos a:

- la acción del viento
- la presión dinámica del aire causada por el paso de los vehículos
- el propio peso de los elementos que los constituyen

Así mismo, estos dispositivos, pueden tener que presentar determinadas características de resistencia mecánica frente a:

- los posibles choques de los vehículos en caso de accidente
- los impactos causados por piedras y otros materiales despedidos contra la barrera
- y, en determinados países, la carga dinámica debida al empuje de la nieve desplazada por las máquinas quitanieves contra los elementos reductores de ruido

En esta parte de la norma, se definen los criterios para calificar los diferentes tipos de dispositivos reductores de ruido de acuerdo con sus prestaciones mecánicas básicas y los procedimientos de ensayo en caso de que sea exigible un determinado comportamiento mecánico a los dispositivos a proyectar, contemplando, en primer lugar, los requisitos exigibles a los elementos, fijaciones o anclajes y estructuras soporte, de los diferentes dispositivos (excluidas las cimentaciones), frente a las cargas aerodinámicas, basándose en los correspondientes EUROCÓDIGOS y estableciendo las deformaciones máximas admisibles para diferentes casos y los coeficientes de seguridad a utilizar.

En la Parte 2 de esta norma, relativa a la seguridad general y consideraciones ambientales, se consideran todas aquellas condiciones que puedan influir en la relación del dispositivo reductor de ruido con el entorno en que se haya previsto su implantación, desde el punto de vista de la seguridad general de los usuarios de la carretera, vecinos del lugar y medio ambiente de la zona.

Para ello, se definen los requisitos mínimos y demás criterios, para la valoración de las características de seguridad general y medioambiental de los diferentes dispositivos reductores de ruido, bajo condiciones de explotación viaria típicas. En particular se contemplan las siguientes características siguientes:

- Resistencia frente al fuego causado por incendio de la maleza.
- Seguridad secundaria y riesgo de caída de trozos desprendidos.
- Protección del medio ambiente, se solicita la declaración de los constituyentes de los elementos del dispositivo reductor de ruido y los posibles productos que pudieran aparecer por degradación de los mismos en condiciones de intemperie, fuego, etc. así como información sobre si se trata de elementos reciclados o reciclables y en qué porcentaje intervienen en el conjunto.
- Los accesos o salidas de escape, en caso de emergencia, son considerados como opcionales, pero en caso de requerirse su instalación, deberán cubrir unos requisitos mínimos funcionales y dimensionales, definidos desde el punto de vista de la seguridad y de sus prestaciones, tanto mecánicas como acústicas.
- Reflexión de la luz: para evaluar la posibilidad de que puedan producirse reflexiones de la luz en los dispositivos reductores de ruido, con el consiguiente riesgo de deslumbramiento o despiste para los usuarios de la carretera.
- Transparencia: la norma describe, a título informativo, un procedimiento de cálculo de la transparencia efectiva aportada por la combinación de elementos transparentes y opacos en los dispositivos reductores de ruido.
- La transparencia se define tanto desde el punto de vista de los vecinos del lugar (transparencia estática), como desde el de los usuarios de la carretera (transparencia dinámica, es decir, cuando el observador se desplaza a una determinada velocidad).

La futura Parte 3 se referirá a la reacción al fuego y al riesgo de incendio de los dispositivos reductores de ruido siempre en relación con la posible afección a los vecinos o transeúntes de la zona en que se ubica el DRR.

Comportamiento a largo plazo de las características acústicas y no acústicas

El tercer gran bloque de la normativa titulado “DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO DE TRÁFICO EN CARRETERAS - PROCEDIMIENTOS PARA EVALUAR MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A LARGO PLAZO”, es el relativo al comportamiento exigible a los dispositivos reductores de ruido durante su vida en servicio prevista, quedando, a su vez, dividida en dos partes:

Parte 1 (EN 14389-1): Características acústicas.

Parte 2 (EN 14389-2): Características no acústicas.

Los dispositivos reductores de ruido para las carreteras, no solo deberán satisfacer los requisitos para su comportamiento, tanto acústico como no acústico, definidos anteriormente, sino que, además, deberán ser capaces de mantenerlos durante la vida de servicio requerida para cada caso.



Figura 12: Ejemplos de deterioro de la durabilidad de dispositivos reductores de ruido.

Dada la diversidad de los problemas de contaminación acústica que pueden presentarse y que generalmente requieren condiciones técnicas diferentes para solucionarlos, en todas las partes de estas normas, se permite a las autoridades competentes, indicar cuando se exime del cumplimiento de alguno de los requisitos detallados en ellas, en caso de que una determinada característica carezca de interés para la solución o dispositivo reductor ruido proyectado.

Verificación y homologación de productos. Marcado CE de dispositivos reductores de ruido para carreteras. Evaluación de conformidad...

Esta La norma EN 14388 titulada "DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO DE TRÁFICO EN CARRETERAS - ESPECIFICACIONES". Producto estándar y anexo Z. se refiere a los procedimientos y condiciones para que los diferentes productos obtengan la marca CE de homologación para su libre circulación en el mercado europeo. Esta norma ya está publicada y desde enero de 2009, ha entrado en vigor el marcado CE para los dispositivos reductores de ruido en carreteras.

La evaluación de conformidad de los dispositivos reductores de ruido para carreteras, se realiza con respecto a la Norma Europea UNE-EN 14388:2006, que incluye el procedimiento de evaluación de conformidad y el Anexo ZA. Debe proporcionarse la documentación siguiente documentación:

- a) las instrucciones de instalación que deben describir el modo en que el producto (elemento acústico, barrera anti-ruido completa, etc.) debe instalarse para poder obtener el comportamiento medido en el ensayo de tipo inicial;
- b) un manual de mantenimiento que debe especificar las medidas que son necesarias, o que deben evitarse, para mantener la durabilidad del comportamiento acústico, la transparencia, la resistencia estructural, etc.

El cumplimiento por el dispositivo reductor de ruido de los requisitos de esta norma y de los valores indicados, debe demostrarse por medio de:

- el ensayo de tipo inicial;
- el control de la producción en fábrica.

Esta evaluación de conformidad hace referencia a la parte armonizada de la norma UNE-EN 14388:2006, o sea, a la parte que aborda los requisitos o características esenciales según las disposiciones de la Directiva 89/106/CEE de Productos de Construcción. Las características esenciales y sus requisitos, se especifican en la Tabla ZA.1 Métodos de ensayo, del Anexo ZA de esta norma:

1. Absorción sonora DL_a : ensayo según EN 1793-1. Sólo para dispositivos absorbentes. No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.
2. Aislamiento a ruido aéreo DL_R : ensayo según EN 1793-2. No se aplica a revestimientos. No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.
3. Resistencia a cargas:
 - Peso propio de un elemento acústico: mojado, mojado reducido o seco, según se define en B.2 de EN 1794-1:2003 y Anexo B (calculado o ensayado). No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.
 - Carga vertical máxima que un elemento puede soportar con el fin de cumplir B.3.2 de EN 1794-1:2003 (carga transmitida por los elementos superiores) y Anexo B (calculado o ensayado). Para las barreras no verticales debe especificarse la inclinación, por ejemplo: vertical + 15°.
 - Carga normal (90°) máxima que un elemento acústico puede soportar con el fin de cumplir A.3.3 de EN 1794-1:2003 (carga eólica y estática) y Anexo A (calculado o ensayado). No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.
 - Carga normal (90°) máxima que un elemento estructural puede soportar con el fin de cumplir A.3.2 y B.3.3 de EN 1794-1:2003 (carga eólica, carga estática y peso propio)

y Anexos A y B (calculado o ensayado). No se aplica cuando el producto no incluye elementos estructurales.

- Momento flector máximo que un elemento estructural puede soportar con el fin de cumplir E.2 de EN 1794-1:2003 (carga dinámica por retirada de la nieve) y Anexo E (calculado o ensayado). No se aplica cuando el producto no incluye elementos estructurales.
- Carga normal (90°) máxima que un elemento acústico puede soportar con el fin de cumplir E.2 de EN 1794-1:2003 (carga dinámica por retirada de la nieve) y Anexo E (calculado o ensayado). No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.

4. Durabilidad:

- Características acústicas, según EN 14389-1:2008
- Características no acústicas, según EN 14389-2:2004

5. Otras características:

- Riesgo de caída de trozos desprendidos: ensayo según EN 1794-2:2003, Anexo B. No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.
- Reflexión de la luz: valor de la reflexión medido de acuerdo con E.3 de EN 1794-2:2003 y Anexo E. No se aplica cuando el producto no incluye elementos acústicos.
- Liberación de sustancias peligrosas: según EN 1794-2:2003, Anexo C.

Resulta preciso indicar que esta normativa es de aplicación y obligado cumplimiento para los dispositivos que se usen en carreteras, pero no para el caso de los ferrocarriles, para los que acaba de iniciarse el proceso normalizador al respecto.

Eficacia “in situ” de los dispositivos reductores de ruido

Este proyecto se recogió inicialmente como parte de la norma de características acústicas, titulado “DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO DE TRÁFICO EN CARRETERAS - MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA PÉRDIDA POR INSERCIÓN”. Características extrínsecas - rendimiento “in situ”.

Ante las dificultades técnicas para poder abordar su proceso de desarrollo, ya que el documento ISO/DIS 10847, que inicialmente se estudió como punto de partida para la redacción de alguna propuesta, se ha comprobado que aún resulta impreciso y no adecuado a los propósitos de una norma, para cubrir la diversidad de dispositivos reductores ruido para carreteras.

A pesar de que esta sería quizás la norma más interesante desde el punto de vista del control de calidad y recepción de las obras, ya que su objetivo sería proponer un método para determinar la eficacia de los dispositivos reductores de ruido una vez finalizado su proyecto e instalación, su posible aparición, caso de llegar a producirse, queda condicionada a la espera de los posibles avances tecnológicos precisos para su redacción.

Recomendaciones para la definición y proyecto de los dispositivos reductores de ruido a incluir en los Planes de Acción en carreteras

La definición y proyecto de las dotaciones o equipamiento anti-ruido de una infraestructura, es una tarea extremadamente compleja en razón a los factores que intervienen y que, portanto, requiere de personal técnico con gran experiencia y altamente especializado en la materia.

La experiencia muestra como la excesiva simplificación a la hora de abordar los problemas de ruido de tráfico en carreteras, lleva a resultados poco satisfactorios.

Una vez definidas de forma precisa y optimizada las dimensiones, lugar de implantación y tipo de la pantalla acústica, revestimiento absorbente o cualquier otro dispositivo reductor de ruido, a instalar en una infraestructura, deberá redactarse un pliego de condiciones que defina clara y adecuadamente, además de las características mecánicas y de durabilidad, la capacidad de aislamiento a ruido aéreo y/o de absorción acústica, según sea el caso, exigible a los materiales a emplear, mediante los índices DL_R y DL_a respectivamente, en el caso de carreteras. La normativa anteriormente indicada puede suponer una gran ayuda para la redacción de los pliegos de condiciones técnicas, aunque en muchos casos puede precisar la inclusión de requisitos adicionales y/o alternativos para garantizar el adecuado comportamiento final de la obra.

Las dotaciones y dispositivos reductores de ruido para infraestructuras de transportes suponen una costosa inversión y conviene no olvidar que su única misión es la adecuada mejora de las condiciones acústicas en el entorno de las infraestructuras, ya que rara vez aporta otra funcionalidad diferente. Esto que parece obvio, se descuida en la práctica más frecuentemente de lo que podría suponerse, al tomarse decisiones parciales que afectan o modifican lo inicialmente previsto en los estudios de evaluación de impacto acústico y proyectos de medidas correctoras y que afectan seriamente a la eficacia acústica y por tanto a la justificación económica de la inversión.

Referencias y Bibliografía

- [1] DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L189/12-25, 18.7.2002

- [2] Recomendación de la Comisión de 6 de agosto de 2003 relativa a las orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes. Diario Oficial de la Unión Europea DO L 212, 22.08.2003.
- [3] Ley 37/2003, de 17 de noviembre del Ruido, publicada en el BOE, 18 de noviembre de 2003.
- [4] "Good practice for strategic noise maps and the production of associated data on noise exposure". Position Paper of European Commission Working Group of Assessment of Exposure to Noise, WG-AEN WG-AEN).
- [5] Trabajos incluidos en el Convenio de colaboración entre el Ministerio de Medio Ambiente y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento para la realización de asistencia técnica en temas de calidad y evaluación ambiental (2002-2004)
- [6] Estudio para la determinación de las especificaciones técnicas en la elaboración de mapas de ruido de carreteras. Convenio de colaboración entre el CEDEX y la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. 2004.
- [7] Jiménez Mateos, M.D ;Rubio Alférez, J, Segué Echazarreta, F.. "Aplicación de la metodología de los mapas estratégicos de ruido ambiental: primeros mapas en la Red de carreteras del Estado". TECNIACUSTICA 2005. Terrassa.
- [8] Alegre Marrades, Dámaso M.; Clairbois, J.P. "El problema del ruido en las vías de circulación en trinchera a cielo abierto y en los accesos a túneles". SIMPOSIO SOBRE IMPACTO AMBIENTAL DE LAS CARRETERAS. San Sebastián Oct.1988.
- [9] Alegre Marrades, Dámaso M.; Clairbois, J.P. "Les extrémités des tunnels et leurs acces: des sources de bruit en zone urbaine". 8th FASE SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL ACOUSTICS. Zaragoza Abr.1989.
- [10] Alegre Marrades, Dámaso M.; Clairbois, J.P. "Écran antibruit à transparence dynamique et hauts coefficients d'absorption acoustique : analyse de 4 realisations differentes". 8th FASE SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL ACOUSTICS. Zaragoza Abr.1989.
- [11] Gascón Varon, Carlos M.; Alegre Marrades, Dámaso M. "Instalación de juntas de dilatación con acústica reducida en un viaducto del tramo Enekuri-Derio del Corredor del Txoriherri en Bizkaia". JORNADAS SOBRE APOYOS, JUNTAS Y EQUIPAMIENTOS DE PUENTES. Madrid Oct.1996.
- [12] Alegre Marrades, Dámaso M. "Dispositivos Anti-ruido". Revista CARRETERAS nº 64 Monográfico especial dedicado al "Equipamiento de las carreteras". Nov-Dic.1996.

- [13] Alegre Marrades, Dámaso M. "Apantallamientos acústicos de infraestructuras: soluciones prácticas empleando madera". JORNADAS TÉCNICAS SOBRE USO DE LA MADERA TRATADA EN OBRAS PÚBLICAS. Soria May. 2003.
- [14] Alegre Marrades, Dámaso M. "El uso de la madera tratada para obras públicas: Apantallamientos acústicos". 1as JORNADAS ANDALUZAS SOBRE LA MADERA TRATADA Y SUS APLICACIONES. Huelva Abr. 2004.
- [15] Alegre Marrades, Dámaso M. "Medidas correctoras de impacto acústico en infraestructuras. Pantallas acústicas y dispositivos reductores de ruido para carreteras". X JORNADAS DE CARRETERAS. LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA. Las Palmas de Gran Canaria Abr. 2005.
- [16] Segués Echazarreta, Fernando "Capítulo 3: Mapas estratégicos de ruido y planes de acción". ACÚSTICA AMBIENTAL: ANÁLISIS LEGISLACIÓN Y SOLUCIONES. TEMAS DE ACÚSTICA. SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ACÚSTICA - ISBN: 84-87985-18-1 2009.
- [17] Alegre Marrades, Dámaso M. "Capítulo 7: Dispositivos reductores de ruido y pantallas acústicas". ACÚSTICA AMBIENTAL: ANÁLISIS LEGISLACIÓN Y SOLUCIONES. TEMAS DE ACÚSTICA. SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ACÚSTICA - ISBN: 84-87985-18-1 2009.