

LAS PANTALLAS ANTIRRUIDO Y SUS PRESTACIONES

Eloy Pita Olalla

Ingeniero Caminos, Canales y Puertos
Dragados y Construcciones, S.A.

RESUMEN:

Los problemas del ruido proveniente del tráfico se están agudizando en las zonas urbanas y periurbanas, por lo que es necesario el establecimiento de medidas correctoras. Las pantallas antirruído constituyen, en la mayoría de los casos, la solución óptima para la reducción del ruido percibido por la población. Su eficacia está condicionada por el fenómeno de la difracción, por lo que es la altura de la pantalla el principal factor a considerar. Aunque existen fórmulas y ábacos para cuantificar este fenómeno, hay un sinfín de condicionantes que influyen en la eficacia final de la pantalla (longitud, posición relativa de la fuente, pantalla y receptor, topografía, índice de aislamiento acústico, índice de absorción acústica, forma de la cumbrera, condiciones meteorológicas ...). Los materiales constituyentes de las pantallas pueden ser numerosos pero no todos constituyen la solución óptima, ya que una pantalla no sólo debe cumplir con unos condicionantes acústicos sino también de durabilidad, resistencia estructural, inserción medioambiental, seguridad, etc. En la actualidad se está redactando la normativa europea que regula este producto, dentro del CEN/TC226/WG6.

ABSTRACT

Traffic noise problems in urban areas are getting worse and worse and that is why it is necessary to develop corrective actions. Noise barriers are the optimal solution in order to reduce noise received by population. Its efficiency depends on diffraction. Thus, height is the main factor to be considered. Although there are formulae and abaca that quantify this phenomenon, there are many factors which influence the final efficiency of the barrier (length, relative position of source, barrier and receiver, topography, airborne sound insulation rating, sound absorption rating, barrier shape, meteorological conditions, ...). There are many constitutive materials, but not all of them present an optional solution because noise barriers should comply with many other conditions besides acoustic performance, such as long term durability, mechanical performance, general safety, environmental considerations, etc. Standard for road traffic noise reducing devices is being discussed in the CEN/TC226/WG6 and the first part of the standard has already been drafted.

1. EL RUIDO DEL TRÁFICO

El ruido es una de las principales causas de malestar social en las ciudades y zonas periurbanas, siendo el ruido proveniente de la circulación (junto con el producido por el ocio y los talleres y pequeña industria) el que da lugar a la mayor cantidad de quejas.

En la figura nº 1 se describe la reacción del vecindario en función del nivel de ruido inmisivo de día y noche normalizado, L_{dn} siendo:

$$L_{dn} = 10 \lg 1/25 (15 \cdot 10^{(L_D/10)} + 9 \cdot 10^{(L_N/10)})$$

donde L_D es el nivel de ruido equivalente, -es decir, la media energética- durante el período

diurno y L_N , el nivel de ruido equivalente durante el período nocturno.

La figura nº 2 establece otros criterios para indicar la aceptabilidad del nivel de ruido. No existe en la actualidad, en España, referencia legal que limite los niveles máximos de ruido debidos a la circulación rodada, al contrario de lo que sucede con otras fuentes sonoras, donde se establecen límites que aseguren que el nivel de ruido en el interior de las edificaciones y en áreas descubiertas entre los edificios permita la utilización cómoda de los mismos.

La mayor parte de los países europeos ha establecido, dentro de su normativa, unos límites superiores del nivel de ruido. Estos valores, en muchos casos, no son comparables, ya que se emplean índices diferentes y no siempre se refieren a condiciones equivalentes. Pero, en

Figura 1

REACCIÓN DEL VECINDARIO

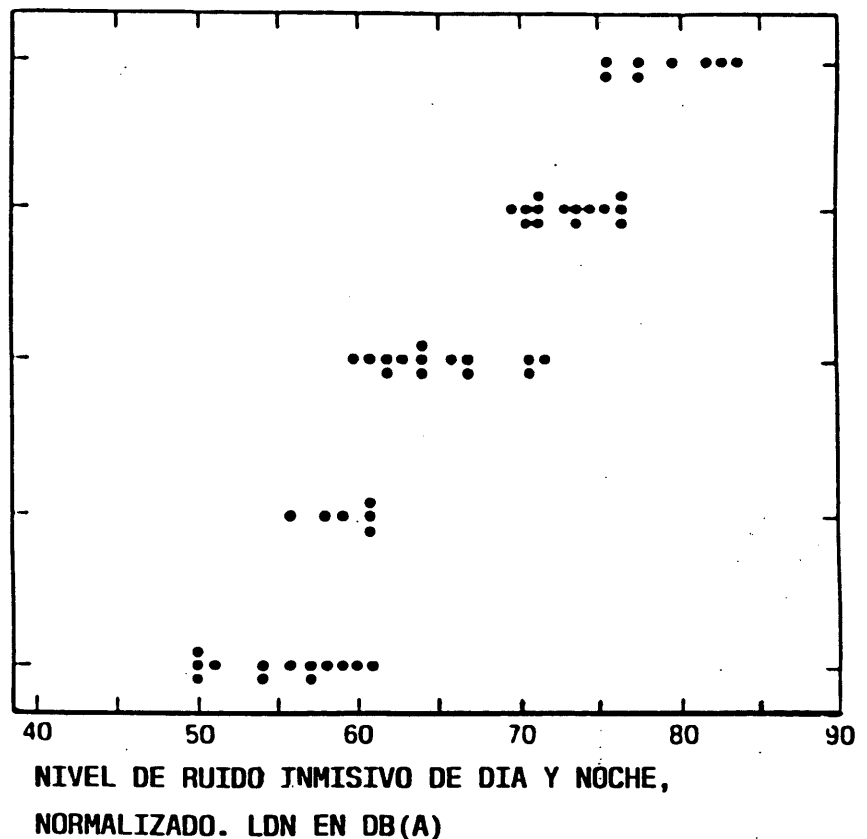
PROTESTA Y ACCIONES ENERGÉTICAS

AMENAZAS VARIAS DE ACCIONES LEGALES O INSISTENTES LLAMADAS A LA POLICÍA LOCAL PARA DETENER EL RUIDO.

QUEJAS AMPLIAS O ALGUNA AMENAZA DE ACCIONES LEGALES.

QUEJAS ESPORÁDICAS

SIN REACCIONES, AUNQUE EL RUIDO ES GENERALMENTE PERCIBIDO.



general, puede señalarse que se consideran deseables valores máximos de Leq diurno de 60 dB(A) en zonas residenciales, algo superiores en zonas de vida más activa (65 dB(A)) y algo inferiores durante la noche (50 dB(A)).

Debido al crecimiento de las ciudades y del parque automovilístico, los problemas de ruido tienden a agravarse. Este hecho, unido a las mayores demandas de calidad medioambiental por parte de la sociedad hace que sea imprescindible el desarrollo de medidas correctoras del impacto acústico generado por las vías de circulación.

2. POSIBLES ACCIONES PARA ATENUAR LOS NIVELES DE RUIDO DEBIDOS AL TRÁFICO

La reducción de los niveles sonoros percibidos por la población se puede realizar a través de la actuación sobre la fuente, sobre la propagación acústica o sobre el receptor.

En el caso del ruido producido por la circulación rodada, se ha realizado un esfuerzo por reducir el ruido en su origen actuando sobre los motores de los vehículos y el ruido de rodadura. Sin embargo se ha llegado, actualmente, a unos niveles por debajo de los cuales es difícil descender.

Se puede actuar sobre el receptor del ruido del tráfico mediante la instalación de doubles ventanas y la mejora del aislamiento acústico de los edificios, que es una solución barata y eficaz para cualquier origen del ruido pero cuya eficacia se limita a la población que se encuentra situada en su interior y con las ventanas cerradas, con lo que no se percibe la mejoría global del entorno.

Por todo lo citado, actuar sobre la propagación del ruido se presenta, en muchos casos, como la única solución posible.

Un primer paso sería planificar el desarrollo de la ciudad y usos del suelo para que las vías de gran densidad de tráfico se sitúen lejos de los receptores (se consiguen reducciones de 3 dB cuando se dobla la distancia a la traza), el trazado sea convenientemente elegido (deprimi-

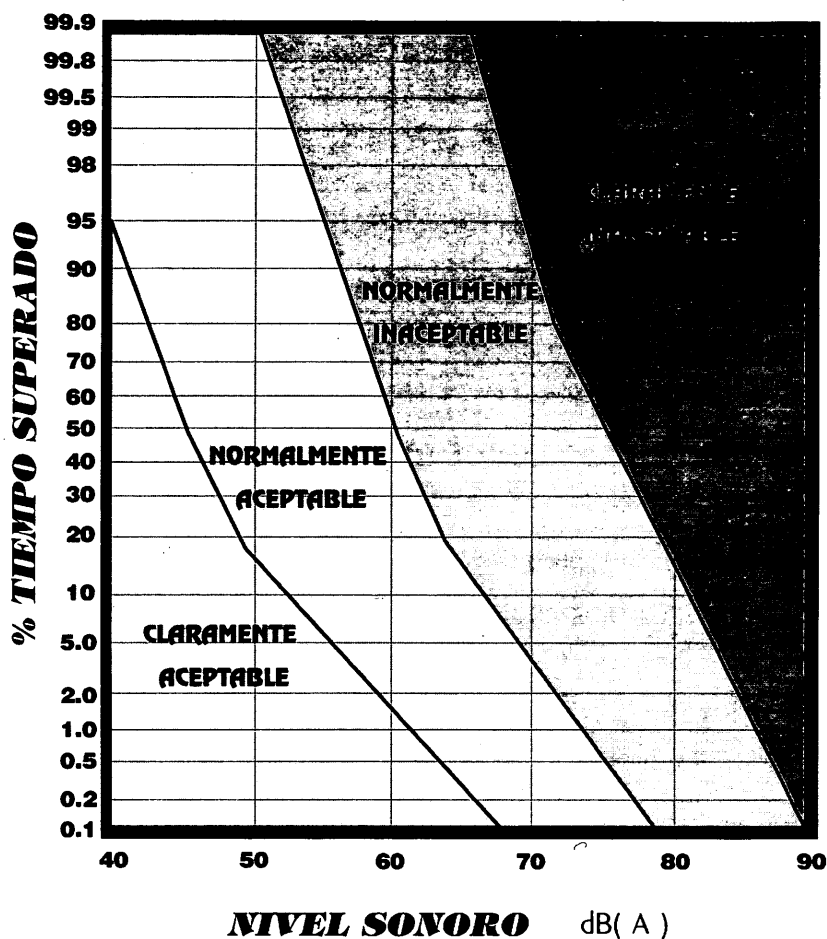


Figura 2. Criterios del departamento estadounidense de vivienda y desarrollo urbano (UHD) para ruido no debido a los aviones en el exterior de áreas residenciales.

do, rampas, pendientes), el tráfico sea concentrado en pocas vías y las vías principales sean proyectadas por las zonas con niveles de ruido más elevados y usos menos exigentes.

Sin embargo, la labor de planificación urbana resulta enormemente compleja y sujeta a tal cantidad de condicionantes que imposibilitan la organización de una ciudad adecuada desde el punto de vista acústico. Por ello, en muchas situaciones, se hace necesario el establecimiento de medidas correctoras suplementarias entre la fuente y el receptor mediante la instalación de elementos aislantes que se interpongan en el camino de los rayos sonoros y creen una "zona protegida". Debido a sus características, la solución universalmente aceptada es la del apantallamiento antirruído.

3. LAS PANTALLAS ANTIRRUIDO

3.0. INTRODUCCIÓN

Denominamos pantallas acústicas o pantallas antirruido a las barreras o muros constituidos por elementos de pared relativamente delgada, verticales o inclinados, que ofrecen gran resistencia a la transmisión del sonido.

Las numerosas ventajas que presentan explican su gran desarrollo en los últimos años en Europa.

Su emplazamiento idóneo es en zona periurbana, en las vías de penetración a las grandes ciudades.

3.1. FUNDAMENTO ACÚSTICO

En ausencia de pantalla, un sonido emitido por una fuente (F) se propaga por el aire hasta alcanzar al receptor (R). En un medio homogéneo e isótropo los rayos sonoros se propagan en línea recta en todas las direcciones.

La intensidad sonora, lógicamente, disminuye con la distancia a la fuente (la energía acústica debe repartirse en una mayor superficie de frente de onda). Además, la absorción

del aire y la presencia de elementos absorbentes reducen los niveles acústicos.

Si se interpone una pantalla entre la fuente y el receptor, la propagación del sonido es modificada. (Ver figura 3).

Parte de la energía que incide en la pantalla pasa a través de la misma (esta energía, llamada "transmitida" es despreciable desde el punto de vista energético). Del resto de la energía, parte es absorbida por el material y parte es reflejada. Se caracteriza la absorción de un material por medio del coeficiente α sabine que se define, para una frecuencia determinada del sonido, como el cociente entre la energía absorbida y la incidente. En función del coeficiente de absorción del material constitutivo de la pantalla, ésta se denomina reflejante (α próximos a 0) o absorbente (valores altos de α).

En configuraciones de apantallamiento vertical a ambos lados de una carretera estrecha o en el caso de reflexiones múltiples entre la caja del camión y la pantalla resulta más eficaz la disposición de elementos muy absorbentes, que eliminan las reflexiones perniciosas (las cuales podrían reducir la eficacia de la pantalla). Sin embargo, dado que la fuente de mayor ruido siempre enmascara a la menor, en general re-

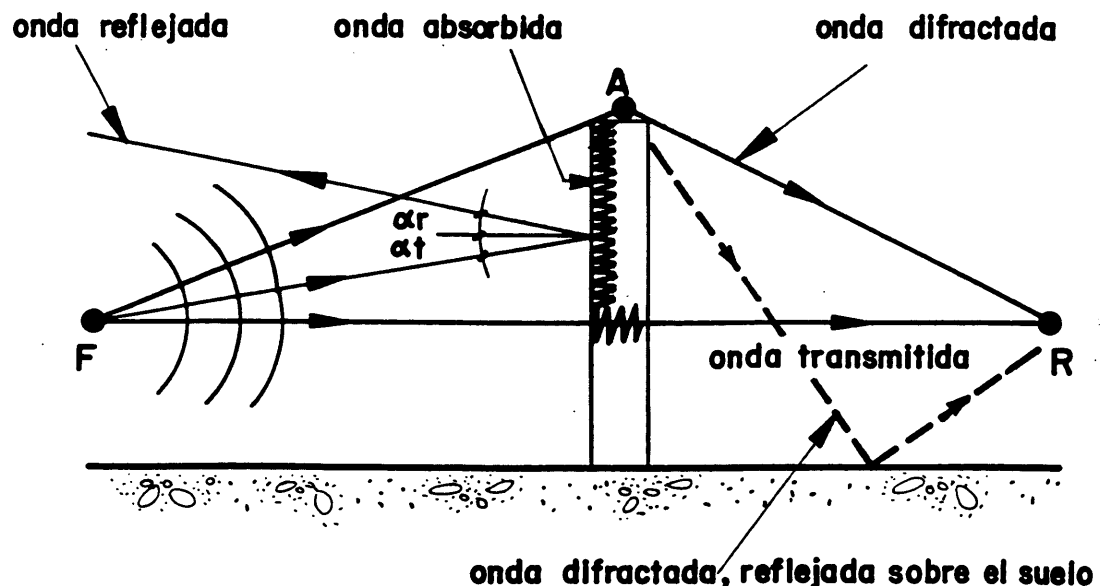


Figura 3.

sulta poco perceptible la presencia de un elemento reflejante en la margen contraria de la carretera.

La eliminación de reflexiones molestas puede lograrse también mediante la utilización de las propiedades de la reflexión sonora. Bastará con orientar la pantalla para evitar las reflexiones molestas en la margen contraria de la carretera. Las pantallas de este tipo se denominan dispersivas.

En cuanto al aislamiento, se recomienda que el índice de aislamiento acústico R sea mayor de 25 dB(A). En general, y para los materiales más usualmente utilizados, obtener este aislamiento no plantea problemas y son las cuestiones estructurales las que condicionan el espesor mínimo de las pantallas. Doblando la masa por unidad de superficie se aumenta aproximadamente el aislamiento 6 dB. De cualquier forma, siempre habrá que tener en cuenta la estanquidad de todos los elementos y de las juntas frente a las fugas de ruido.

Es el problema de la difracción el que condiciona la eficacia acústica de una pantalla. Los rayos sonoros sufren un cambio de trayectoria, afectando al nivel de presión acústica en la zona de sombra. Para calcular la reducción del nivel sonoro debido a la interposición de una pantalla, se utilizan métodos aproximados que permiten el uso de ábacos. La atenuación del ruido depende del número de Fresnel $N = 2\partial/\lambda$, donde ∂ es la diferencia entre el camino más corto para ir de la fuente al receptor pasando por el borde superior de la pantalla y la distancia entre fuente y receptor. Incluso los programas de cálculo se sirven de traducciones numéricas de dichos ábacos. Entre estos ábacos, el más difundido es el de Maekawa.

Dicho ábaco puede ser reemplazado por una expresión analítica aproximada que tiene en cuenta, además, la altura h de la pantalla.

Para una fuente lineal (como es el caso del tráfico):

$$\Delta L = 15 \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{th\sqrt{2\pi N}} + 5 - 10 \log(2e^{-h/2\lambda} + 1)$$

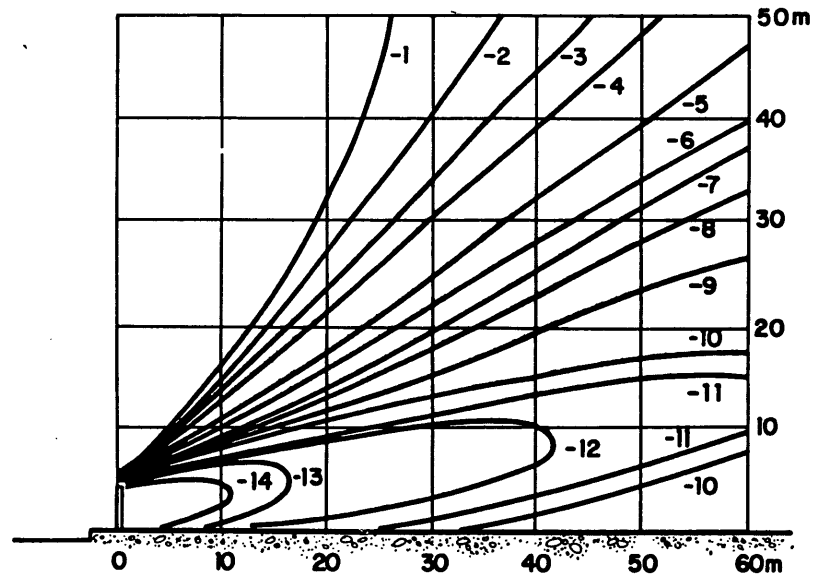


Figura 4. Curvas de isoatenuación originadas por la presencia de una pantalla de 4 m de altura en el borde de una calzada de 12 m de anchura situada a la misma cota que el terreno.

Sin embargo, en la eficacia de una pantalla influyen otros aspectos, como son su longitud, topografía del terreno, anchura de la calzada, posición de la pantalla, posición del receptor, etc.

Como ya hemos comentado, no tiene ningún sentido atenuar la fuente de ruido más débil; por ello, no aporta ninguna mejora acústica que los valores de aislamiento acústico de la pantalla superen en más de 10 dB(A) a los de la atenuación por difracción. Como éstos, normalmente, oscilan alrededor de los 10 ó 15 dB(A), está plenamente justificada la recomendación citada de $R \geq 25$ dB(A). Sin embargo, esta exigencia podría ser modificada en función de la atenuación por difracción que consigue la pantalla.

El análisis de la difracción en sitio real no es tan sencillo como puede parecer la lectura de un ábaco. En la realidad, el estudio bidimensional es en muchos casos insuficiente, la posición de la fuente sonora no está definida en la carretera, su traza y la de la pantalla no son líneas rectas infinitas y a los fenómenos de difracción en la pantalla se le suman los de nuevas difracciones y reflexiones sobre edificaciones, suelo, etc. Por otro lado, el espectro del ruido del trá-

fico es muy ancho por lo que, para ser rigurosos habrá que analizar la difracción de cada longitud de onda. Sin embargo, es práctica habitual y suficientemente aproximada tomar una longitud de onda media de 50 cm.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE UNA PANTALLA. NORMATIVA

La normativa europea en materia de pantallas antirruído para carreteras se está desarrollando en el ámbito del Comité Europeo de Normalización CEN/TC226/WG6.

Dentro de este comité, el grupo de trabajo TG1 se ocupa de los aspectos relativos a las características acústicas, que dará lugar al primer bloque de la Norma "Método de ensayo para la determinación de las prestaciones acústicas de los dispositivos antirruído para tráfico de carreteras". Este bloque estará integrado por las siguientes partes:

- ▼ Parte 1 "Características intrínsecas. Absorción sonora".
- ▼ Parte 2 "Características intrínsecas. Aislamiento sonoro".
- ▼ Parte 3 "Espectro normalizado del ruido del tráfico".
- ▼ Parte 4 "Características extrínsecas. Eficiencia in situ".
- ▼ Parte 5 "Características intrínsecas. Eficiencia in situ".
- ▼ Parte 6 "Prestaciones a largo plazo".

El propósito de la parte 1 es la especificación de un método de ensayo en laboratorio, para la evaluación de la absorción acústica de la pantalla. El método de ensayo seguido es el descrito en la Norma ISO-354 "Medida de la absorción acústica en cámara reverberante". De acuerdo con este procedimiento se obtiene el coeficiente de absorción α_{si} para cada tercio de octava de banda. A partir de estos valores se calcula el índice de absorción acústica DL_{α} , en función del espectro de ruido de tráfico normalizado, mediante la expresión:

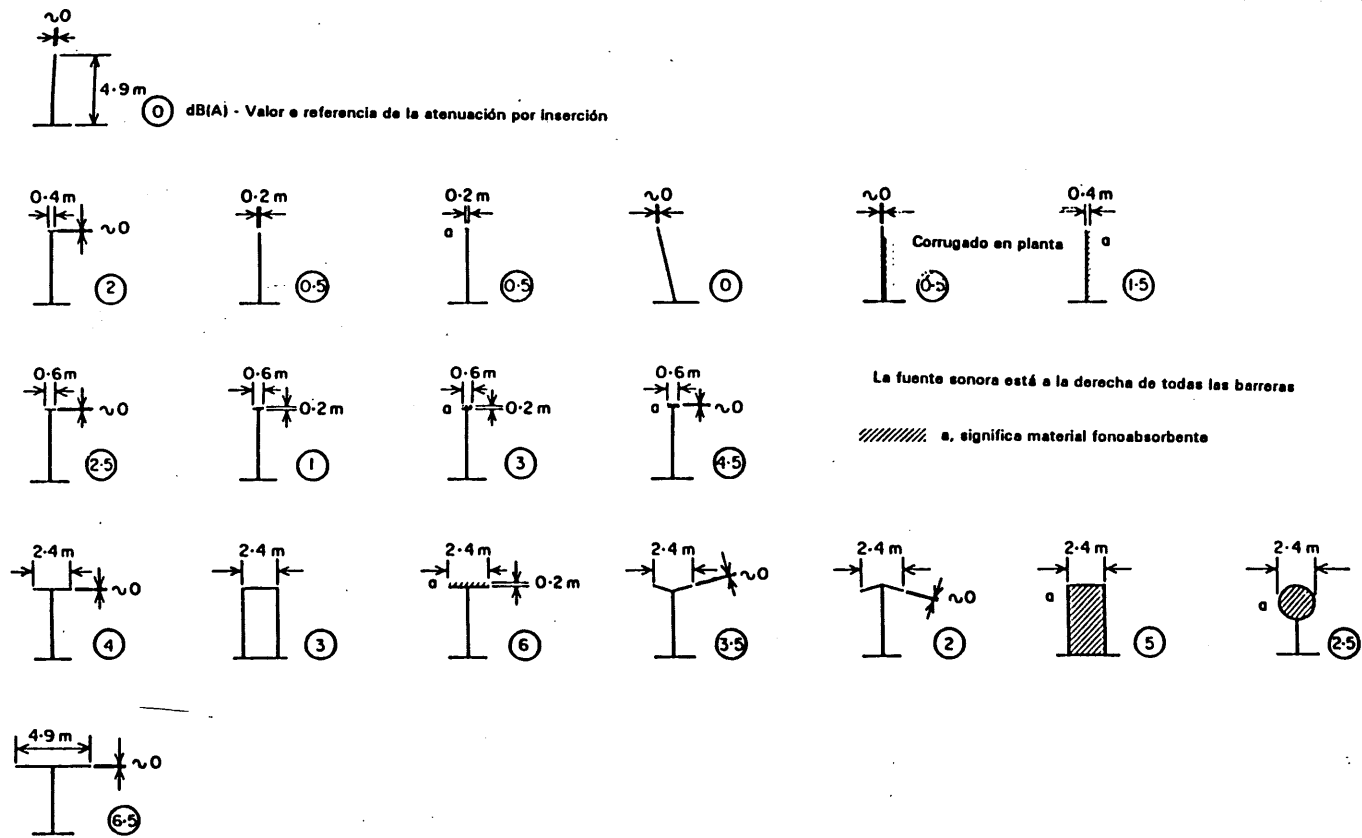
$$DL_{\alpha} = -10 \lg [1 - \sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} * 10^{0,1 * L_i}]$$

Este valor representa la diferencia entre el nivel de ruido incidente y el reflejado cuando el ruido tiene el espectro correspondiente al del tráfico, que describimos a continuación. Este espectro se define en la parte tercera de la norma.

ESPECTRO DE REFERENCIA DEL RUIDO DEL TRAFICO:

Frecuencia central normalizado en Hz	Nivel de ruido Li en dB(A)
100	-20
125	-20
160	-18
200	-16
250	-15
315	-14
400	-13
500	-12
630	-11
800	-9
1000	-8
1250	-9
1600	-10
2000	-11
2500	-13
3150	-15
4000	-16
5000	-18

La parte segunda especifica un método de ensayo en laboratorio para evaluar la capacidad de aislamiento acústico frente al ruido del tráfico. El método de ensayo se describe en la norma ISO-140/3 y permite determinar, para cada tercio de octava, el índice de atenuación del sonido R_i correspondiente. El índice de ais-



lamiento acústico se calcula mediante la expresión:

$$DL_R = -10 \lg \left[\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot Li} * 10^{-0,1 Ri} \right]$$

El espectro de referencia definido corresponde a un espectro típico del tráfico de zonas y vías urbanas. La diferencia entre distintos espectros típicos de diferentes tráficos tiene una repercusión despreciable en los valores calculados para los índices globales de absorción y aislamiento acústicos.

Las partes 4ª, 5ª y 6ª de este primer bloque de la norma no son abordables, por el momento, ya que el estado actual de la tecnología de ensayos acústicos no ha puesto a punto ningún método adecuado.

El grupo de trabajo TC2 se ocupa de los aspectos no acústicos, que darán lugar al segundo bloque de la Norma: "Prestaciones no acústicas

de los dispositivos antirruido para tráfico de carreteras". Contempla las siguientes partes:

▼ Parte 1 "Prestaciones mecánicas y requisitos de estabilidad"

▼ Parte 2 "Seguridad global y consideraciones medioambientales"

▼ Parte 3 "Durabilidad a largo plazo (vida de servicio)"

La parte 1 define los requerimientos mecánicos exigibles frente a las cargas aerodinámicas, hace referencia al cálculo del peso propio, coeficientes de seguridad, resistencia al impacto, comportamiento frente a la colisión de vehículos y empuje debido a la nieve desplazada por la máquina quitanieves.

La parte 2 aborda la relación de la pantalla con el entorno, teniendo en cuenta la resistencia frente al fuego, reflexión de la luz, transparencia, posibilidad de rotura en caso de golpes o vibraciones, declaración de constituyentes y po-

Figura 5. Valores medios, para los cuatro receptores estudiados, del incremento de eficacia de la pantalla en función de su forma respecto de una pantalla reflectante de espesor despreciable en coronación.

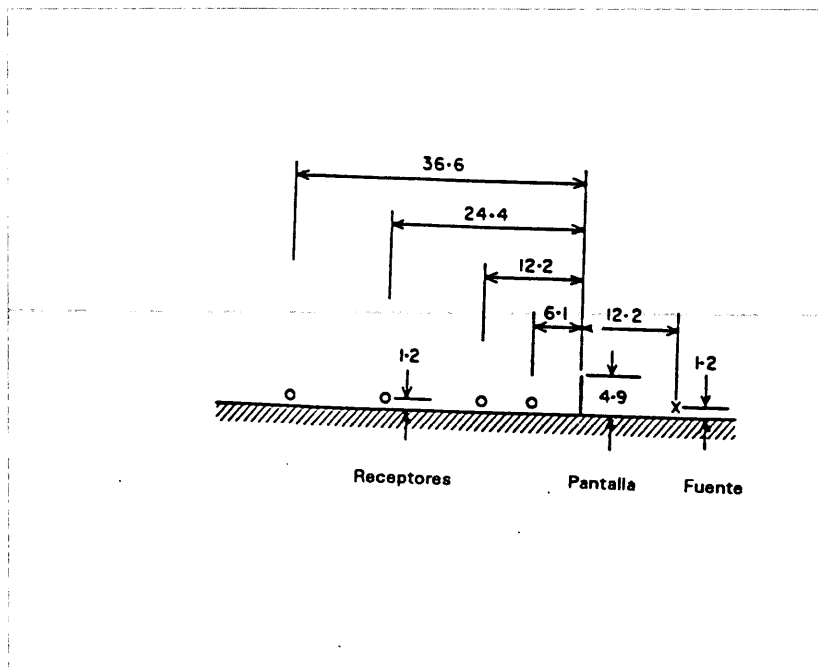


Figura 6.
Geometría del
ensayo: ubicación
de fuente, barrera
y receptor.

sibles productos que pudieran aparecer por degradación de los mismos en distintas situaciones.

La parte 3 define métodos de ensayo y condiciones para evaluar la durabilidad de la pantalla frente a la acción de la abrasión, agentes químicos, sales anti-congelantes, rocío, escarcha, corrosión electrolítica, ozono, rayos UV, ozono, proceso de envejecimiento, etc.

3.3. INFLUENCIA DE LA FORMA DE LA PANTALLA EN LA DIFRACCIÓN DEL SONIDO

Dado que la difracción del sonido sobre la cumbrera de la pantalla es la que condiciona la eficacia de la misma, se han llevado a cabo investigaciones en todo el mundo, con objeto de evaluar la variación de dicha eficacia en función de la sección transversal del apantallamiento.

En la figura 5, debida a D.N. May y M.M. Osman, se muestra el incremento de la eficacia acústica en función de la sección, de las características fonoabsorbentes del material de cobertura, etc.

El valor elegido como representativo de la eficacia es la media de los correspondientes a los distintos receptores. La configuración de los ensayos efectuados (a escala 1/16) se muestra en la figura 6. Siempre se trata de suelo absorbente y de una fuente puntual (que es suficiente para evaluar eficacias relativas).

Aunque la mejora de la eficacia no es muy alta, el empleo de perfiles especiales puede ser interesante por razones estéticas, para permitir mayor libertad creativa y para evitar alturas excesivas de pantalla (ya que por encima de los 4m de altura, la relación beneficio/coste de la pantalla disminuye ostensiblemente).

Estos estudios experimentales pueden ser sustituidos por análisis teóricos mediante modelos de propagación sonora. Un ejemplo lo tenemos en los estudios llevados a cabo por D.C. Hothersall et al y que mostramos en la figura 7.

3.4. TIPOS DE PANTALLAS EN FUNCIÓN DEL MATERIAL CONSTITUYENTE

Podemos clasificar las pantallas en función del material constituyente de las mismas:

▼ **Pantallas de hormigón:** De entre todos los materiales utilizables como apantallamiento antirruido, es el hormigón el que ha dado lugar al mayor volumen de obras. Tomando el ejemplo de un país vecino de características semejantes a las españolas, Francia, el 60% de las pantallas construidas en este país es de hormigón. La tendencia de este porcentaje es la de aumentar.

Este hecho se debe a sus magníficas propiedades que le hacen idóneo para su ubicación en los alledaños de la carretera.

La prefabricación industrial de paneles de hormigón ofrece una gran variedad de posibilidades al proyectista. Gracias a la prefabricación se pueden conseguir acabados superficiales, precisión geométrica y prestaciones estéticas imposibles para la construcción "in situ", por las numerosas terminaciones superficiales y de colores, que permiten lograr conjuntos de gran fuerza estética.

Por otro lado, también es factible la ejecución de pantallas antirruido de hormigón "in situ", aunque la obra no permite llegar a la calidad lograda por la prefabricación.

El peso específico elevado del hormigón le aporta inmejorables cualidades de aislamiento acústico por la ley de masas.

Para conseguir una buena absorción acústica habrá que utilizar materiales que, combinados con el hormigón normal, lo recubran por el lado de la carretera. Lo más lógico es utilizar hormigón poroso en la cara de la fuente de ruido. La absorción acústica de este hormigón depende de su granulometría, espesor de la capa y relieve. Es importante crear un relieve que aumente la absorción acústica. Este relieve también puede jugar un papel decisivo para aumentar la fuerza expresiva de la pantalla.

▼ **Pantallas metálicas:** Normalmente se utiliza el acero galvanizado y el aluminio. Puede tratarse de pantallas reflejantes o absorbentes. Estas últimas están formadas por paneles tipo sandwich en las que dos planchas metálicas (la del lado de la fuente convenientemente perforada) alojan en su interior un material fonoabsorbente (lana mineral, espuma, ...) que deberá garantizar sus propiedades acústicas con el paso del tiempo. Este problema afecta a todas las pantallas tipo "sandwich".

▼ **Pantallas transparentes:** la transparencia de las pantallas es, en muchos casos, exigida por razones estéticas. Normalmente se introducen estos elementos transparentes en lugares singulares, debido a su coste de mantenimiento. Sus funciones son las de crear ventanas sobre el paisaje para los conductores y la de limitar la intrusión visual de la pantalla para los vecinos situados junto a la misma. Sólo hay tres materiales que responden a la vez a las exigencias ligadas a la obtención de una buena eficacia acústica y a la transparencia: el vidrio, el metacrilato y el policarbonato. Sin embargo el primero es excesivamente sensible al vandalismo, el segundo se fisura (sin romper) bajo impactos y el tercero pierde su transparencia con el tiempo.

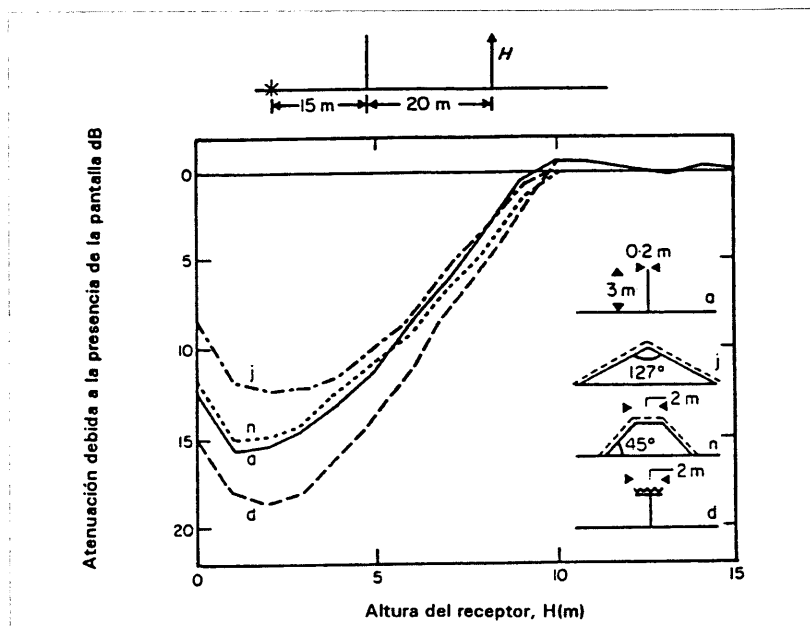


Figura 7. Eficacia de pantallas antirruido de 3 m de altura en función de su forma para un receptor ubicado a 20 m de la misma, a distintas alturas.

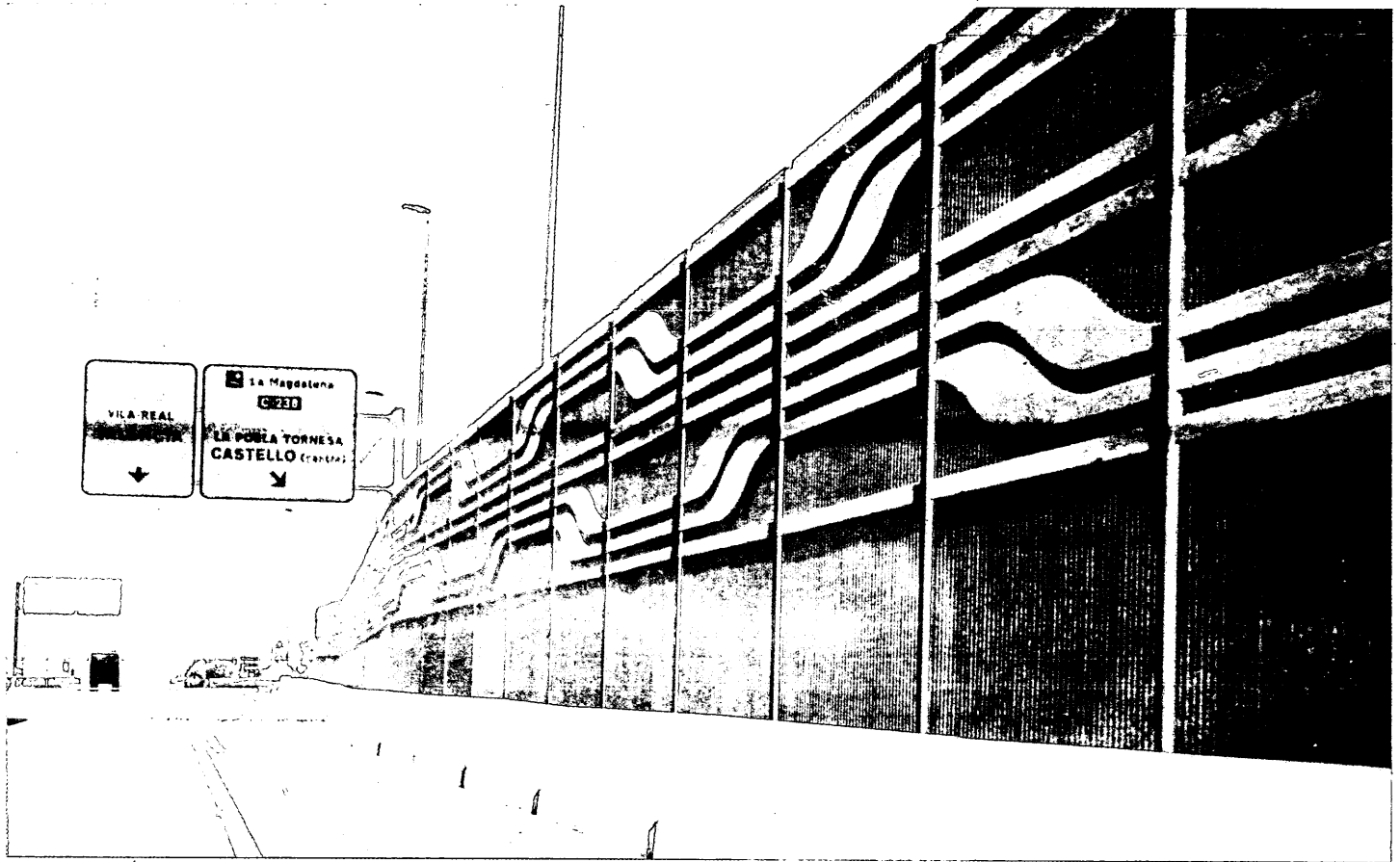
▼ **Pantallas de madera:** utilizadas en el Norte de Europa, su potencialidad de uso en España es más limitada. Pueden ser reflejantes o absorbentes (formando paneles tipo sandwich con material poroso en su interior). Su durabilidad es escasa, salvo que sea tratada químicamente.

▼ **Pantallas de espuma de arcilla:** la espuma de arcilla es un material cerámico de porosidad abierta que se utiliza, en las pantallas, combinada con otros materiales que le sirven de estructura portante.

▼ **Pantallas de ladrillos absorbentes:** se trata de ladrillos perforados en una de sus caras que consiguen sus propiedades de absorción acústica gracias a su funcionamiento como resonadores. En otros casos, un material absorbente en su interior es el responsable de sus cualidades acústicas.

▼ **Pantallas de plástico:** pueden consistir en elementos macizos de características aislantes o paneles sandwich con material fonoabsorbente en su interior.

▼ **Pantallas de GRC:** el GRC (Glass Reinforced Concrete, Hormigón Reforzado con fibra



Pantalla antirruido "Sistema Gaviota" instalada en la variante de Castellón

de vidrio) actúa como elemento estructural y aislante. Cuando se precisen propiedades fonoabsorbentes, la pantalla será de tipo "sandwich" con material apropiado en su interior.

▼ **Pantallas "jardinera"**: sólo son factibles en zonas con suficiente disposición de espacio y donde se garantice el mantenimiento de la vegetación.

4. INSTALACIÓN E INSERCIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LAS PANTALLAS ANTIRRUIDO

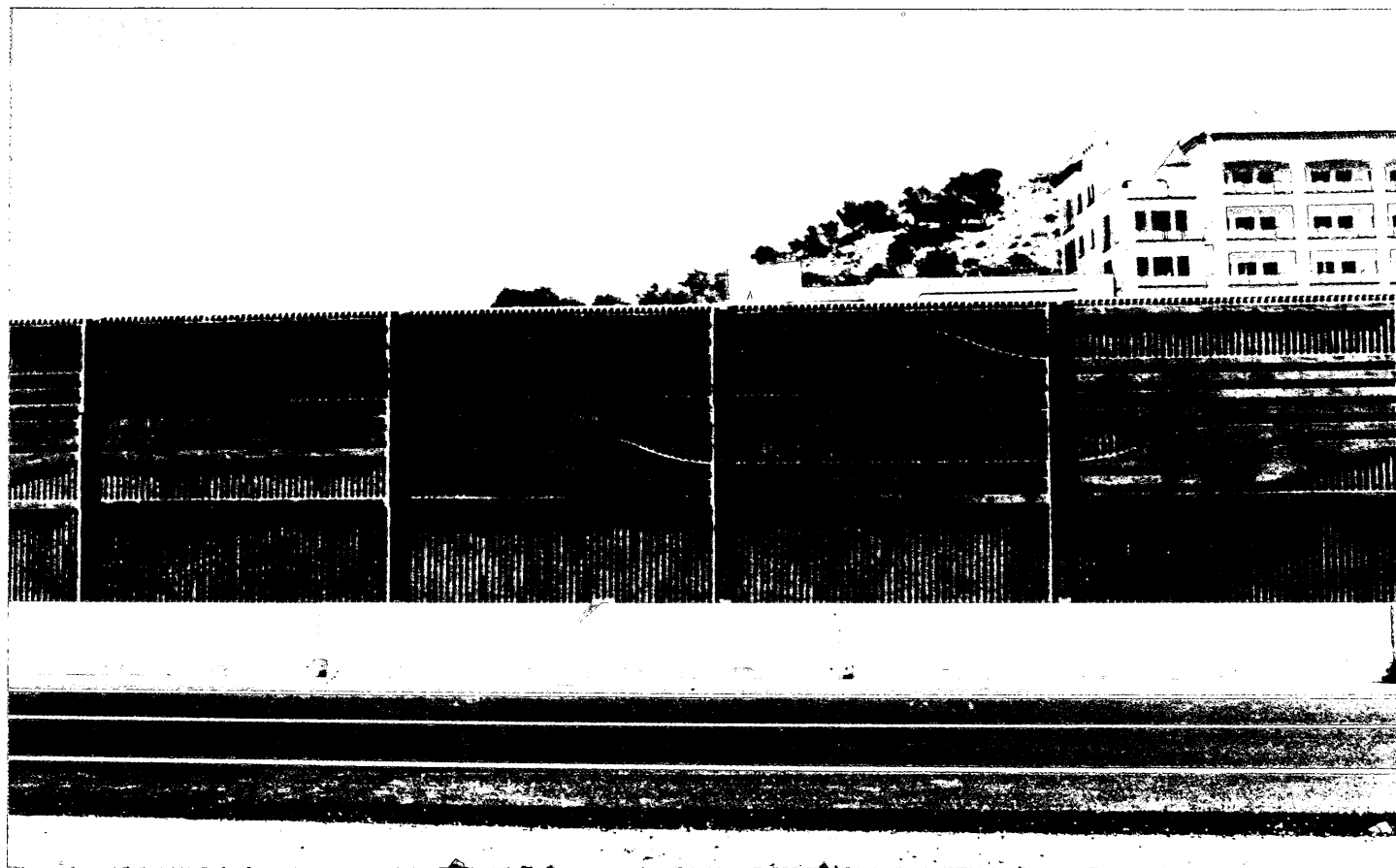
La responsabilidad de transmitir las cargas (peso y viento) al terreno corresponde generalmente a elementos diferentes de los que asumen la función acústica y estética. Es usual el uso de módulos fonoabsorbentes o reflejantes que van alojados entre pilares debidamente cimentados.

Cuando la alineación en planta de la pantalla no sigue una línea recta es más común el uso de elementos autoportantes. Disposiciones en zigzag facilitan el comportamiento de la cimentación, además de permitir interesantes efectos estéticos.

La ubicación de la pantalla habrá de tener en cuenta la posibilidad de colisión de vehículos con ella. La reposición de elementos dañados o destruidos por accidentes o vandalismo debe ser siempre garantizada.

Los estudios arquitecturales de integración de la pantalla deben conducir a la selección de una tecnología adaptable al entorno. Esta adaptación se realizará siempre en comunicación con los fabricantes buscando la racionalidad económica y la optimización de la tecnología elegida.

El mercado tiene una gran sensibilidad por la calidad estética de estas obras y su tratamiento arquitectural o paisajista. La mayor



parte de las pantallas instaladas en Europa han sido objeto de tratamientos estéticos y arquitecturales muy elaborados, dando lugar a verdaderas obras de arte. Rompiendo su monofuncionalidad podría jugar nuevos papeles que la incorporen a la vida del entorno.

Un buen sistema de apantallamiento deberá garantizar la durabilidad del mismo minimizando los costes de mantenimiento.

Está claro que la racionalidad económica de un buen apantallamiento se basa en la modulación y seriación. Se trata de lograr sistemas que con un número reducido de piezas permitan la composición de una amplia gama de conjuntos estéticos. La modulación de paneles generalmente se apoya en un soporte estructural formado por pilares debidamente cimentados. Dichos pilares también pueden ser tratados en forma, textura y color para dar mayor fuerza expresiva al conjunto.

La prefabricación de paneles de grandes dimensiones es muy conveniente porque da lugar a menor número de juntas y pilares y menor número de operaciones de montaje (aunque con maquinaria de mayor capacidad).

Las pantallas antirruído, aparte de su función acústica, proporcionan otras prestaciones:

▼Cierre: las pantallas impiden el acceso de peatones a la vía y, en sentido contrario, la posible intromisión de extraños en las fincas colindantes.

▼ Protección física: las pantallas antirruído protegen al vecindario frente a todo tipo de impacto de proyectiles (gravilla, material transportado por camiones, etc.). Normalmente van asociadas a barreras para retener a los vehículos que se salgan de la calzada.

▼ Protección visual: la intimidad y privacidad del vecindario quedan garantizadas porque, a la vez que no se oye el ruido del tráfico, éste no se ve. ●

**Sistema modular
"Gaviota" de
Dragados y
Construcciones.**

BIBLIOGRAFIA

- P. Bar "Les écrans acoustiques" Travaux, Dic. 1983
- D. Bausch, W. Dietsch "Lärmschutz an Straßen. Planungsgrundlagen Systeme aus Beton". Beton-Verlag BmbH, Düsseldorf, 1979.
- F. Bouchard, L. Caniard, G. Cochet, J. David, M. Jean, J. Farizon "Protection phonique par bardages", Travaux. Abril 1987.
- CETUR "Conception et réalisation des écrans acoustiques. Catalogue de solutions de base" Abril 1985.
- CETUR: Guide du bruit des transports terrestres: Prevision des niveaux sonores" Nov. 1980.
- G.A. Daigle "Diffraction of sound by a noise barrier in the presence of atmospheric turbulence". Journal of Acoustical Society of America. Ag. 1982, 847-854.
- Y. Delmon "Ecrans antibruit ou «la chasse aux décibels est ouverte dans la cuvette". Travaux, Abril 1987.
- El Angove "Concrete noise-barrier walls" Concrete International. Julio 1987.
- DC Hothersall, SN Chandler-Wilde and M.N. Hajmirzae "Efficiency of single noise barriers". Journal of Sound and Vibration (1991) 146(2), 303-322.
- G.W. Johnston "Diffraction of arbitrarily oriented directional sources by rigid planer screens" Journal of Acoustical Society of America. Ag. 1978, 665-676.
- R. Josse et al. "Acoustique" CSTB.
- J.E. Manning, C.N. Blair "Measured performance of a variable-height noise barrier". Internoise 76. 315-320.
- D.N. May "Basic subjective response to noise. Psychological effects assessment".- D.N. May, M.M. Osman "Highway noise barriers: new shapes". Journal of Sound and Vibration (1980). 71(1), 73-101.
- D.N. May, M.M. Osman "The Performance of sound absorptive, reflective and T-profile noise barriers in Toronto". Journal of Sound and Vibration. (1980) 71 (1) 65-71.
- R. Seznec "Integral equation technique for computing sound attenuation by wide barriers". Inter-noise 79 771-774.
- J. Trigueros et al. "Curso sobre el ruido: evaluación y medidas correctoras" CEDEX 1991.
- D. Van Doren "Barrier walls block sights and sounds" Concrete International. Julio 1987. pp. 61-62.
- L.S. Wirt "The control of diffracted sound by means of thnadners (shaped noise barriers)" Acústica (1979) Vol. 42, nº 2.