

Diagnóstico de la información suministrada por los mapas estratégicos de ruido ambiental y definición de medidas de control:

Aplicación de las exigencias de la Directiva 2002/49/CE a tramos urbanos de tráfico rodado



Ricardo del Pozo Pascual (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos), Director Técnico de Obra Civil de G.O.C., S.A.; Miguel Gómez Torreiro (Ingeniero Técnico Industrial); y Francisco Javier Rodríguez Rodríguez (Dr. Ingeniero Industrial), Área de Acústica de G.O.C., S.A.

Resumen

Este artículo pretende abordar el proceso metodológico de evaluación y control de la contaminación acústica inducida por el tráfico rodado, según las exigencias de la Directiva 2002/49/CE y siguiendo los apartados que todo estudio encaminado a la gestión del ruido ambiental debería abarcar: descripción de la zona

de trabajo, detalle de los factores condicionantes para la elaboración de los mapas estratégicos de ruido y, finalmente, presentación de los resultados obtenidos en el estudio, conclusiones derivadas de éstos y pautas de un plan de acción. Todo ello particularizado para dos tramos de carreteras: PO-552 (Tramo Vigo-A Xurela: 2,320 km y 22 795 IMD) y PO-325 (Tramo Vigo-Canido: 2,690 km y 21 373 IMD), correspondientes a la red de carreteras de la Comunidad autónoma de Galicia.

Palabras clave: tráfico rodado, niveles sonoros, medidas técnicas de control, mapa acústico.

1. Antecedentes

El proceso de concentración en los

principales núcleos urbanos y en los nuevos enclaves urbanísticos, y el desarrollo espectacular de los medios de transporte, tanto de personas como de mercancías, han condicionando que el ruido, el contaminante más común, adopte la categoría de problema ambiental serio y su reconocimiento como una de las variables prioritarias cuando se valora la calidad de vida que ofrece un determinado asentamiento. Además, la contaminación acústica viene siendo el único de los problemas ambientales que afecta y preocupa de un modo creciente a un mayor número de personas.

Esta situación no sostenible ha inducido, en la Unión Europea, la necesidad de adoptar medidas e iniciativas específicas para la reducción

del ruido ambiental, plasmada a través de la Directiva 2002/49/CE, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, cuyos objetivos residen en:

- Determinar los niveles sonoros ambientales a los que se encuentran expuestos los ciudadanos: realización de mapas estratégicos de ruido, elaborados según métodos de evaluación comunes a los Estados miembros.

- Informar a la población acerca de los niveles sonoros que padece, así como sus efectos.

- Establecer, a partir de los resultados de los mapas estratégicos, planes de acción encaminados a prevenir y reducir el ruido ambiental; es decir, tomar medidas.

En este contexto, la aprobación de la Directiva 2002/49/CE, y su trasposición a la legislación nacional mediante la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, compromete a los Estados miembros a realizar mapas estratégicos de ruido de los grandes ejes viarios (aquellos con unos flujos de tráfico superiores a los 6 000 000 de vehículos al año en una primera fase y con flujos superiores a los 3 000 000 en una segunda fase), y posteriormente elaborar planes de acción asociados a esos mapas.

Según la Directiva 2002/49/CE, un mapa estratégico de ruido es un “mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona”. En este sentido, los mapas estratégicos de ruido, que amplían la información suministrada por los denominados mapas acústicos, constan de dos partes bien diferenciadas:

- Los mapas de niveles sonoros: mapas de líneas isófonas realizados a partir del cálculo de niveles sonoros en puntos receptores que abarcan toda la zona de estudio en las condiciones de cálculo estipuladas.

- Los mapas de exposición al ruido: mapas en los cuales figuran los datos relativos a edificios, viviendas y población expuestos a determinados niveles de ruido en fachada y otros datos exigidos por la Directiva

2002/49/CE y la Ley del Ruido.

2. Zona de estudio

La zona de estudio abarca el área de influencia de los tramos de las carreteras PO-552 (Tramo 1: 2,320 km y 22 795 IMD) y PO-325 (Tramo 2: 2,690



km y 21 373 IMD). Como punto diferenciador, conviene indicar que el trazado de ambas vías discurre con una distancia variable entre ellas de 200 a 400 m; por lo cual, la zona geográfica delimitada por el tráfico de ellas se encuentra sometida a los niveles sonoros inducidos por conjunta de éstas, siendo necesario abordar en un único modelo los mapas estratégicos generados por ambas vías.

De modo general, los tramos evaluados poseen las siguientes características:

- Gran cantidad de edificaciones de elevado número de alturas en la parte inicial del tramo 2, hacia la salida del núcleo urbano.

- Elevada altura y longitud, a modo de barrera artificial que forma la infraestructura construida para la plataforma de la autovía Vigo – Baiona, en gran parte del tramo 2

- Elevado número de edificaciones dispersas a lo largo del tramo 1, conviviendo y alternando los usos industrial y comercial con el uso residencial.

3. Elaboración de los mapas estratégicos de ruido: algunos factores condicionantes

El proceso metodológico utilizado en la elaboración de los mapas estratégicos se ha basado en el empleo



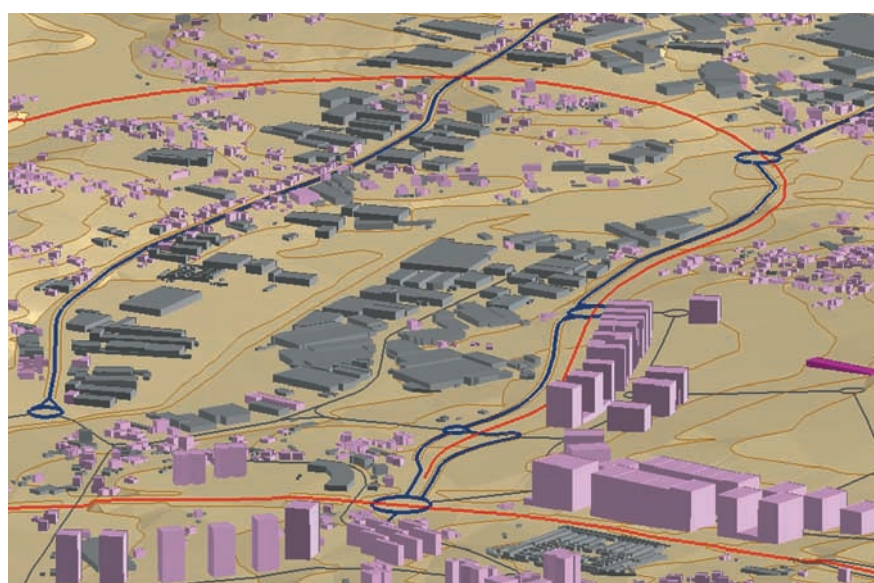
del método de cálculo exigido por la Directiva Europea (“NMPB-Routes-96”), aplicado sobre una modelización tridimensional del área geográfica objeto de estudio. Se recopilaban y se generaban los datos básicos precisos para poder evaluar los niveles de emisión originados por los tramos viarios, los niveles de inmisión en el

entorno de éstos y la exposición al ruido de la población.

- A los tramos viarios se les han asignado los parámetros inductores de la emisión acústica (flujo, velocidad, porcentaje de vehículos pesados, tipo de pavimento...) diferenciando, para los datos de tráfico, los periodos solicitados por la Directiva Europea.

- Se han asignado a cada fachada unos receptores puntuales cada 3 m y a 0,1 m de la fachada (que han formado parte del conjunto de receptores predictivos utilizados para el cálculo de los mapas de los niveles sonoros); posteriormente, se asignan niveles de ruido a la población resultante de distribuir la población total del edificio en función de la longitud de la fachada.

- La definición individual de cada edificación ha venido establecida por los siguientes factores condicionantes: la cota de la base, el número de plantas, la altura y el número de viviendas. Las edificaciones se han representado en la cartografía digital como polígonos cerrados para su posterior tratamiento informático.



Los mapas estratégicos de ruido elaborados se han obtenido a partir dos fases de ejecución diferenciadas: Fase A. Elaboración de los mapas estratégicos de ruido básicos, y Fase B. Elaboración de mapas estratégicos de ruido detallados¹.

En el *cuadro 1* se resumen algunos de los condicionantes empleados.



(1) Conviene indicar que, aunque la primera fase debe permitir identificar y delimitar las zonas con uso predominante residencial, colegios y hospitales y áreas que requirieran una especial protección contra la contaminación acústica (que estando sometidos a un nivel sonoro $L_{den} > 55$ dB y que con criterios justificados de densidad de población y otros que se estimen convenientes han de ser objeto de la elaboración de un mapa estratégico de ruido detallado en la fase B), las características de los tramos viarios objeto de estudio, los cuales poseen a lo largo de toda la traza un elevado número de viviendas y edificaciones, inducen la necesidad de seleccionar de nuevo toda la longitud de los tramos para realizar los mapas estratégicos de ruido detallados.

Mapas estratégicos de ruido básicos	Mapas estratégicos de ruido detallados
Escala 1/25.000	Escala 1/5.000
Objetivo: Representar de manera compacta toda la información relativa a la población que se encuentra sometida a distintos niveles de ruido en cada zona de detalle, así como obtener datos globales de la población expuesta al ruido, relacionando los niveles de ruido en fachada con el número de viviendas y personas que habitan en ellas.	Objetivo: Representar de manera detallada toda la información relativa a la población que se encuentra sometida a distintos niveles de ruido en cada zona de detalle y los datos que relacionan los niveles de ruido en fachada con el número de viviendas y personas que habitan en ellas.
Curvas de nivel cada 10 m	Curvas de nivel cada 5 m
Mallas de 10 x 10 metros (aunque las prescripciones indican un ancho máximo de 30 m)	Mallas de 10 x 10 m
Definición de edificaciones con usos de tipo residencial, docente o sanitario y otros usos (industrial, terciario ...)	
Viviendas y población expuesta	Este modelo con paso de malla de 10x10 permite calcular los niveles de ruido en fachada (Fachadas expuestas)
Límites mínimos: $L_{den} = 55$ dBA; $L_{noche} = 50$ dBA	
Resultados:	
- Mapas de niveles sonoros: representación cartográfica, a escala de trabajo, de los indicadores sonoros resultantes de los cálculos. - Mapas de exposición en fachada: representan los niveles de ruido de exposición en fachadas de usos sensibles (con población), a 4 m de altura. Sirven de base para la estimación de la población expuesta. Los cálculos en fachada sólo se exigen en las zonas de detalle (Fase B), de modo que los niveles en fachada sólo se representan en los mapas de exposición de esta fase. En los planos de la fase A se representan las tablas globales de cada zona de detalle y todo el estudio en su globalidad.	

Cuadro 1.

4. Resultados: mapas estratégicos de ruido

Los documentos y mapas estratégicos de ruido resultantes de ambas fases, que han de servir de base a la Información Pública conforme a lo estipulado en la Ley del Ruido, permitieron detectar los enclaves acústicamente más problemáticos y elaborar, a modo de plan de acción, una primera aproximación de las medidas para paliar las deficiencias detectadas.

A continuación, se exponen algunos de los mapas realizados.

5. Análisis de los resultados y conclusiones: identificación de las zonas de actuación acústica

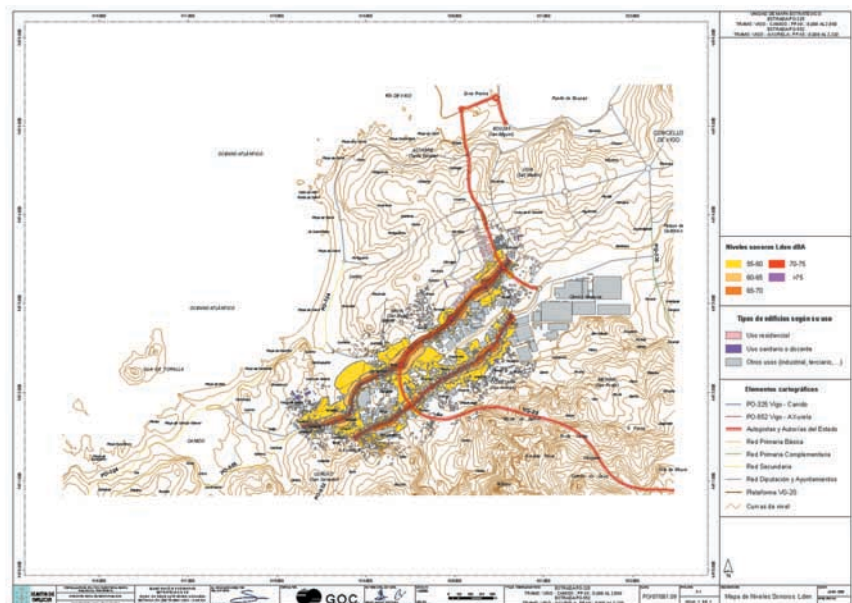
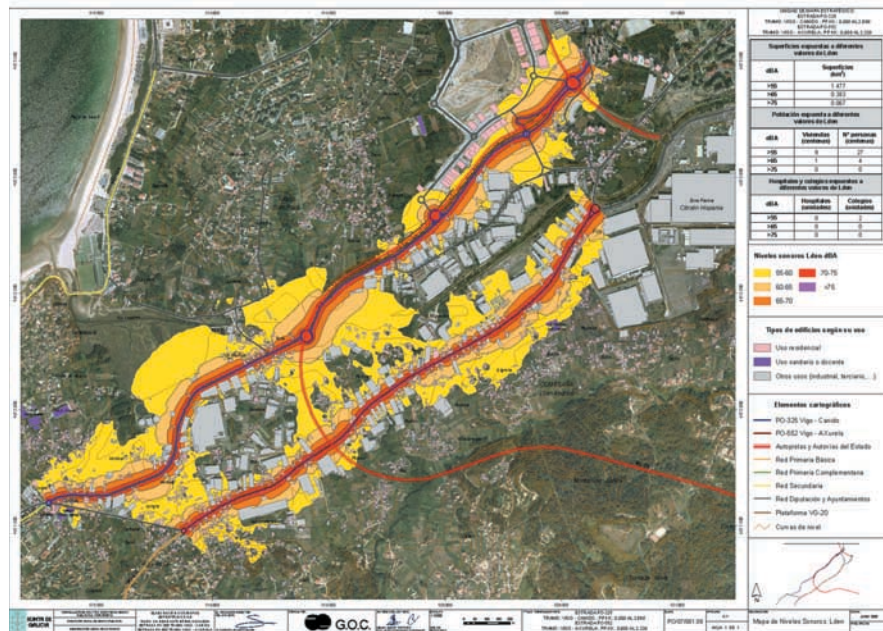
La información obtenida responde a los requisitos de la Directiva Europea sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental. El criterio de clasificación de emplazamientos según el grado de conflicto por ruido se realiza según la población afectada y los usos sensibles, considerando como zonas de actuación acústica aquellas que los mapas estratégicos de ruido identifiquen como sometidas a los siguientes valores o criterios de referencia:

- $L_{den} > 65$ dBA y/o $L_{noche} > 55$ dBA para viviendas.
- $L_{den} > 60$ dBA y/o $L_{noche} > 55$ dBA para usos sanitarios.
- $L_{den} > 55$ dBA para usos docentes.

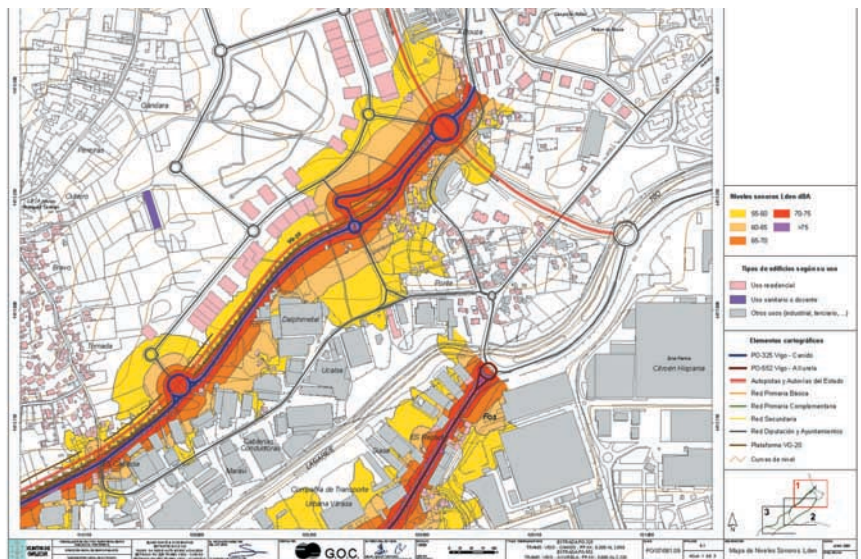
(El valor $L_{noche} > 55$ dBA se convierte en el indicador más restrictivo para zonas residenciales o sanitarias, siendo este el valor que se viene adoptando en las declaraciones de impacto ambiental de infraestructuras lineales).

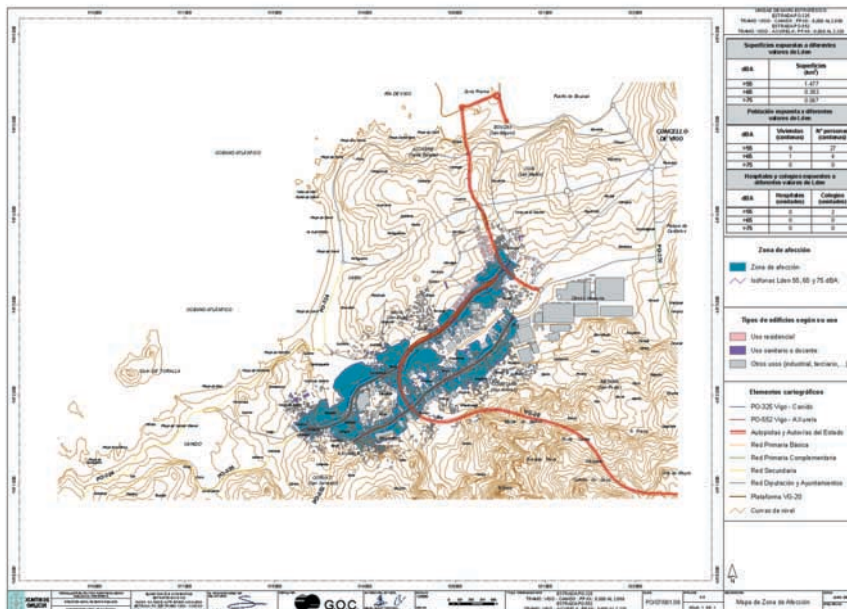
En este sentido, el análisis, a modo de diagnóstico, de los resultados obtenidos permite identificar los en-

Mapa estratégico de ruido de detalle de niveles sonoros L_{den} , calculados a una altura de 4 m, con la representación de las distintas líneas isófonas dentro de los siguientes rangos: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, > 75 dB.



Mapa estratégico de ruido básico de niveles sonoros L_{den} , calculados a una altura de 4 m, con la representación de las distintas líneas isófonas dentro de los siguientes rangos: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, > 75 dB.





La información acústica elaborada permitió establecer el mapa de zonas de afectación o representación de áreas entre líneas isófonas de 55, 65 y 75 dB; es decir, representación de las zonas del territorio donde L_{den} es superior a 55, 65 y 75 dB, a partir de las cuales se calculan las superficies de afectación, indicando el número total estimado de viviendas (en centenares) y el número total estimado de personas (en centenares) que residen en cada una de esas zonas.



metidos a los criterios de referencia ($L_{den} > 55$ dBA).

En el punto 6.4. se resumen las zonas en las que se han detectado conflictos (Zonas de Actuación Acústica), para las cuales se ha realizado una valoración básica de posibles actuaciones de mejora.

6. Medidas de actuación

6.1. Antecedentes

En las etapas anteriores se ha desarrollado una evaluación de la situación acústica, mediante la generación de la información necesaria, que ha permitido obtener una visión profunda de la problemática del ruido en el entorno analizado. Posteriormente, se ha realizado un diagnóstico o análisis de los mapas estratégicos de ruido elaborados, lo que ha permitido detectar las zonas de actuación acústica y plantear objetivos.

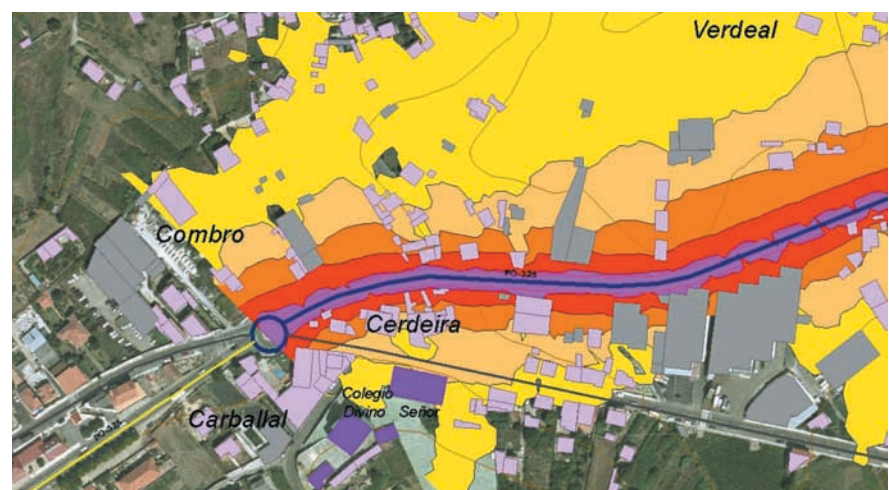
En el presente punto se definen las medidas de actuación que se deben adoptar. En este sentido, en situaciones ya consolidadas, para reducir

claves acústicamente más problemáticas, susceptibles de ser tratados mediante un plan de actuación (definición del conjunto de medidas para reducir los niveles sonoros).

Así, los mapas estratégicos de ruido reflejan que:

- La isófona $L_{den} = 70$ dBA afecta a práctica totalidad de las viviendas (tanto de edificaciones como unifamiliares) de la primera línea de traza.
- Las viviendas de segunda línea de traza se encuentran dentro del área donde L_{den} es igual o superior a 65 dBA.
- Existen edificaciones y viviendas unifamiliares expuestas a valores de L_{noche} superiores a 60 dBA.

iv) Respecto a las edificaciones sensibles en función de su uso, se han detectado edificios docentes so-



el impacto acústico han de emplearse medidas técnicas correctoras, entre las cuales se encuentran, principalmente, acciones sobre:

- La fuente de ruido: Pavimentos reductores.
- El medio de propagación: Pantallas acústicas.
- El receptor: Aislamiento de edificios.

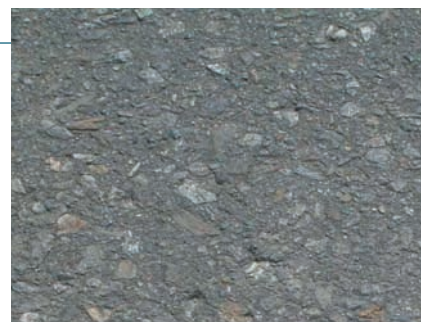
6.2. Pavimentos reductores

El ruido generado por el tráfico rodado proviene de dos fuentes vehiculares distintas: Los ruidos mecánicos (procedentes del motor, escape, transmisiones...) y los ruidos no mecánicos (ruido de rodadura, inducido por la interacción neumático-calzada, y ruido aerodinámico).

Históricamente, cuando se ha pre-

tendido abordar la problemática del ruido urbano, las acciones pertinentes se encaminaron principalmente a la minimización de los ruidos mecánicos de los vehículos. De modo que, a medida que éstos se han ido reduciendo, el ruido de rodadura fue adquiriendo un papel cada vez más destacado. Así, actualmente, el ruido de rodadura se ha convertido en el predominante (superior en 2-4 dBA a los ruidos aerodinámicos y mecánicos) cuando las velocidades de circulación superan los 50-55 km/h.

En este contexto, el estudio de la capa de rodadura resulta determinante; pues el carácter más o menos reductor de un pavimento (representado por el nivel de ruido que genera y la capacidad de absorción que posee) viene determinado por los valores que



adquieren una serie de parámetros relacionados principalmente con ésta (cuadro 2).

Por ello se vienen diseñando distintos tipos de pavimento modificando experimentalmente, sobre todo, las variables de la capa de rodadura: tamaño del árido, espesor y porcentaje de huecos, tratando de buscar una solución que minimice el impacto sonoro.

Tales diseños, analizados según su comportamiento acústico², tanto fren-

Generación de ruido	Absorción del ruido
Tamaño de árido. El ruido generado es directamente proporcional al tamaño máximo del árido.	El porcentaje (%) de huecos. A mayor porcentaje de huecos, mayor absorción acústica.
	El espesor de la capa de rodadura. Aumentar el espesor implica una mayor reducción global de las emisiones de ruido del tráfico, además se desplaza el pico de absorción acústica hacia las bajas frecuencias. Su efecto no es significativo para pequeñas variaciones de espesor, inferiores a 2 ó 3 cm. Los pavimentos óptimos, desde el punto de vista acústico suelen tener de 6 a 10 cm de espesor; aunque considerando además el aspecto económico no es conveniente superar los 8 cm.
	La resistencia al flujo del aire. Es la resistencia que ofrece una muestra al paso de un flujo de aire a través de ella. Se mide en $Ns \cdot m^{-4}$. Interesan valores intermedios, ni muy altos, ni muy bajos. Este parámetro se correlaciona directamente con la disipación de la energía sonora como consecuencia de las fuerzas de fricción en el interior de la mezcla.
	El factor de forma. Número adimensional que indica la relación existente entre los cuadrados de la velocidad del sonido en su propagación en el aire y en el interior de la mezcla. Este parámetro, junto con el espesor, determinarán el rango de frecuencias en el cual se dará el máximo de absorción.

Cuadro 2.

(2) Desde el punto de vista experimental, una de las iniciativas más importantes se llevó a cabo en la ciudad de Valencia, sustituyéndose el pavimento tradicional existente en una vía urbana por distintos tipos de pavimentos reductores (capas de rodadura porosas, bicapa y microaglomerados discontinuos) y variando en cada uno de ellos tanto el tamaño del árido como el espesor de la capa. Se trataba de comprobar, a partir del nivel continuo equivalente generado al paso de los vehículos, el comportamiento acústico de los diversos pavimentos. Así, se demostró cómo, efectivamente:

i) Con el empleo de cualquiera de los distintos pavimentos reductores se obtienen disminuciones en el L_{eq} de hasta 5 dBA respecto a los pavimentos no porosos tradicionales. En este sentido, es importante recordar que una disminución de 3 dBA equivale a reducir a la mitad el valor de la densidad de tráfico que circula por una vía urbana o, también, aumentar al doble la distancia que separa las viviendas de la calzada.

ii) Los pavimentos cuyo tamaño de árido es pequeño presentan el mejor comportamiento acústico respecto al ruido de rodadura generado.

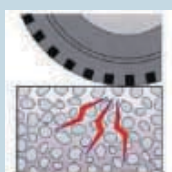
iii) Para el fenómeno de la absorción de ruido (tanto el de rodadura producido como el del motor o mecanismo de escape) resulta significativo el espesor de la capa de rodadura y el % en huecos. Sin embargo, para a mantener tal característica es necesario realizar, periódicamente, una limpieza o descolmación de los poros, lo cual incrementa el coste del mantenimiento.

Capas de rodadura drenantes

En la actualidad es la solución más utilizada internacionalmente. En esencia, las capas de rodadura drenantes consisten en colocar una mezcla porosa (con ligante modificado) de unos 3 a 5 cm de espesor en la parte superior del firme. Su porcentaje de huecos ha de ser superior al 20 %. Acústicamente, funcionan preferentemente a medias y altas frecuencias. Sus coeficientes de absorción aproximados son: 0,2 para las bajas frecuencias; 0,45 para las medias frecuencias; y 0,60 para las altas frecuencias.

Ventajas

- Buen comportamiento acústico:
- Poca generación de ruido de rodadura.
 - Absorben parte del ruido de rodadura generado.
 - Absorben parte del ruido procedente de otras fuentes (motor, escape...).
 - Disminuyen el ruido en el interior del vehículo.



Consiguen, debido a la porosidad estructural que presentan, una circulación más cómoda y segura; incrementando:

- El drenaje del agua de lluvia.
- La adherencia del neumático.

Inconvenientes

Duración funcional. Debido a la colmatación de sus poros, pierden parcialmente sus principales propiedades (drenante y acústica). Por ello, se ha de proceder, periódicamente, a la limpieza o descolmatación de los huecos, lo que implica un encarecimiento del mantenimiento.

Duración física. Presenta problemas de resistencia para aguantar durante largos periodos de tiempo tanto los esfuerzos tangenciales como los de succión del tráfico.

Coste superior al de los pavimentos densos convencionales.

Microaglomerados discontinuos

Se obtienen extendiendo una capa fina de unos 2 cm de espesor y de un tamaño máximo de árido de 6 a 8 mm (e incluso tamaños inferiores) sobre un pavimento cualquiera, siempre que presente buena regularidad superficial. El porcentaje de huecos difícilmente sobrepasa el 10 %.

Ventajas

- El pequeño tamaño del árido consigue una baja emisión acústica.
- El coste de ejecución es moderado, pero inferior al de los pavimentos porosos.

Inconvenientes

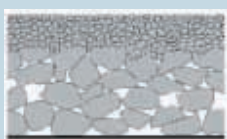
- Los coeficientes de absorción son pequeños debido al bajo porcentaje de huecos.
- Existe cierta limitación en cuanto al mantenimiento de su textura superficial con el tiempo, ya que ésta tiende a cerrarse parcialmente.

Pavimentos bicapa

Dado que experimentalmente se ha demostrado que un árido pequeño proporciona una mejora acústica (pero, a su vez, una granulometría con estas características propicia que el porcentaje de huecos no sea elevado), para tratar de aprovechar ambos aspectos contradictorios se ha estudiado un pavimento poroso de dos capas. Así, la capa superior, de unos 2-3 cm, es de árido pequeño para minimizar la generación de ruido, y la capa inferior, de unos 3-5 cm, es de árido más grueso para aprovechar las propiedades fonoabsorbentes de los pavimentos porosos.

Ventajas

- Su comportamiento acústico es superior al proveniente de los pavimentos monocapa.
- Presenta las mismas otras virtudes que los pavimentos porosos.



Inconvenientes

- Posee los mismos defectos que los pavimentos porosos respecto a la durabilidad funcional y física.
- Presenta con el tiempo el llamado "efecto membrana", por el cual las partículas que colmatan el pavimento se acumulan con mayor facilidad en la interfaz existente entre las dos capas, inutilizando, así, la sección inferior del pavimento.
- La puesta en obra es más laboriosa, compleja y costosa que la perteneciente a un pavimento monocapa.

Estructuras porosas	
Las estructuras porosas consisten en un pavimento poroso de espesor elevado, alrededor de los 50 cm; lo cual potencia las características drenantes y acústicas, alcanzando coeficientes de absorción de 0,2, 0,5 y 0,65 para bajas, medias y altas frecuencias.	
Ventajas	Inconvenientes
– Proporcionan una absorción acústica elevada. – Poseen una elevada capacidad de almacenar agua.	Debido a su naturaleza, prácticamente son inviables en ámbitos urbanos.
Pavimentos eufónicos	
Se encuentran formados por una capa de rodadura porosa de 4 a 6 cm de espesor colocada sobre una capa de hormigón donde se instalan unos resonadores o mecanismos diseñados para absorber sonido de una determinada frecuencia. En este caso, éstos se ocuparían de las frecuencias más bajas, por ser tales frecuencias las más difíciles de aislar y absorber dada su gran longitud de onda; mientras que la capa porosa absorbería las medias y altas frecuencias. Así, se consiguen unos coeficientes de absorción acústica de 0,6, 0,4 y 0,7.	
Ventajas	Inconvenientes
– Resultados acústicos óptimos.	– Compleja puesta en obra. – Alto coste. – Posee, actualmente, un carácter experimental, pues es un pavimento poco estudiado.

Cuadro 3 (continuación).

te al pavimento denso convencional como comparativamente entre sí, han de cumplir, además, las características propias de su funcionalidad: adherencia, permeabilidad, durabilidad, coste, mantenimiento...

Algunas de las soluciones planteadas y utilizadas de cara al estudio de sus propiedades acústicas son las indicadas en el *cuadro 3* (véanse págs. 7 y 8).

Consideraciones

Los pavimentos con propiedades reductoras del ruido resultan por su naturaleza costosos, variando el precio en función de las características deseadas. A nivel urbano, el interés por esta medida de control de la contaminación acústica ha sido reducido, limitándose prácticamente, a las grandes capitales que se pueden permitir desembolsos económicos elevados.

Sin embargo, actualmente, la concienciación social relativa a los altos niveles sonoros, el elevado porcentaje de población que vería incrementada su calidad de vida y la progresiva reducción del nivel a partir del cual el ruido de rodadura es predominante está induciendo, junto con un mayor interés investigador en es-

ta materia, a que se acreciente sustancialmente la adopción de esta medida en ámbitos urbanos.

Por otra parte, de los tipos de pavimentos reductores analizados, hay dos de ellos susceptibles de ser empleados en medios urbanos (dada la inviabilidad en ámbitos urbanos tanto de las estructuras porosas como de los pavimentos eufónicos y considerando que los pavimentos bicapa presentan una dificultosa puesta en obra y se encuentran todavía en fase experimental), siendo necesario analizar cuál de ellos resulta más conveniente (véase *cuadro 4* en la *página siguiente*).

6.3. Pantallas acústicas

La eficacia acústica de una pantalla instalada en una infraestructura de transporte depende de los siguientes factores:

- La capacidad de aislamiento acústico a ruido aéreo y el carácter absorbente o reflectante de la pantalla (determinados por los propios materiales constitutivos de la pantalla).
- El dimensionamiento geométrico (altura y longitud).
- Su ubicación: situación relati-

va con relación al emisor y al receptor.

Por tanto, el diseño y dimensionamiento de una pantalla acústica implica un análisis de:

-La cuantificación de la reducción de ruido necesaria que ha de aportar la pantalla.

-La determinación de su ubicación. Aunque, en general, la eficacia se incrementa a medida que se aproxima a la fuente, en ciertos casos su colocación está condicionada por la disponibilidad de terreno y por la necesidad de garantizar ciertas condiciones de seguridad en la circulación de los vehículos.

-La geometría de la pantalla, respecto a la altura y longitud.

-Materiales de composición y diseño constructivo.

Se ha de poner especial cuidado en evitar los problemas que puede causar la reflexión de los sonidos, pues tal fenómeno puede inducir un aumento de los niveles acústicos en la calzada y en los edificios situados en el lado contrario de ella. Así, se debe evaluar la posibilidad de que las ondas acústicas reflejadas en la pantalla, o las múltiples reflexiones

Capas de rodadura drenantes (asfaltos porosos)	Puntos fuertes - Mayor absorción acústica	Puntos débiles - Mayor generación de ruido. - Debido a su naturaleza drenante, el fondo de la capa de rodadura ha de situarse ligeramente por encima de la cota de desagüe. Tal disposición constructiva puede dificultar la puesta en obra. - Mayor coste inicial. - Mayor coste de mantenimiento (descolmatación).
Microaglomerado discontinuo	- Menor generación de ruido de rodadura. - Al ser más cerrados no presentan el problema de la colmatación, por lo que a largo plazo son, en este sentido, más viables. - Se extiende en capas mas finas y, por tanto, se emplea menos material; repercutiendo en una menor inversión económica.	- Su virtud no es la absorción del sonido (sino una escasa generación del mismo).

Cuadro 4.

entre vehículos y la pantalla, puedan alcanzar zonas sensibles al ruido enfrentadas a la pantalla, para decidir la instalación de una pantalla con carácter absorbente o reflectante.

A continuación, se analizan los principales tipos de pantallas, derivados de los diferentes comporta-

mientos aislantes y absorbentes de los distintos materiales a las frecuencias del sonido incidente (véase cuadro 5).

6.4. Medidas de actuación en la zona de estudio

Conviene indicar que, en ciertas

partes de los tramos analizados, dada la escasa distancia a las vías de tráfico, las viviendas de las primeras líneas de la traza se encuentran dentro del área delimitada por la isófona de $L_{den} = 65$ dBA; no obstante, en la mayoría de los casos no se reúnen las características adecuadas de es-

Propiedades	Tipo de pantalla		
	Metálica (módulos metálicos tipo "sandwich")	Hormigón	Polimetacrilato (módulos transparentes)
Asislamiento (pérdidas por transmisión orientativos)	25 dBA	26 dBA	30 dBA
Absorción	++	+	----
Algunas ventajas	- Poca reflexión - Gran ligereza - Fácil manten. y reposición - Posibilidad de aplicar distintos colores	- Buen aislamiento - Fácil mantenimiento - Gran durabilidad	- Elevado aislamiento - Fácil integración en el entorno y buena permeabilidad visual
Algunas precauciones	- Analizar riesgos por obstaculización de la visión - Sensibilidad al vandalismo	- Analizar el efecto de las reflexiones sonoras - Analizar el peligro por impacto - Analizar riesgos por obstaculización de la visión	- Analizar el efecto de las reflexiones sonoras - Analizar riesgo de accidentes de fauna - Considerable sensibilidad al vandalismo
Uso habitual	- Cuando existen zonas sensibles en la margen contraria - Pantallas de gran altura	- Zonas de gran estabilidad de suelo-cimentación - Requerimiento de gran durabilidad (> 20 años)	- Ubicación cercana a viviendas sin otras enfrentadas - Partes altas de otro tipo de pantallas

Cuadro 5.



pacio para emplear pantallas acústicas.

Respecto a los pavimentos reductores, su aplicación sí que resulta factible a lo largo de los tramos; aunque su efectividad, y por tanto la recomendación de aplicación, será mayor (efectividad media-alta) donde la velocidad sea más elevada (inexistencia de rotondas, por ejemplo).

El cuadro 6 resume las zonas de conflicto y la propuesta de actuaciones. Se trata, lógicamente, de una tarea previa, que debe ser convenientemente abordada en el correspondiente Plan de Acción. ■

Zonas de conflicto detectadas (zonas de actuación acústica)

Entorno	Uso principal	Niveles de exposición mayores		Prioridad	Posibles medidas	Longitud	Efectividad
		L_{den} (dBA)	noche (dBA)				
Viviendas de primera línea de traza en la parte final del Tramo 2	residencial	> 65 dBA	>55 dBA	A	Pavimentos reductores (1)	1.400 m	Media-alta
				C	Pantallas acústicas (2)	250 m	Alta
Viviendas de primera línea de traza en gran parte del Tramo 1	residencial	> 65 dBA	>55 dBA	A	Pavimentos reductores (1)	2000 m	Media-alta
Viviendas de primera línea de traza en la parte inicial del Tramo 2	residencial	> 65 dBA	>55 dBA	C	Pantallas acústicas (2)	200 m	Alta
Colegio Tramo 2	docente	> 55 dBA	---	C	Pantallas acústicas (2)	250 m	Alta
Colegio Tramo 1	docente	> 55 dBA	---	C	Pavimentos reductores (1)	2000 m	Media-alta

Los distintos grados de prioridad son:

- Prioridad de primer orden (A): Volumen de población y grado de afección muy elevados
- Prioridad de segundo orden (B): Volumen de población intermedio y grado de afección elevado
- Prioridad de tercer orden (C): Volumen de población pequeño y grado de afección elevado

Categorías de la efectividad respecto a las pantallas propuestas:

- Alta: Edificaciones de planta baja o de dos alturas, en terreno llano no situadas en la primera línea de la traza.
- Media: Edificaciones de más de dos alturas no situadas en la primera línea de la traza.
- Baja: Edificios altos cercanos a la carretera, difíciles de proteger.

(1) Respecto a los pavimentos reductores:

- Si se desea la reconstrucción total del firme, se aconseja el empleo de un pavimento cuya capa de rodadura sea una mezcla porosa, con un tamaño de árido de alrededor de 12 mm (PA-12) y un espesor de 5 cm.
- Si se desea la conservación del firme, la mejor opción puede ser la utilización de un microaglomerado discontinuo, de unos 8 mm de tamaño máximo de árido, extendido en una capa de 2,5 cm de espesor.

(2) Respecto a las pantallas acústicas:

- Una opción aconsejable sería la instalación de pantallas mixtas, ejecutando, en la parte superior de las pantallas que se enfrenta con las viviendas, paneles de polimetacrilato para minorar el impacto visual que puede suponer el emplazamiento de una barrera opaca, mientras que la parte inferior podrá realizarse con paneles de hormigón o metálicos; aunque, dada su mayor capacidad de absorción y ante la existencia de edificaciones enfrentadas, se debieran de seleccionar pantallas metálicas.
- En todo caso, las pantallas que se seleccionen han de alcanzar la máxima categoría respecto al aislamiento acústico, según la capacidad establecida por la norma UNE-EN-1973-2 (categoría B3: DL > 24 dB).
 - Respecto al emplazamiento de las pantallas, ha de buscarse, dentro de las limitaciones propias de la seguridad, para maximizar su rendimiento, la mayor cercanía posible a las vía de tráfico rodado.

Cuadro 6.