

RUIDO. MEDIDAS CORRECTORAS: EXPERIENCIAS

Felipe Ruza

1992.7

2.ª Sesión: La Carretera y el Medio Físico

Ponencia 2.2.: Ruido. Medidas Correctoras: Experiencias

por • Felipe Ruza Tarrío

Dirección General de Carreteras. MOPT

Las medidas correctoras de los niveles excesivos de ruido producido por la circulación de vehículos que, de acuerdo con los objetivos de este simposio, es la fuente sonora que nos interesa, pueden plantearse bajo diferentes aspectos. Unos son de carácter legal, obligando a reducir los niveles de ruido producido por los elementos de los vehículos que son origen de ruidos y penalizando las emisiones de niveles excesivos. Otras se materializan en el diseño de la vía, en sus características constructivas y en los tipos de materiales utilizados. Finalmente, tal vez las más llamativas y representativas de la lucha contra el ruido de la circulación, porque son las que ve el usuario de la vía, son las pantallas que impiden o dificultan la transmisión de la onda sonora. En este grupo se incluyen también los falsos túneles construidos con este propósito, sean completos o semitúneles.

Como complemento de estas medidas, y en ocasiones como única solución, se encuentra la insonorización de los edificios y la adecuada planificación urbanística, planteada con este objetivo.

Por todos es conocido que la energía sonora se transmite por ondas esféricas, pero siguiendo líneas radiales rectas, como lo hace la luz, y como ella, al tropezar con un obstáculo, una parte es absorbida por este y otra, que por ello resulta ser menor que la recibida, se refleja mediante rayos cuyo ángulo de incidencia y reflexión son prácticamente idénticos. En los bordes del obstáculo las ondas

sonoras sufren un fenómeno de difracción, que equivale a sustituir la fuente sonora por otra de menor potencia situada en el borde del obstáculo, pues las ondas sonoras pierden ahí gran parte de su energía. El efecto de la difracción modifica la trayectoria de las ondas sonoras que, desde ese punto, se dirigen en todas direcciones. Las frecuencias más bajas sufren mayor distorsión en su dirección y las más altas notarían menos este cambio.

Por esta causa se produce una zona de «sombra» sonora detrás de los obstáculos, en la que los niveles de presión sonora pueden llegar a ser notablemente más bajos que los existentes en el espacio situado delante del obstáculo.

Basándose en estos principios se han desarrollado los fundamentos técnicos, teóricos y prácticos, relativos a las pantallas como amortiguadoras del sonido.

Al ruido no se le está prestando por los poderes públicos españoles la atención que merece, en relación con las molestias que representa para el ciudadano, y al nivel de preocupación e importancia que éste le asigna, como lo demuestran las encuestas realizadas sobre estos temas.

El ruido es causa de infinidad de trastornos, algunos de importancia, que no vamos a glosar aquí. Basta con recordar el grado de irritación que causa en determinadas personas, sobre todo en época de verano, en la que la necesidad de abrir las ventanas hace que los ruidos externos se aprecien más. Es frecuen-

te leer en esta época en la prensa, noticias sobre sucesos que acabaron en reyertas a consecuencia del ruido producido por motos, equipos musicales, perros, etc, en ocasiones con resultado de muertes.

Analizaremos a continuación cada uno de los tipos de medidas correctoras señalados anteriormente.

MEDIDAS DE CARACTER LEGAL

Los países desarrollados han dictado reglamentos que limitan los niveles sonoros que pueden emitir los diferentes tipos de vehículos y maquinaria. Estos niveles se van rebajando, vía reglamentaria, de forma progresiva a lo largo del tiempo, según lo permiten los avances tecnológicos, de forma que se pretende alcanzar niveles de calidad sonora cada vez más bajos.

Estas medidas legales han llegado prácticamente al límite de su posibilidad de conseguir reducciones apreciables en la emisión sonora del conjunto de ruidos producidos por el automóvil.

Como es conocido, a partir de 60-70 km/h en los automóviles y de 70-90 km/h en los camiones, velocidades alcanzadas en cualquier vía de cierta importancia, el ruido dominante es el de rodadura, es decir el de contacto del neumático con el pavimento. Este ruido llega a sobrepasar, en esas velocidades, a los producidos por otros elementos del vehículo, consiguiendo enmascararlos. Por ello, aunque se consiguiera reducir estos otros niveles de ruido (mecánicos, escape de gases, electroventilador, etc) el resultado en el descenso del nivel total resultaría inapreciable para el oído humano.

El esfuerzo que actualmente se está exigiendo a los fabricantes de automóviles para que perfeccionen los escapes y conseguir de esta forma reducciones de 1 ó 2 dB(A), queda anulado, a las velocidades indicadas, por el ruido de rodadura; la reducción global obtenida sólo sería apreciable por mediciones con aparatos muy precisos, mientras que para las personas no se habría producido nin-

gún resultado práctico. Para velocidades bajas o al ralentí los niveles de ruido nunca alcanzarán los límites de emisión fijados por los reglamentos, debido a las metodologías establecidas para determinarlos.

Como complemento a estas medidas, algunos países de la OCDE han establecido incentivos que estimulan la utilización de productos silenciosos, bien primando al que los compra o bien al que los instala, como son el canon a los aviones ruidosos y a las industrias, la rebaja sobre la tasa de aterrizaje a los más silenciosos, ayudas financieras, etc.

Pero este tipo de medidas pertenece más al marco político y legislativo que al técnico y se escapan, por tanto, a nuestra capacidad de actuación y a los objetivos del simposio, aunque bueno es conocerlas.

MEDIDAS DE DISEÑO DE LA VIA

Un correcto diseño de la vía y la utilización de pavimentos adecuados, junto con un planteamiento urbanístico desarrollado teniendo en cuenta el factor ruido, pueden evitar los posteriores problemas del ruido originado al entrar en funcionamiento la vía.

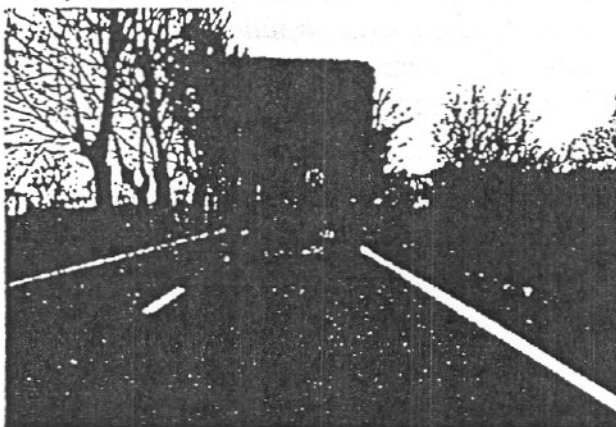
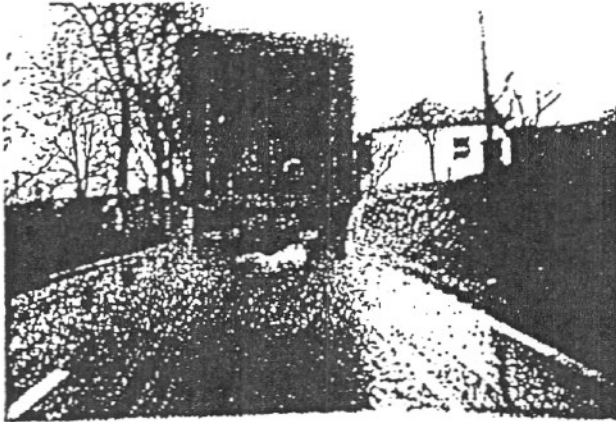
Entre las medidas de diseño que pueden adoptarse destacan:

- Elegir el trazado, procurando que no sea sinuoso y que las pendientes resulten suaves.
- Alejar la traza de la zona ocupada por viviendas. Esta medida es muy importante sobre todo para distancias cortas pues, como sabemos, al duplicar la distancia entre la fuente de ruido y el receptor, se consiguen, en focos sonoros lineales como es el caso de las carreteras, disminuciones de 3dB(A), sin que los costes, en estos casos de distancias pequeñas, resulten excesivos.

Esta medida se ve con frecuencia anulada por la tendencia que tienen los pueblos a expansionarse hacia las carreteras y la incorrecta planificación urbanística que lo consiente. Se aleja la calzada y al poco tiempo se le vuelve a acercar la ciudad. Es necesario que los Ayuntamientos tomen conciencia de que el

ruido produce un deterioro importante en el nivel de calidad de vida de los ciudadanos, y consideren este factor como un posible limitador para la asignación de usos del suelo en la planificación urbanística, asignación que debe realizarse compatibilizando usos con niveles de ruido que soportan las diferentes zonas o que se estima van a alcanzar en ellas.

— Utilizar pavimentos poco ruidosos, como son los porosos y evitar, por supuesto, los adoquinados.



Los pavimentos porosos además de aumentar la seguridad de circulación son más silenciosos.

— Limitar la velocidad. Esta limitación no debe ser excesiva, pues podían obtenerse resultados contrarios a los buscados. Cuando la reducción de la velocidad obliga, para el correcto funcionamiento del motor, a pasar a una marcha inferior, podríamos obtener aumentos en los niveles de ruido en lugar de disminuciones. Las velocidades óptimas, en las que el ruido total del vehículo, son las de 30 a 50 km/hora para vehículos ligeros y 40 a 70 Km/hora para los pesados. Estos límites habría que ajustarlos para cada caso, pues in-

fluyen una serie de factores que pueden ser muy distintos de unas ciudades a otras, como son la antigüedad del parque de vehículos; su estado de conservación y su composición; los tipos de pavimento y su estado más frecuente: seco, mojado, degradado; el estado de los neumáticos, el desgaste tiene a hacerlos más ruidosos; así como la presión de inflado etc.

— Garantizar la fluidez de la circulación, mediante una adecuada sincronización de semáforos y, si fuera necesario, supresión nocturna de su funcionamiento; eliminación de cruces a nivel, etc.

— Planificar las vías principales por las zonas con niveles de ruido más elevados, para que los procedentes de la circulación queden enmascarados por aquéllos, o cuando menos, no produzcan elevaciones importantes en los niveles de ruido.

— Concentrar el tráfico en pocas vías, si la capacidad de éstas lo permite, pues las elevaciones en los niveles de ruido no resultarían muy significativas. Recordemos que incluso en el caso de duplicar la intensidad de circulación, los incrementos del nivel de ruido serían sólo de 3dB(A). Resultaría además más fácil y económico establecer las medidas correctoras actuando sobre una sola vía.

La aplicación conjunta de varias de estas medidas podría ser suficiente para conseguir reducir los niveles de ruido hasta límites aceptables y a un costo razonable.

En realidad, la instalación de pantallas de la que hablaremos a continuación, debería reservarse para los tramos ya construidos y con problemas de niveles altos de ruido. En carreteras nuevas, salvo excepciones de imposibilidad de trazar la carretera por zonas adecuadas para evitar el impacto sonoro, deberían agotarse todas las posibilidades que proporciona un correcto diseño de la vía. La inclusión de pantallas acústicas en los proyectos de algunas nuevas carreteras, podrían representar un indicio de una inadecuada planificación.

MEDIDAS QUE DIFICULTAN LA TRANSMISION

Este grupo de medidas correctoras del ruido es el más conocido, porque su presencia, dada su proximidad a la vía, es inmediatamente detectada por el usuario de la misma.

Se pretende con ella establecer obstáculos entre la fuente emisora de ruidos y el receptor, de forma que dificulten la transmisión de los sonidos y se consiga una pérdida de la energía sonora y la consecuente disminución del nivel de ruido en la zona situada detrás del obstáculo.

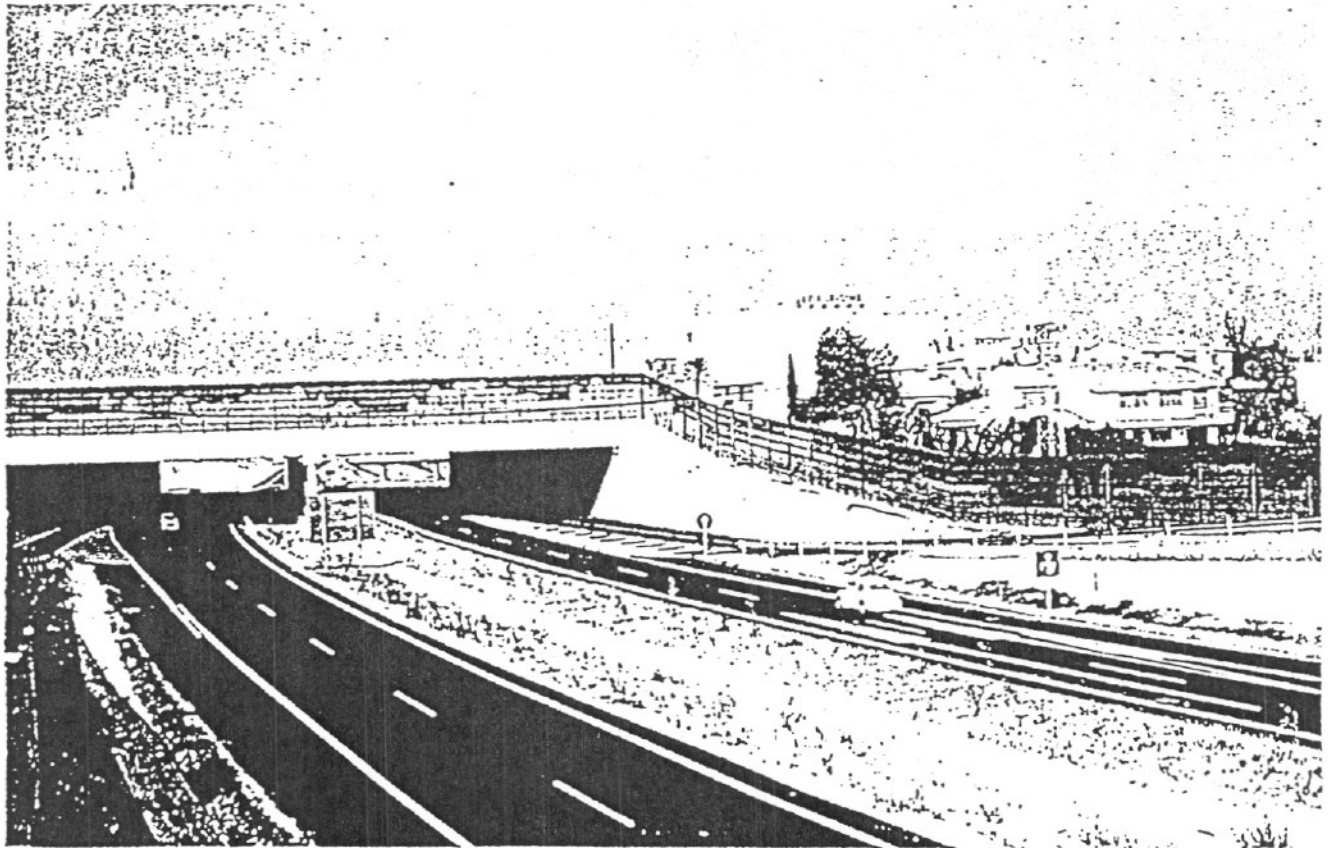
Los obstáculos pueden ser incluso naturales, en cuyo caso es preciso, aprovechando la presencia de accidentes orográficos, diseñar la carretera de forma que se utilice la capacidad de amortiguación de dichos accidentes del terreno, para conseguir reducciones en los niveles de ruido. Puede también diseñarse la carretera en trinchera que surtiría el efecto de una pantalla equivalente, de altura igual a la de la trinchera. También pue-

de construirse un falso túnel, como sistema más eficaz para reducir de forma importante los niveles de ruido, aunque ello crea otras dificultades en cuanto a ventilación, iluminación, mayor coste etc.

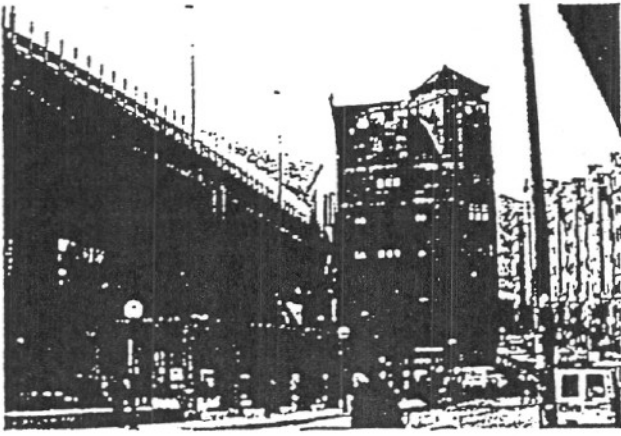
De todas formas, la medida protectora más característica de este grupo es la instalación de pantallas artificiales que, si bien su empleo ofrece dificultades para proteger edificios altos, dan buenos resultados en los bajos. Su utilización está muy extendida en todos aquellos países que se han preocupado por la adopción de medidas correctoras del ruido.

En su realización pueden emplearse todos los materiales normalmente utilizados en construcción, siendo los más frecuentes el aluminio, la chapa galvanizada, los prefabricados de hormigón, el plástico, la madera, el ladrillo, etc., siempre que cumplan unas ciertas condiciones de amortiguación sonora.

El aislamiento que consigue una pantalla contra el ruido, está en función de sus condiciones mecánicas, y puede calcularse de forma aproximada por la «Ley de masas», que



Falso túnel y pantalla complementaria decorada con motivos alegres para proteger un colegio y colonia de chalets. Vía cintura de Palma de Mallorca.



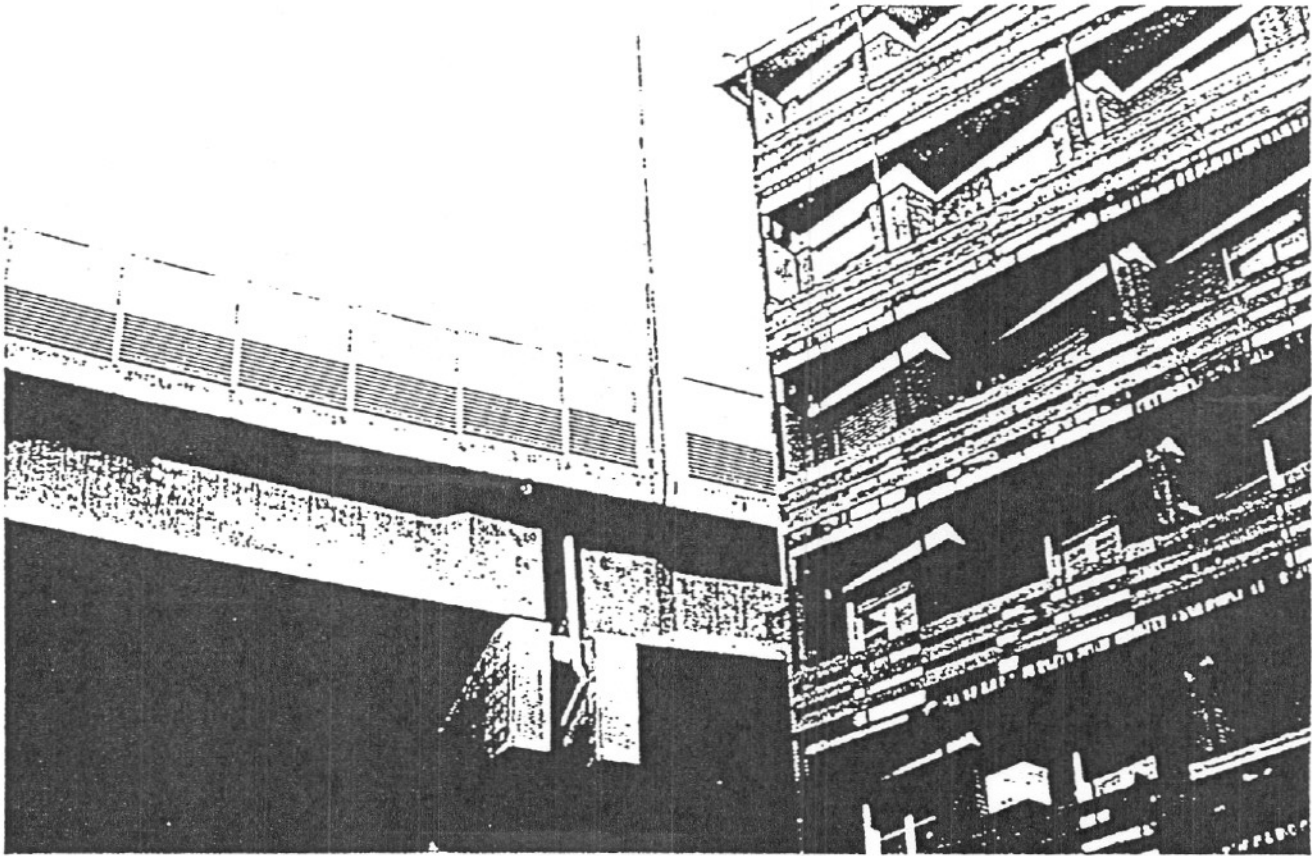
Pantalla con zócalo de chapa y parte superior transparente de policarbonato. Viaducto de Rekalde. Solución sur de Bilbao.

De aquí se deduce, que para una frecuencia fija, al duplicar la masa se aumenta la amortiguación en 6 dB. De igual forma, para una masa dada, al duplicar la frecuencia la amortiguación también aumenta en 6 dB.

El índice de amortiguación (R) de una pantalla, es decir la diferencia en dB(A) entre las dos caras de la pantalla, analizada en cámara acústica, debe ser de 22 a 25 dB(A).

El poder de amortiguación de una pantalla o de un obstáculo, está en función del número de Fresnel que viene dado por la expresión.

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2}{\lambda} (a+b-c), \text{ siendo}$$



Otra vista del viaducto de Rekalde, en la que se aprecia su proximidad a las viviendas.

establece que la reducción de la intensidad sonora a través de un determinado material, es función del cuadrado del producto de la masa unitaria m por la frecuencia considerada f .

$$R = (f.m)^2$$

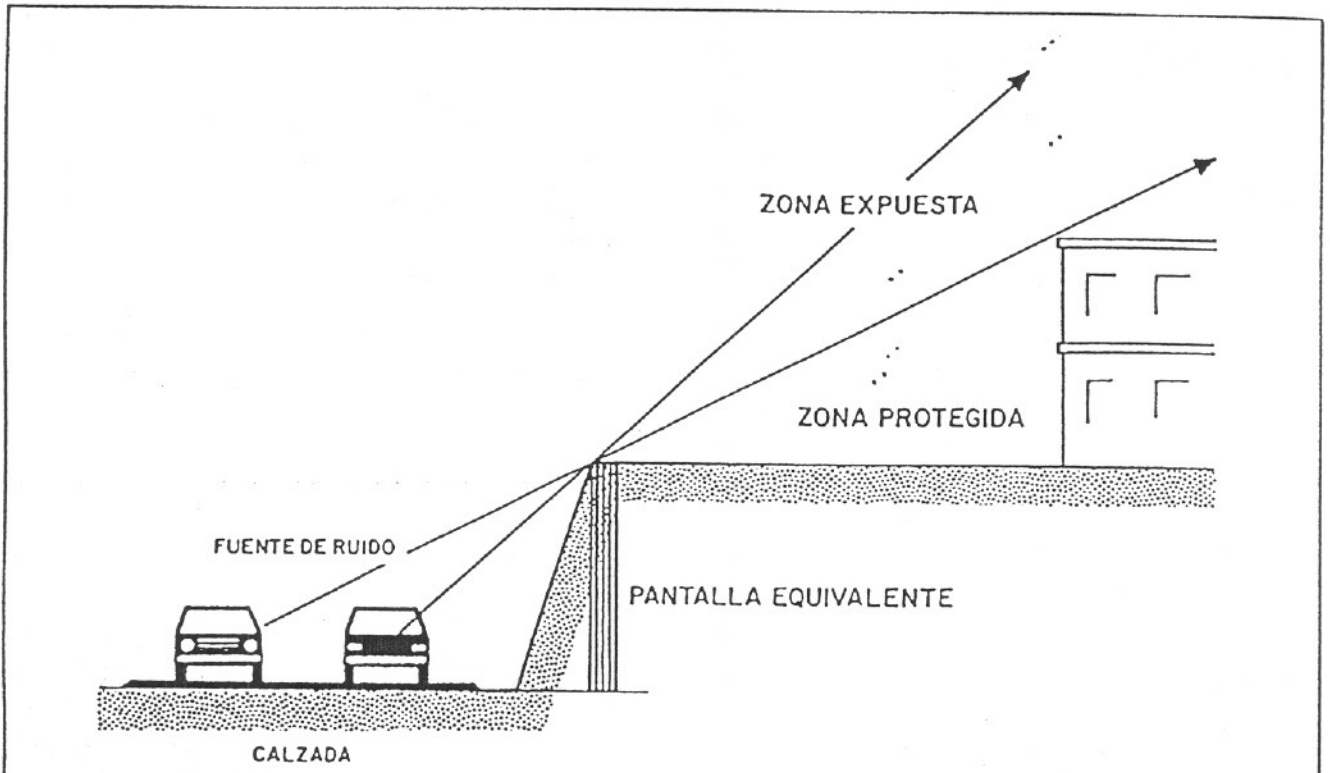
y expresada en decibelios

$$R = 10 \log (f.m.)^2$$

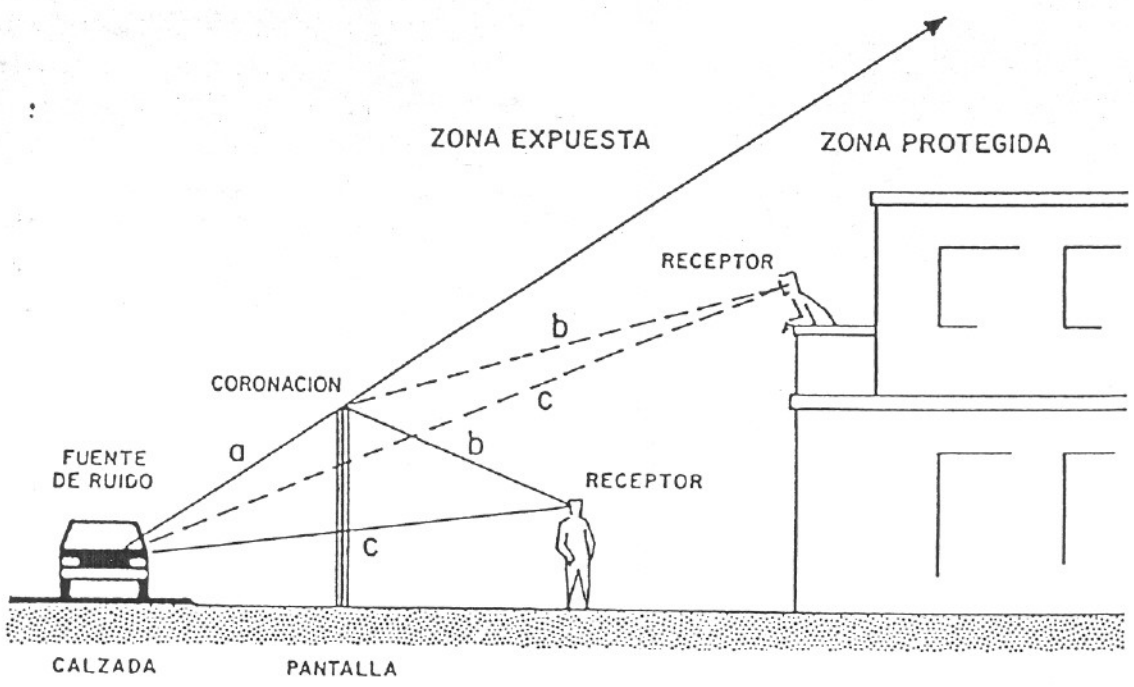
$\delta = a + b - c =$ diferencia de recorrido que tienen que efectuar los sonidos sorteando la pantalla y el que estos realizarían directamente hasta el observador, si ésta no existiera.

$\lambda =$ Longitud de onda

Esta propiedad fue estudiada de forma especial por el profesor japonés Makawa, quien mediante procedimientos experimentales



CARRETERA EN TRINCHERA



$N = \text{N}^{\circ} \text{ DE FRESNEL}$
 $\lambda = \text{LONGITUD DE ONDA}$

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2}{\lambda} (a + b - c)$$

construyó un ábaco, conocido por su nombre, muy utilizado para evaluar el poder de amortiguación de las pantallas. Existen otros ábacos también de utilización muy extendida, como el de Redfearn o de difracción.

Como la carretera es un foco lineal de ruido, las pantallas deben contar con la longitud suficiente para que los sonidos que las salvan por sus extremos, lleguen al receptor suficientemente amortiguados por la distancia, de forma que su nivel de intensidad no resulte superior al de los sonidos que, por difracción, recibe aquel por la coronación de la pantalla.

Se debe poner especial cuidado en evitar los problemas que puede causar la reflexión de los sonidos. Este fenómeno puede producir aumento de los niveles de ruido en los edificios existentes en el lado contrario de la calzada. En estos casos deben utilizarse pantallas absorbentes o bien inclinar las reflectantes entre 5 y 10 respecto a la vertical.

Según su capacidad de absorción las pantallas se pueden clasificar en

Muy absorbentes	> 8 dB(A)
Absorbentes	4 -8 dB(A)
Reflectantes	< 4 dB(A)

El coeficiente de absorción viene dado por la relación

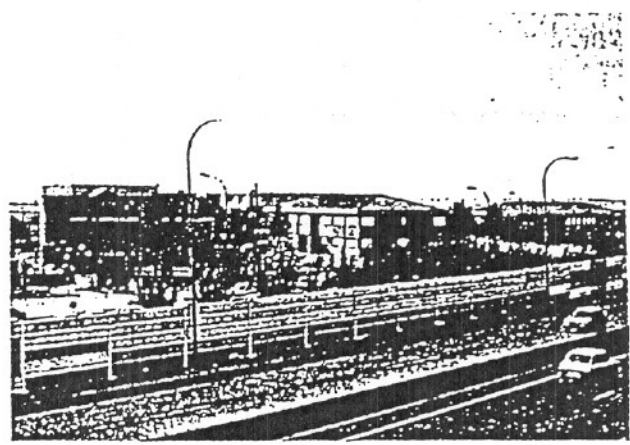
$$\alpha = \text{Coeficiente absorción} = \frac{\text{energía absorbida}}{\text{energía recibida}}$$

Si α tiende a cero, la pared es reflectante.

Si α tiende a uno, la pared es absorbente.

Las absorbentes suelen ser metálicas perforadas, rellenas de lana de vidrio o materiales similares, o bien de hormigón poroso o arcilla expandida.

Otro tipo de apantallamiento que resulta muy eficaz, es la construcción de diques de tierra, que, además, permiten una integración mucho más natural en el entorno, ya que se



Pantalla absorbente para proteger un colegio de Getafe (Madrid).

pueden y se deben revegetar, evitando de esta forma la fatiga y la sensación de «encerramiento» que produce, generalmente, otro tipo de pantallas.

Los efectos de amortiguación que producen los diques son similares a los que se consiguen con la carretera construida en trinchera.

Resultan muy interesantes en las zonas en las que no existen problemas de espacio, y se cuenta con un sobrante de tierras que puede ser utilizado en la construcción del dique, con lo que, además, se pueden conseguir ahorros al no tener que transportarlas a vertedero.

Como inconvenientes se pueden indicar que su construcción es más lenta, que ocupan mayor superficie, por la pendiente del talud y que su traslado resulta más difícil si hay que ampliar la calzada.

Precisamente, debido a la pendiente del talud, la coronación del dique resulta más alejada de la calzada de lo que estaría una pantalla menos voluminosa, por lo que se necesita mayor altura en el dique para una idéntica eficacia acústica.

También las plantaciones vegetales pueden ser utilizadas como amortiguadoras del ruido. En este caso hace falta todavía más espacio que para los diques, ya que el arbolado ofrece muy poco poder de absorción del ruido. Para conseguir amortiguaciones del orden de 10 dB(A) hacen falta fajas arboladas de anchura comprendidas entre 50 y 100 m, según sea la frecuencia del sonido. Se trata pues de barreras acústicas poco eficaces, pero que por otra parte ejercen un efecto psicológico favo-

rable sobre el receptor, al ocultarle la visión de la carretera de forma natural. Cumplen, además, otras funciones de carácter estético.

Además la vegetación, bien se instaure en diques o en fajas marginales de la carretera, filtra el polvo levantado por la circulación, reduce la contaminación atmosférica y frena su propagación y reduce los efectos del viento lateral.

Las especies vegetales de hoja caediza renuevan cada primavera, con los nuevos brotes, este filtro.

Con estos procedimientos pueden conseguirse amortiguaciones sonoras del orden de 5 a 16 dB(A) en el caso de pantallas artificiales y diques. De 40 dB(A) cuando la calzada se cubra con un falso túnel y de 14 a 20 dB(A) en el caso de que se proteja con un semitúnel. En el caso de fajas arboladas la amortiguación sería de 5 a 10 dB(A).

En general, no se puede acumular la reducción producida por un pavimento menos ruidoso con la que se consigue con una pantalla, para deducir, al introducir estas medidas correctoras, que el resultado final es la suma de los dos, pues se cambia el espectro del ruido y ello puede afectar a la eficacia de la pantalla. No obstante, es evidente que las dos medidas reducen los niveles de ruido, si bien hay que tener cuidado en como se evalúa esta reducción.

La altura de las pantallas no debe ser inferior a 1,5 m para que pueda ejercer sus funciones protectoras, teniendo en cuenta las longitudes de onda normales en el ruido producido por la circulación. Lo frecuente son alturas de 3 a 4 m de pantalla. En general se recomienda no sobrepasar los 6 m de altura por la importancia que adquiriría la obra civil al tener que resistir el empuje del viento. No obstante, los franceses las han llegado a instalar, en el periférico de París, de hasta 10 m de altura e incluso transparentes. Los diques de tierra no suelen sobrepasar los 4-5 m de altura por razones de espacio, si bien en Alemania se han llegado a construir de altura superior a 8 m. La altura de la pantalla en viaducto no debe sobrepasar los 2,50 m.

Las pantallas contra el ruido no deben in-

terrumpirse bruscamente, sino que deben finalizar de forma escalonada, para evitar el golpe brusco del viento, que podría provocar accidentes. Deben construirse sin aberturas, para evitar las «fugas sonoras» si bien hay que prever puertas, a intervalos regulares, de acceso-escape, para poder atender a su conservación o facilitar el despeje de la vía en caso de accidente. En las incorporaciones, salidas y cruces que tenga la vía deben solaparse las pantallas o diques de forma que el ruido no se fugue por el hueco dejado. La longitud del solape debe ser por lo menos del doble que la separación entre las protecciones.

Las pantallas deben situarse, para aumentar su eficacia acústica, lo más próximas que se pueda a la calzada. Sin embargo razones de seguridad aconsejan alejarlas. La solución puede encontrarse en el punto de equilibrio entre estas dos exigencias. Siempre que se sitúen a menos de 8 m del borde de la calzada, exige la normativa vigente protegerlas con barreras de seguridad, o diseñar pantallas autorresistentes al choque. Una situación adecuada puede ser instalarlas a 1,5 m del borde del arcén pavimentado cuando éste es ancho (2,5 m) y a 2 m en caso contrario, pero siempre, de acuerdo con la norma de carreteras, a 3 metros ó más del borde de la calzada.

De acuerdo con todo lo dicho, podemos resumir diciendo, que el poder de amortiguación de un dique o de una pantalla, está en función de sus dimensiones físicas, altura y longitud, de la difracción que se produzca en su coronación y de la transmisión sonora que permitan los materiales que la constituyen.

MEDIDA DE PROTECCION DE LOS MEDIOS RECEPTORES

Otra de las acciones que se proponía era la insonorización de los edificios. Por este procedimiento pueden conseguirse amortiguadores del orden de 15 a 45 db(A) según el grado de insonorización que se efectúe.

En ocasiones, el alto coste que representa la instalación de una pantalla contra el ruido, so-

bre todo cuando se trata de un edificio aislado o un pequeño grupo de edificios, o bien por dificultades técnicas para su instalación, puede acudir, como medida sustitutoria, a la insonorización del edificio. Esta medida no resuelve totalmente el problema, ya que en las zonas de clima caluroso obligaría a permanecer con las ventanas cerradas para protegerse del ruido.

No existe en España legislación que fije los niveles máximos admisibles de ruido producido por la circulación. Solamente la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-82 del MO-PU, establece ciertas directrices para que se garantice que en los asentamientos urbanos más próximos a las nuevas vías de penetración, no se produzcan, por su sola causa, niveles de ruido, medidos en L_{eq} superiores a 60 dB(A) en fachada exterior de los edificios, durante un período de tiempo de 24 horas.

Los edificios deben estar insonorizados suficientemente para que los niveles máximos de ruido en fachada que establezca como límite la Administración, queden reducidos, en el interior de la vivienda, a los que fijan la NBE-CA-82 o las Ordenanzas municipales correspondientes.

La amortiguación que proporcionan las paredes de las viviendas la facilita también la «ley de masas» y para una construcción de tipo normal puede oscilar entre 35 y 60 dB(A).

La capacidad de aislamiento de las paredes debe ser comprobada mediante ensayos en Cámaras acústicas, reproduciendo con exactitud una muestra de la pared. De no poder hacerlo así, o para un cálculo rápido, pueden utilizarse las siguientes fórmulas:

Cuando $m \leq 150 \text{ kg/m}^2$

$$R = 16,6 \lg m + 2, \text{ en dB(A)}$$

Cuando $m \geq 150 \text{ kg/m}^2$

$$R = 36,5 \lg m - 41,5, \text{ en dB(A)}$$

La segunda fórmula se utiliza, con frecuencia, para calcular el aislamiento al ruido aéreo.

El punto débil son las ventanas, por esta razón las fachadas orientadas hacia zonas ruidosas deben tener, como mucho, un 25% de huecos de ventana. Las ventanas sencillas de buena calidad pueden amortiguar hasta 25 dB(A). La doble ventana o con doble acristalamiento pueden reducir el nivel sonoro en 40

dB(A). Con las ventanas abiertas la diferencia en los niveles sonoros exterior e interior de un edificio puede llegar a los 10 dB(A).

MEDIDAS DE PLANIFICACION URBANISTICA

Existen otras actuaciones que resultan muy eficaces para conseguir climas sonoros aceptables en el interior de las viviendas, como son una buena planificación urbanística y una orientación adecuada de los edificios —ellos mismos pueden constituir barreras contra el ruido— así como la distribución interior de las viviendas, destinando las habitaciones que dan a la fachada sometida a niveles elevados de ruido, a los usos menos sensibles a esta perturbación, como son cocina, aseos, etc...

En el diseño en planta de los edificios, debe preferirse la forma de U, con lo que en su interior quedará una zona protegida del ruido. En las nuevas urbanizaciones deben disponerse próximos a la vía de circulación aquellos edificios menos sensibles al ruido, como son los de uso industrial o comercial, graduando a continuación la altura de los edificios de forma escalonada, para que se tapen del ruido unos a otros.

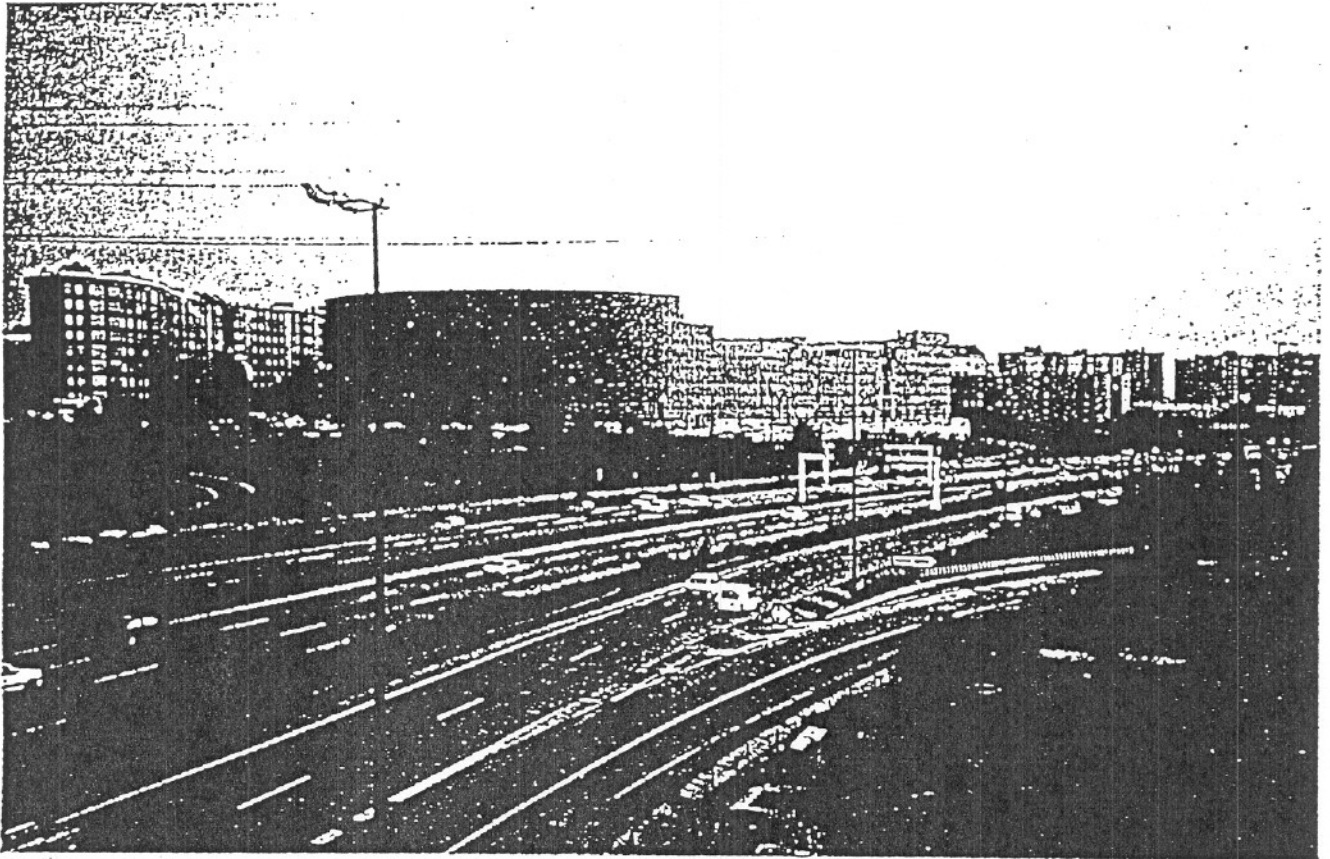
Los problemas que se plantean son diferentes según que la zona objeto del proyecto esté ya edificada y se trata de construir una vía nueva que la cruce, a que la vía ya exista y lo que se pretende es edificar en las áreas aledañas, o bien que ambas cosas sean de nueva construcción.

Durante el proceso de planificación pueden introducirse también otra serie de limitaciones que permiten mejorar el clima sonoro de la zona y con ello la calidad de vida de los que la van a habitar.

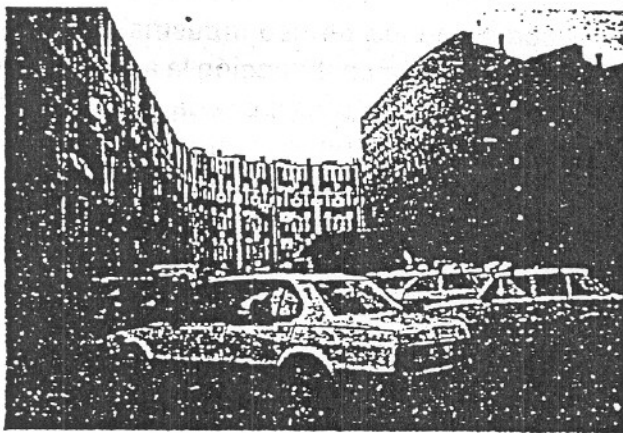
Entre ellas se encuentran las siguientes:

— No debe permitirse la edificación en áreas sometidas a niveles de ruido superiores a los fijados para cada uso a los que se pretende destinarlos.

— La densidad de población, por ser un factor generador de tráfico, no debe ser elevada. No se deben sobrepasar las 40 viviendas por



Edificio construido en forma de espiral para dejar un espacio interior protegido del ruido. Las ventanas hacia la autopista son de tamaño pequeño. M-30. Madrid.



Otra vista del edificio anterior, en la que se aprecia el final de la espiral.

hectárea si se trata de viviendas aisladas o adosadas y las 90 si son edificios altos.

— Las mayores densidades de viviendas deben establecerse siempre que sea posible, de forma que los vientos dominantes no trasladen hasta ellas los ruidos producidos en las zonas más activas y en las vías de circulación.

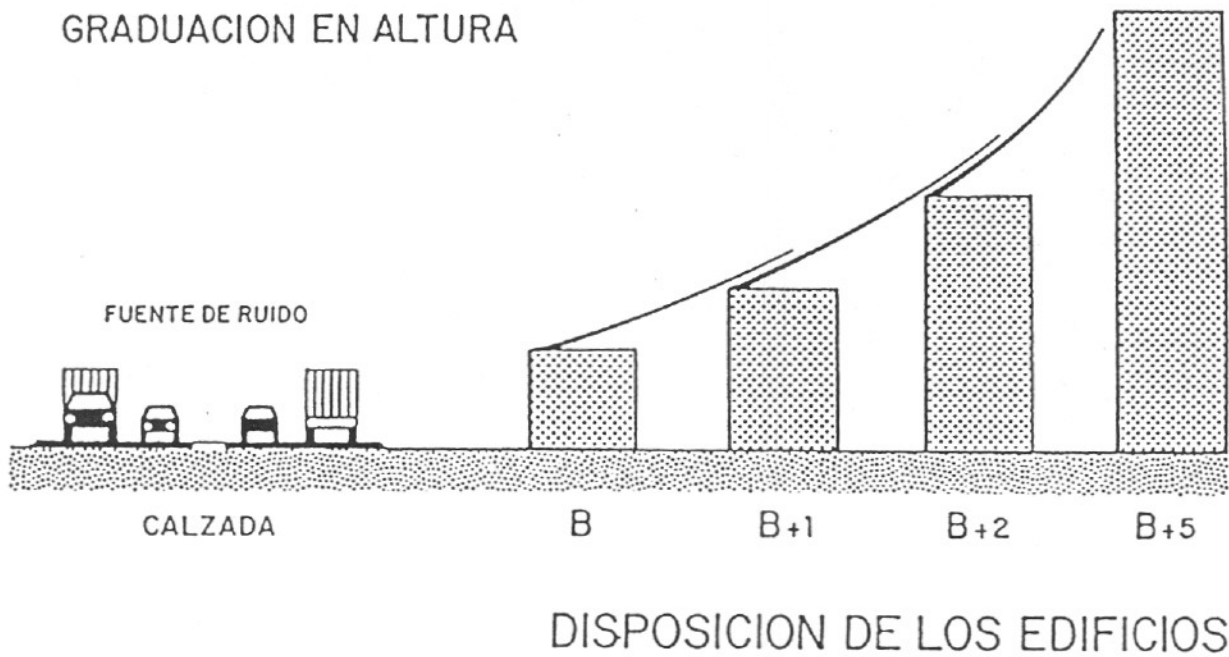
— Se debe tratar que las vías de circulación sean abiertas (en L, con edificios bajos o separados). Los fenómenos de reflexión originados en las vías cerradas (en U), producen incrementos importantes en los niveles de ruido y dificultades para su corrección.

— La concesión de licencias para la edificación debería incluir especificaciones relativas al ruido.

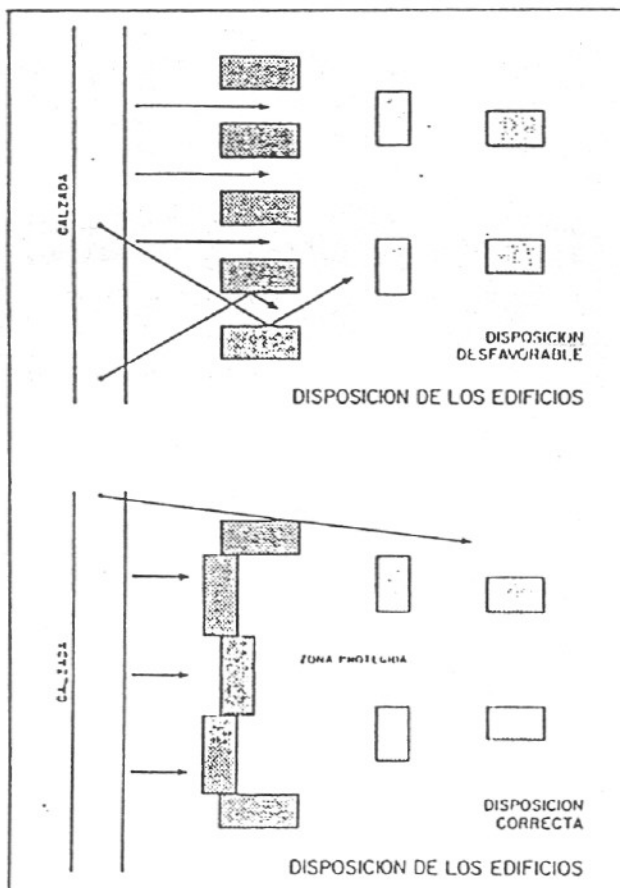
— Se debe conseguir que la circulación sea fluida. Para ello pueden aplicarse medidas como la sincronización de semáforos, el despejar las vías construyendo de aparcamientos subterráneos, la construcción de vías en el subsuelo (ciudad de París), etc.

— Las zonas verdes pueden ser utilizadas como espacios separadores entre la fuente de ruido y la zona habitada. Si bien estos espacios deben ser áreas silenciosas, pueden defenderse con mayor facilidad de las perturbaciones producidas por ruido ya que la altura máxima a proteger es la del oído de

GRADUACION EN ALTURA

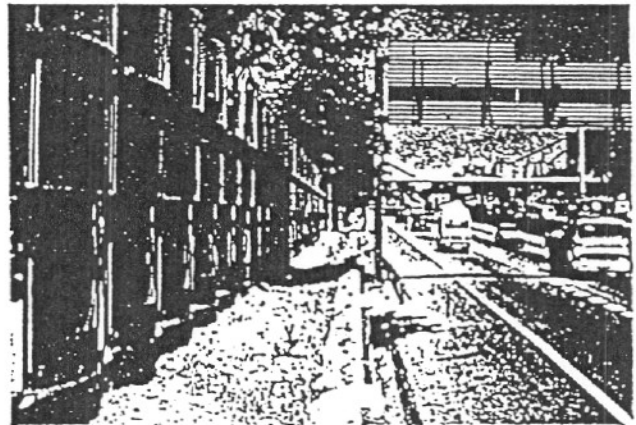


DISPOSICION DE LOS EDIFICIOS

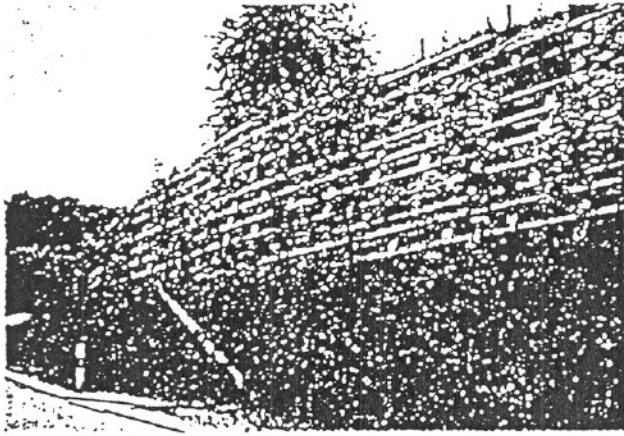


una persona. Por otra parte la vegetación produce también una cierta amortiguación del ruido: cada 10 m de arbolado reduce 1dB(A) aproximadamente, como ya se dijo.

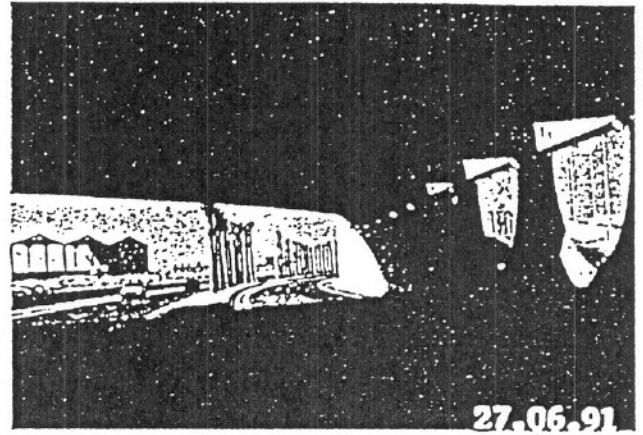
A continuación se expondrán algunos ejemplos de realizaciones llevadas a cabo recientemente en España, que corresponden a medidas explicadas anteriormente como posibles o adecuadas para reducir los niveles elevados de ruido.



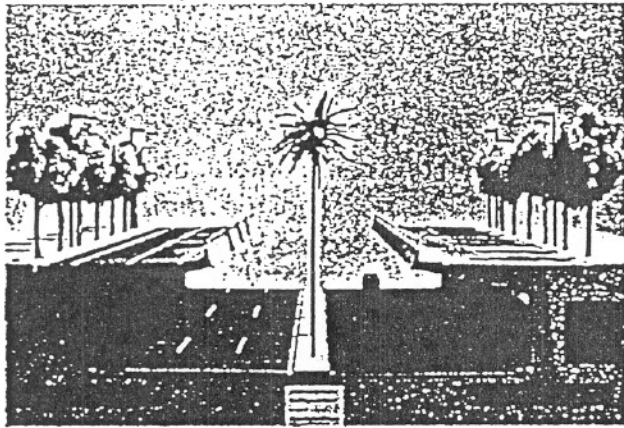
Pantalla con paneles transparentes para evitar el efecto de «encerramiento». Parque Fuente del Berro. Madrid.



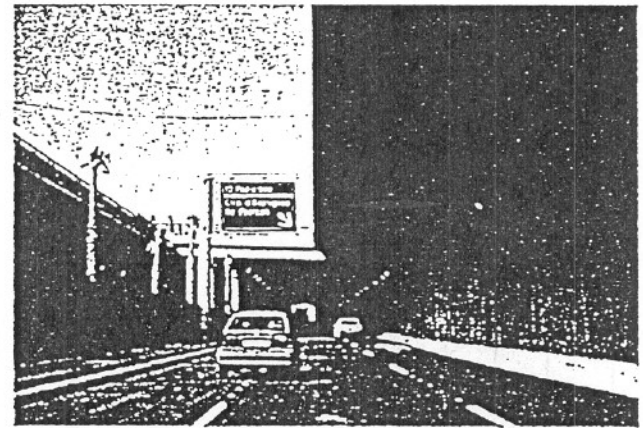
Muro jardinera para protección contra el ruido en una colonia de chalets.



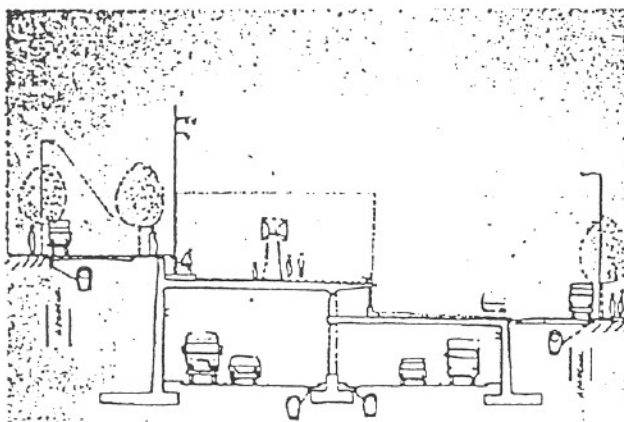
Detalle de ventilación en falso túnel construido para proteger del ruido. Ronda Litoral, Barcelona.



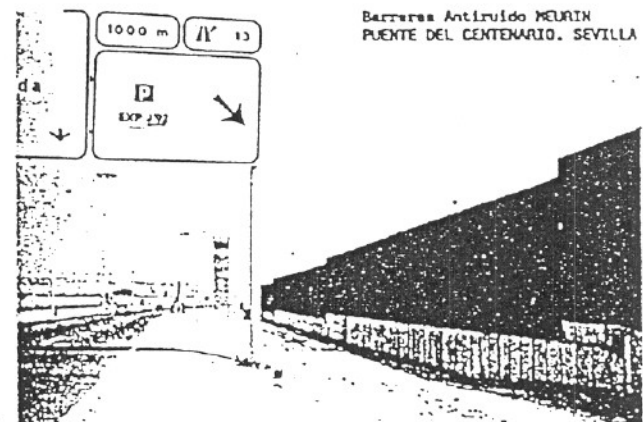
Sección tipo de autovía deprimida con voladizos de 6 m. para proteger contra el ruido. Ronda Dalt, Barcelona.



Voladizo para proteger del ruido. Il Cinturón, Barcelona.

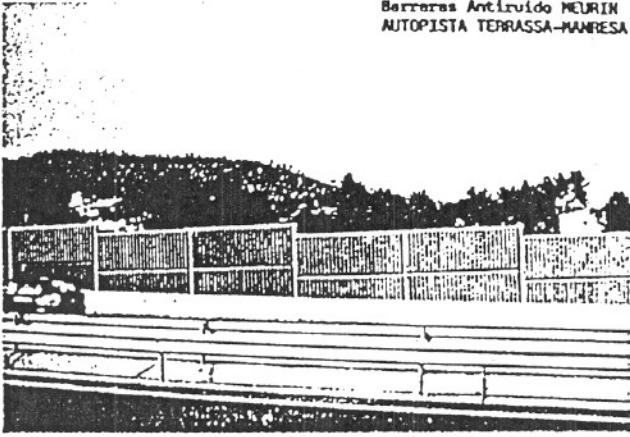


Sección de la Ronda de Nou Barris. Se aprecia la apertura para ventilación. Barcelona.

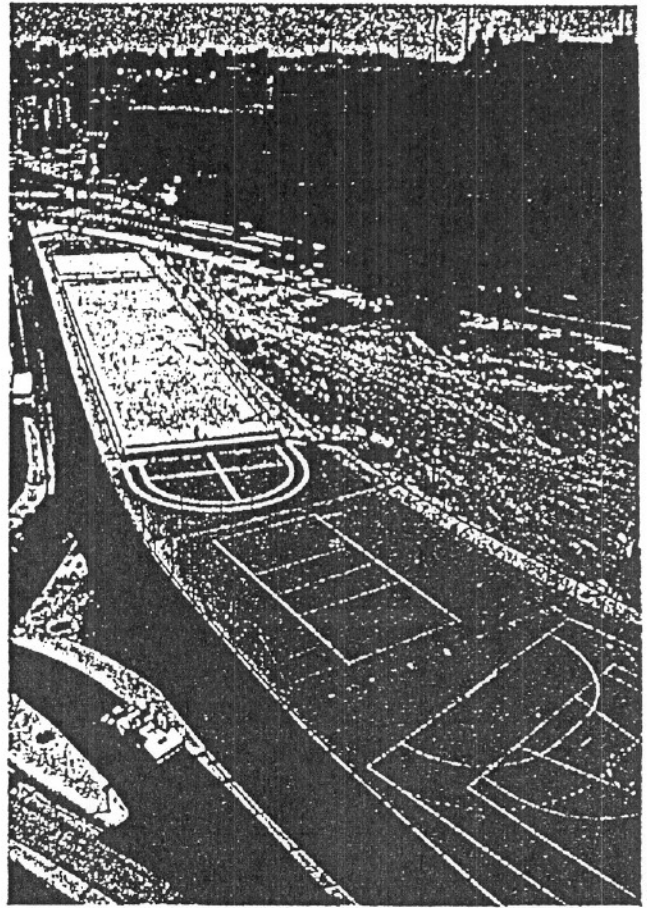


Barrera Antiruido MEURIN. PUEBLO DEL CENTENARIO. SEVILLA.

Barreras Antiruido MEURIN
AUTOPISTA TERRASSA-MANRESA



Pantalla de hormigón absorbente para proteger una urbanización. Autopista Tarrasa-Manresa.



Falso túnel para proteger del ruido. La cubierta se utiliza para instalaciones deportivas. Eje Sinesio Delgado. Puerta de Hierro. Madrid.