

La consideración del ruido en el proyecto de las carreteras (*)

Por MANUEL CEGARRA PLANE

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Uno de los factores a tener en cuenta en el proyecto y explotación de carreteras es el del ruido ocasionado por el tráfico, que en zonas urbanas adquiere especial significación. En el artículo se describen una serie de posibles medidas a adoptar para la atenuación del ruido, tanto en cuanto al trazado, como en el diseño de la capa de rodadura y dispositivos adicionales (plantaciones, pantallas, etc.).

1. INTRODUCCION

Actualmente, en el momento de proceder a la planificación y al proyecto de una carretera no basta hacer un estudio de sus características técnicas y económicas, sino que el ingeniero debe ser plenamente consciente de los posibles efectos («el impacto») que la carretera pueda tener sobre el medio ambiente natural y humano. Los efectos, positivos y negativos, que hay que tener en cuenta son muy diferentes, en función de las condiciones predominantes en el proyecto concreto que se considere, y componen una lista muy larga. De todo este vasto tema, aquí nos vamos a limitar solamente a la exposición de algunas ideas sobre el ruido de las carreteras en medio urbano.

corporales directos. Sin embargo, se pueden distinguir tres clases de efectos desfavorables, que en conjunto constituyen la *molestia* producida por el ruido:

- alteraciones del sueño;
- perturbación de las actividades humanas (trabajo, conversación, etc.);
- acción sobre el estado síquico de las personas que lo perciben (alteración del sistema nervioso).

En este trabajo no se va entrar en el análisis de las características de la molestia producida por el ruido, con su delicado estudio de los aspectos psicológicos, muy importantes por otra parte, dada la variedad de sensibilidades individuales. Tampoco se va a considerar la manera de hacer la medición del nivel físico del ruido, ni tampoco el modo de hacer las necesarias encuestas sicosociológicas, ni en la manera de correlacionar ambos factores: «*nivel de ruido medido-nivel de molestia observada*», que, en resumidas cuentas, da el llamado «*umbral de molestia*», expresado en decibelios(A), dB(A).

Obviaremos, pues, los aspectos citados, dándolos por conocidos, y tomaremos como punto de partida la definición de «*umbral de molestia*», como el *valor máximo del índice del nivel de ruido recibido que se considera tolerable*. Puede consistir el umbral de molestia en una simple recomendación o puede venir dado en forma de norma legislativa. Generalmente, los umbrales se definen como una franja constituida por dos valores, con una separación del orden de 5 a 10 dB(A) entre el valor más bajo (recomendado) y el valor más alto (máximo admisible).

2. GENERALIDADES SOBRE EL RUIDO

En una ciudad, el ruido del tráfico que queda por las carreteras aparece mezclado con los restantes ruidos de los transportes terrestres (ferrocarril), aéreos (avión), así como con los otros ruidos producidos por la actividad ciudadana. En general, es muy difícil discernir y separar el ruido de las carreteras de los restantes ruidos, con los que aparece mezclado.

El ruido de una carretera, en la generalidad de los casos, no produce en el hombre daños

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de enero de 1983.

LA CONSIDERACION DEL RUIDO EN EL PROYECTO DE CARRETERAS

En el XVI Congreso Mundial de la Carretera (Viena, septiembre de 1979) se propusieron por el conjunto de los países participantes una serie de umbrales, que se pueden resumir de la siguiente manera:

- Para el día, los umbrales propuestos se situaban entre 55 dB(A) y un máximo absoluto de 75 dB(A); excepcionalmente, 80 dB(A) para el 15 % como máximo de los edificios expuestos al ruido.
- Para la noche, se suelen reducir los umbrales del día en 10 dB(A).

Estos índices anteriormente citados se refieren a la medición del nivel de ruido en un

punto situado a una distancia de 0,50 m a 3 m delante de las fachadas más expuestas al ruido de los edificios de habitación.

En lo que sigue se considerará que los valores de dichos umbrales de molestia producida por el ruido están fijados por las correspondientes reglamentaciones, normativas o recomendaciones y nos dedicaremos a estudiar muy brevemente las actuaciones y los dispositivos para reducir el ruido recibido. A continuación se expone un cuadro sistemático de dichas actuaciones, en el que se hace una clasificación basada en tres grandes capítulos: el medio de transporte, las infraestructuras y el tráfico.

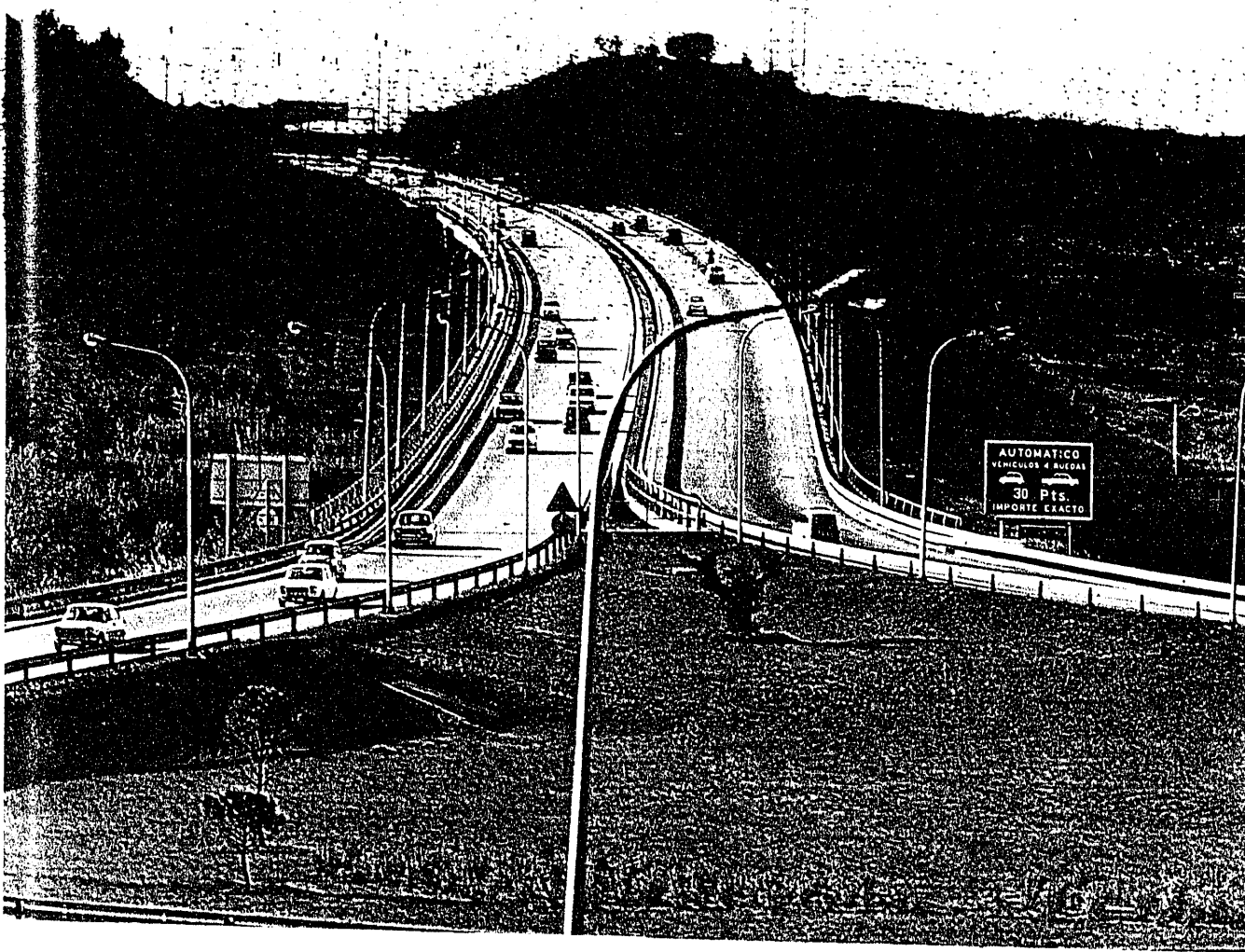
Actuación sobre...				Se reduce el ruido...
... el medio de transporte	el vehículo	motor	— motores cada vez vez más silenciosos — motor eléctrico (además es no contaminante)	... emitido
		neumáticos		
... Las infraestructuras	la carretera	proyecto	— trazado en planta — perfil longitudinal — sección transversal (túneles) — capa de rodadura del firme	... emitido
		dispositivos adicionales	— Plantaciones — motas o colinas — pantallas — cubriciones parciales o totales	... recibido
	el planeamiento urbano	— normas sobre la ocupación y utilización del suelo — alejar los edificios de las carreteras — normas de aislamiento acústico en la construcción de los edificios		... recibido
... El tráfico	la regulación de la circulación	— reducción de la velocidad — prohibición de tránsito por ciertas zonas a los vehículos pesados — velocidad lo más regular posible (disminución de paradas y arranques)		... emitido

3. ACTUACIONES SOBRE LA CARRETERA PARA LA REDUCCIÓN DEL RUIDO

Dentro de la amplia gama de posibilidades que nos ofrece el cuadro anterior, vamos a referirnos a las actuaciones tocantes a la carretera, las cuales pueden hacerse tanto durante la fase de proyecto como también después; pues, una vez construida la vía, algunas de ellas pueden ser el objeto de una actuación «a posteriori».

En este segundo caso el nivel de ruido se puede medir directa y realmente en aquellos puntos que se consideren los más convenientes; se actuará tomando la solución más idónea y apropiada al caso, a tenor de los resultados de las mediciones.

Pero en el caso de estar en la fase de proyecto, la carretera aún no está ahí, produciendo ruido, por lo que éste no se puede medir realmente. Hay que recurrir al procedimiento de hacer la previsión de los niveles de ruido que se alcanzarán más adelante, que



son función de la ubicación y de las características técnicas de la carretera, así como también del tráfico que ésta va a servir. Los métodos de previsión de los niveles de ruido constituyen un campo en el que reina actualmente gran actividad investigadora y en el que surgen innovaciones con frecuencia. Para el objeto de este trabajo basta decir muy brevemente que, hoy día, existen tres grandes grupos de métodos de previsión:

- el de los métodos por *analogía*, que consiste en la medición directa en una carretera ya existente de características lo más parecidas en lo posible a la de nuestro proyecto;
- el de los *modelos*, aplicados mediante cálculo por ordenador;
- y el de la simulación mediante *maquetas*.

3.1. Trazado de la carretera.

a) *Trazado en planta*.—La precaución más elemental que se le ocurre incluso al profano, cuando se pretende reducir el nivel de ruido en las zonas habitadas, es la de disponer una cierta distancia mínima entre el eje de la carretera y los edificios. Sin embargo, la eficacia de esta medida es, en cierto modo, relativa, pues se necesitan grandes distancias para conseguir efectos apreciables de atenuación del ruido, por lo que en zonas urbanas será de muy difícil aplicación, dada la escasez y elevado coste del suelo urbano.

No obstante, dicha distancia podrá constituir un dato de importancia a considerar en los proyectos de carreteras interurbanas, en las zonas próximas a los núcleos habitados.

Sobre todo, si se tiene en cuenta el hecho de que la disminución del ruido depende de las condiciones atmosféricas y de la naturaleza del suelo, además de la distancia.

Efectivamente, en las cercanías de la fuente sonora, la influencia de la dirección del viento y de las diferencias de temperatura es despreciable, pero a partir de 200 m de distancia, aproximadamente, puede ser claramente apreciable. En condiciones atmosféricas normales, se puede estimar que el nivel de ruido disminuye en función de la distancia, y para una frecuencia de 500 Hz, unos 0,16 dB(A) por cada 100 m; y en caso de niebla, dicha disminución llega hasta unos 1,6 dB(A) por cada 100 m.

La naturaleza del suelo tiene gran influencia sobre la propagación del ruido a poca altura. Además de su acción sobre los perfiles de la temperatura y el viento, el suelo (juntamente con los obstáculos que contenga) actúa directamente sobre la propagación de las ondas sonoras: las absorbe, las refleja y las difracta en proporciones variables, según la naturaleza de su superficie. La influencia del suelo, no obstante, suele tenerse en cuenta solamente cuando el camino de propagación del ruido pasa a menos de 6 m de altura sobre el suelo y cuando se trata de suelos absorbentes (suelos provistos de cobertura vegetal, por ejemplo).

En cualquier caso, y concretamente con mayor motivo en zona urbana, será muy conveniente disponer una cierta distancia mínima para que puedan ser eficaces otros dispositivos (plantaciones, motas, pantallas, etc.) en su finalidad de disminuir el ruido recibido, sobre todo en los pisos altos de los edificios habitados.

Por otra parte, la composición del trazado en planta de sus correspondientes alineaciones rectas y curvas circulares y de transición parece no tener prácticamente ninguna influencia apreciable en el nivel de ruido, pues aún en las curvas de radios muy pequeños los ruidos emitidos por los neumáticos en sus movimientos laterales de derrape no incrementan demasiado el nivel de ruido general producido por la carretera.

b) *Trazado en alzado.*—Se produce más ruido en las *rampas* que en las rasantes horizontales, tanto más cuanto más largas y empinadas sean aquéllas. Los camiones tienen que desarrollar la máxima potencia de sus motores, para poder acceder con sus cargas; sus moto-

res, y también los de los turismos, incrementan la emisión de ruido, al aumentar su número de revoluciones. Pero la consideración del perfil longitudinal es importante, no tanto por su efecto en sí mismo, como en cuanto de la combinación del perfil longitudinal con el trazado en planta, resulta la sección transversal de cada tramo de la carretera.

c) *Sección transversal.*—La sección transversal ideal de una carretera desde el punto de vista del ruido es la de *sección en desmonte*. Cuanto mayor sea la altura del desmonte y más empinados los taludes, mayor disminución del ruido percibido se consigue. Por esa razón, en ciertas ocasiones se cambian los *taludes naturales* (necesarios por seguridad al deslizamiento de las tierras) por unos *taludes más escarpados*, que se consiguen fijar por diversos procedimientos.

En otras ocasiones se vegetaliza la superficie del talud, lo que aumenta la absorción de ruido. Siguiendo más allá en la idea anterior se llega a la trinchera con muros de sostenimiento verticales o casi verticales, tomando la precaución de revestir sus paredes exteriores con materiales absorbentes, y así evitar el fenómeno de las reflexiones múltiples muy perjudicial para la eficacia de la protección fónica.

Con frecuencia se quiere presentar la sección en *túnel* como la solución completa y definitiva al problema del ruido; sin embargo esta solución presenta grandes inconvenientes, que la hacen desaconsejable:

- Mayor costo.
- Concentración de ruido y contaminación en los accesos.
- Consumo de energía en ventilación e iluminación.

Sin embargo, en ciertos casos de zonas de fuertes densidades de población y con escasez de sitio, se llega a soluciones intermedias, casi de túnel artificial, como son las cubriciones parciales o totales, de las que hablaremos más adelante.

3.2. Capa de rodadura del firme

El ruido emitido por un vehículo en su movimiento sobre la carretera viene determinado fundamentalmente por dos fuentes sonoras: el ruido del motor y el de la rodadura de los neumáticos sobre la superficie del firme. Mientras que el ruido del motor es predominante en los camiones, el ruido emitido



ción, la seguridad vial está en función inversa de la emisión de ruido de rodadura, puesto que las superficies lisas (poco antiderrapantes) producen menos ruido que las superficies rugosas (antiderrapantes). En los casos de ciertos revestimientos muy rugosos y en los adoquinados el aumento de nivel sonoro puede alcanzar los 10 dB(A).

El nivel de ruido es mayor cuando la calzada está mojada. Se ha observado en una experiencia francesa, realizada en 1974, que el aumento de emisión sonora se produce a partir de 2.000 Hz. Sin embargo, en la mayoría de los países, las medidas de protección contra el ruido se basan en el nivel de ruido emitido cuando la calzada está seca.

En la citada experiencia francesa se utilizó un tipo único de vehículo, rodando a diversas velocidades; neumáticos de dos tipos y con diversos grados de desgaste; varios revestimientos y condiciones climáticas (calzada seca y mojada). Resultaron diversas consecuencias, pudiendo destacar de entre ellas las siguientes:

- el nivel de ruido aumenta con la velocidad;
- poca diferencia de ruido entre los diferentes neumáticos;
- la influencia del revestimiento se podía indicar por los siguientes valores:

- revestimiento liso (nivel de referencia) 0 dB(A)
- mezcla bituminosa fina +2,5 »
- hormigón no estriado +4,5 »
- hormigón estriado transversalmente (estrías separadas 25 milímetros) +5,0 »
- revestimiento antiderrapante. . +9,5 »

En este mismo orden de experiencias, en Bélgica se han hecho también ensayos con neumáticos de clavos, rodando sobre hormigón liso, y se ha observado un aumento de 10 dB(A).

3.3 Dispositivos adicionales

Parece obvio considerar que el mejor procedimiento es el de minimizar la producción del ruido en el momento del proyecto de la carretera. Pero se presenta el caso de las carreteras ya existentes, en las que habrá necesariamente que hacer obras de protec-

por los neumáticos tiene prioridad en los turismo, sobre todo a velocidades elevadas.

La naturaleza del ruido de la rodadura, es decir, de la interacción entre los neumáticos y el firme, no se conoce en profundidad. Sin embargo, todo parece indicar que proviene de los esfuerzos transversales de cizalladura, que se producen en la superficie de contacto del neumático con la capa de rodadura, y que a su vez son los causantes del desgaste de los neumáticos y de la propia capa de rodadura.

En los últimos tiempos, se están llevando a cabo experiencias e investigaciones (República Federal de Alemania) que tienen por objeto el análisis en profundidad del origen del ruido de rodadura. El tema reviste una gran importancia, sobre todo si se piensa que también anda por medio el concepto de seguridad vial. En el estado actual de la cues-

ción contra el ruido, estando ya las carreteras construidas y en servicio. También puede ocurrir que en el momento del proyecto se llegue al convencimiento de que la mejor solución consiste en incluir alguno de los siguientes dispositivos adicionales.

a) *Plantaciones.*—Las plantaciones de árboles y arbustos no presentan excesiva eficacia real en la lucha contra el ruido, pues su efecto de pantalla es del orden de 5 dB(A) por cada 50 m de anchura de plantación, aunque este valor es variable con las especies vegetales plantadas. En este sentido, estudios recientes hacen concebir la esperanza de que hay especies vegetales que producen mayor reducción del nivel de ruido, como por ejemplo, los rododendros.

Pero los árboles y arbustos tienen, además, un efecto muy positivo y beneficioso sobre el medio ambiente inmediato a la carretera. Por ello, se deben de ver las plantaciones como una combinación de acciones: mejorar el paisaje, cuando se dispone de terrenos suficientes, y a la vez luchar contra el ruido.

b) *Motas o colinas de tierra.*—Generalmente, se construyen con tierras procedentes del lugar. En principio, si se está en la fase de construcción de la carretera, lo más lógico es utilizar las tierras de calidad inadecuada para la explanación de aquella. No se suelen construir las motas con alturas superiores a los 4 ó 5 m.

Respecto a los taludes, la mayoría de los suelos no permiten taludes más empinados del 1:1. La anchura en lo alto puede oscilar entre 1 a 2 m. Por razones de estética o de mantenimiento se adoptan taludes más tendidos que los posibles, por ejemplo del 1:3, sobre todo del lado contrario a la carretera. También aboga por la sección asimétrica, el hecho de que el punto más elevado debe estar lo más cerca de la carretera que sea posible. Por ello se debe disponer el talud más inclinado del lado de la carretera. Las arcillas y los limos obligan a taludes más tendidos, que pueden ser de hasta 1:5.

Todas estas consideraciones pueden llegar al extremo de convertir la mota de tierra en una colina «natural» con formas suaves y no angulosas, muy acoplada al paisaje, sobre todo si se procede a su plantación. Esta solución, sin embargo, presenta el inconveniente de que ocupa mucho suelo, que suele ser caro, sobre todo en zona urbana. Una ventaja,

no obstante, es que no se necesita disponer barreras de seguridad para el tráfico, como en el caso de las pantallas.

Hace ya bastantes años que las colinas de tierra se utilizan ampliamente en numerosos países, por la razón fundamental de que presentan a la vez gran rendimiento acústico (masa importante, material parcialmente absorbente) y buenas cualidades estéticas (césped y plantaciones diversas, integración en el paisaje). Por estas razones las colinas de tierra son muy bien aceptadas por los que viven en la cercanías de la carretera y por los usuarios de ella. Suelen reducir el nivel sonoro del orden de unos 10 dB(A) en adelante, aunque esto es variable en función de la altura y demás características de cada caso.

c) *Pantallas.*—Se puede reducir el nivel de ruido mediante pantallas antirruído dispuestas lateralmente a las carreteras. En los últimos cinco años se ha asistido a un rápido desarrollo de estas pantallas. También, ha sido objeto de muchos estudios técnicos el referente a sus especificaciones de dimensiones, de materiales y otras características.

Se considera generalmente que las pantallas antirruído deben tener una altura mínima de 1 m, por debajo de la cual se considera ineficaces. La altura máxima no debe ser superior a 3 m, pero por razones de orden visual más que estructural. Sin embargo, en algunos países se autorizan alturas de hasta 4 ó 6 m. Los materiales utilizados componen una lista muy variada: hormigón, vidrio, asbestocemento, hormigón reforzado con fibra de vidrio, acero revestido de plástico, aluminio, plástico, madera, etc. Los tipos o formas de pantalla actualmente utilizadas son tan numerosos y variados, que no es posible hacer su descripción en este lugar.

Las pantallas antirruído deben reducir el nivel de ruido global 6 dB(A) como mínimo, pero lo normal es exigir una reducción de 10 dB(A). Para ello, las pantallas deben reducir 20 dB(A), como mínimo, los niveles sonoros que rebasan la pantalla.

Las pantallas antirruídos se consideran obstáculos peligrosos en los bordes de la carretera, por lo que se impone la colocación de barreras de seguridad, lo que aumenta el costo de instalación. La pantalla debe tener una duración de vida útil de diez a veinte años, no debiendo necesitar en ese lapso de tiempo ningún tipo de mantenimiento.

l) *Motas de tierra de taludes escarpados*.—Ante el problema de la lucha contra el ruido de la carretera, el ingeniero debe armonizar tres aspectos muy diferentes:

- *aspecto acústico*: a mayor altura de la pantalla, mayor eficacia antirruído.
- *aspectos estéticos*: al intentar reducir la molestia producida por el ruido, no se debe producir la molestia debida a la intrusión visual.
- *aspecto económico*: el costo unitario de cada obra debe ser el mínimo posible, manteniendo una eficacia conveniente.

Comparando las pantallas antirruídos con las motas de tierra, a igualdad de eficacia sonora, se tiene que en el aspecto estético es mejor la mota de tierra, pero no ocurre así en el aspecto económico, pues la pantalla es bastante más barata que la mota, la cual necesita ocupar mucho terreno.

Buscando el término medio de estas exigencias, en varios países se han desarrollado las motas de tierra de taludes escarpados, que ocupan muy poco terreno, presentan muy buena apariencia estética, a la vez que ofrecen un buen rendimiento acústico. Hay muchos modelos, pero podemos citar el «Devon bank» de Gran Bretaña y los «muros vegetalizados», utilizados en la República Federal de Alemania, Suiza y Francia. Dan muy buen resultado, presentando, sin embargo, el inconveniente de no estar muy indicados en un clima seco como el de la mayor parte de España, pues la cubierta vegetal de estas motas necesita una pluviosidad regular durante los primeros años de su vida, para establecer y mantener su vegetación.

e) *Soluciones especiales*.—En las zonas urbanas muy densas hay que recurrir a procedimientos sofisticados de protección contra el ruido, en los que hay que tener en cuenta el poco espacio disponible y el predominio de los edificios de muchos pisos. Vamos a indicar, a título de ejemplo, solamente dos soluciones concretas: una cubrición parcial, en Japón, y una cubrición total, en Checoslovaquia.

La primera consiste en añadir a los muros de sostenimiento de la carretera, necesarios exclusivamente por razones de trazado, unas pantallas que cubren parcialmente la carretera; se completa con unas pantallas ligeras y

se enmascara un poco mediante vertidos de tierra y plantaciones.

La solución checoslovaca es más sofisticada y consiste esencialmente en una cubrición total de un trozo de carretera con un «túnel», fabricado con fibras textiles, que se apoyan en una ligera armadura metálica. Para conseguir el máximo rendimiento sonoro, el espacio que separa las dos capas de tejido sintético se rellena con una capa de 4 cm de espesor de lana de vidrio. La reducción del nivel de ruido calculada es de 15 dB(A) y la duración estimada del sistema de unos diez a quince años. La superficie exterior del tejido sintético se ha decorado con la intención de obtener un favorable aspecto estético.

En este campo de las soluciones especiales, cada problema concreto puede tener su solución individualizada, para cuya feliz consecución tiene un gran valor la capacidad inventiva de los técnicos encargados de la cuestión.

4. CONCLUSIONES FINALES

A lo largo de este sencillo trabajo se ha hecho un breve repaso a algunas de las posibles soluciones que se pueden utilizar en la actualidad para luchar contra el exceso de ruido en las carreteras. Sirvan como punto final las sencillas ideas que han servido de inspiración al trabajo, que se pueden resumir en lo siguiente:

- a) La lucha contra el exceso de ruido en la carretera se basa en ideas y técnicas muy recientes, en pleno proceso de búsqueda de las experiencias validadas.
- b) Sin embargo, y a pesar de ello, ya existen los suficientes principios básicos, que permiten que los Ingenieros de Caminos puedan proceder a la consideración del ruido en el planeamiento y proyecto de las carreteras.
- c) En consecuencia, se considera la postura más prudente el tener en cuenta dichos principios básicos de la mejor manera posible, hasta tanto no haya reglamentaciones o normativas más precisas, y, por supuesto, considerando en la proporción justa todos los factores en juego: acústicos, estéticos y económicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- XIV Congrès Mondial de la Route. Prague, 1971. Rapport General et Textes de Conclusions Adoptés.
- XV Congreso Mundial de Carreteras. México, Octubre 1975. Informe General y Conclusiones.
- XVI Congrès Mondial de la Route. Vienne, Septembre 1979. Conference-debat et Rapport du Comité Technique de la Route en Milieu Urbain.
- Simposio sobre «Las carreteras y el Medio Ambiente Urbano». Madrid, 1974.
- «Efectos de la circulación y de las carreteras sobre el medio ambiente en zonas habitadas». Resumen del informe preparado por el grupo de trabajo del Programa de Investigación de Carreteras de la OCDE.
- «Note technique relative a la prise en compte du bruit des transports terrestres dans l'urbanisme et la construction». Septembre, 1978. Ministère de l'Environnement et du Cadre de vie de France.
- «Le bruit le long des infrastructures de transports terrestres. Questions et réponses sur l'application de l'arrêté du 6 Octobre 1978». Septembre 1979. Ministère de l'Environnement et du Cadre de vie de France.