

EL RUIDO PRODUCIDO POR LA CIRCULACION

Felipe Ruza

1992.6

El ruido producido por la circulación

por Felipe Ruza Tarrío
Consejero Técnico
Dirección Gral. Carreteras (MOPT)



Los países más desarrollados se ven obligados a destinar, aproximadamente, un 25% de sus inversiones en medio ambiente en su lucha contra el ruido.

Introducción

EL ruido es uno de los contaminantes más molestos y que de forma más directa deteriora la calidad de vida en la actualidad.

Es el que primero se detecta, casi de forma instantánea, y el que más perturba porque, en las ciudades, no nos abandona ni de día ni de noche, estamos dentro o fuera de nuestra casa.

Pero también hay que decir que no es una contaminación que se mantiene, cesa en cuanto lo hace la fuente sonora. Está localizado, no se transmite lejos, pues se amortigua con la distancia, y su acumulación no produce incrementos importantes.

Por otra parte no es un problema nuevo, las primeras referencias a las molestias producidas por el ruido aparecen ya en una tabla de hace 5000 años, en escritura cuneiforme, en la que se relatan las molestias producidas por el trasiego urbano en la región de Sumer y por los gritos emitidos por un maestro para enseñar a sus alumnos. En la antigua Grecia, Esopo ya decía que "a mucho ruido poco rendimiento". Numerosos escritos romanos se refieren también a este tema. El primer Reglamento mu-

nicipal aparece en el siglo XV promulgado por la ciudad de Berna, en el que se prohibía circular con carros en mal estado debido al ruido que producían. Un siglo después, es Zurich quien prohíbe hacer ruido en las calles por la noche.

A mediados del siglo pasado, la circulación de carretas y carruajes, con sus ruedas recubiertas de flejes de acero para evitar el desgaste, sobre pavimento de adoquines, producía niveles de ruido muy elevados, que en las grandes ciudades llegó a denominarse el "rugir de la ciudad" y eran tan elevados que en Londres se quejaban de que no era posible oír al interlocutor cuando pasaba un carruaje.

Con el paso del tiempo la cantidad de energía sonora, emitida a la atmósfera, ha ido creciendo al ir aumentando de forma espectacular el número de fuentes. Según estudios de la OCDE, la cantidad de energía sonora emitida se ha duplicado en los últimos 20 años. El número de automóviles se ha multiplicado por tres y el tráfico aéreo por diez. Actualmente existen en el mundo más de 400 millones de automóviles. El 80% de la energía total consumida en transportes en la OCDE lo es por el transporte por carretera.

Según estudios realizados por el Instituto del Ruido de Londres, la energía sonora total emitida a la atmósfera tiene su origen en:

| | |
|---|-----|
| Automóviles | 80% |
| Ferrocarril | 4% |
| Industria | 10% |
| Varios (aeropuertos, construcción, etc) | 6% |

En otros países se realizaron estudios similares con resultados muy parecidos. Las diferencias, no muy grandes, estaban producidas por los distintos tipos de infraestructura viaria de cada uno de ellos.

En todos los países desarrollados el ruido representa una de las mayores preocupaciones de los ciudadanos. En Francia es la máxima preocupación y el ciudadano español lo incluye también entre sus preocupaciones prioritarias. En los organismos internacionales también es tema prioritario.

En las grandes ciudades la circulación rodada no cesa en las 24 horas, aunque existan momentos de baja intensidad. Si a ello se une el que las ciudades no fueron diseñadas, sobre todo en sus áreas menos modernas, para soportar la actual circula-

ción, sino que se fueron adaptando a ella como buenamente les fue posible, podemos hacernos una idea de la situación actual.

Como consecuencia de todo ello, y para intentar reducir los niveles de ruido a magnitudes soportables, los países europeos más desarrollados se ven obligados a destinar, aproximadamente, un 25% de sus inversiones en medio ambiente, en la lucha contra el ruido: insonorización (urbana, industrial, apantallamiento de carreteras); tratamiento médico, e indemnizaciones.

Por todo lo dicho, estimamos que se puede afirmar que a lo largo del período histórico del hombre, las máximas perturbaciones sonoras que éste hubo de soportar fueron originadas por la circulación rodada, y éstas fueron, en general, importantes.

La OCDE realiza periódicamente informes sobre el "Estado del Medio Ambiente" en los países que la componen. En estos documentos se incluyen datos sobre los porcentajes de población que, en cada país, se encuentra sometida a diferentes niveles de ruido producido por el transporte.

Aunque estos datos deben ser manejados con prudencia, pues fueron obtenidos utilizando metodologías diferentes y en períodos de tiempo no siempre iguales, a falta de otros más completos, nos permiten conocer el orden de magnitud del problema que plantea el ruido producido por la circulación.

En el último informe correspondiente al año 1989, España aparece como el país más ruidoso después de Japón, con un 23% de la población sometida a niveles superiores a los 65 dB (A) (nivel de aceptabilidad). Nos sigue Grecia con un 20%, Francia con un 16%, etc. No figuran datos de Italia.

Según estos datos, más de 63 millones de ciudadanos europeos estarían sometidos a niveles no aceptables de ruido.

Características del ruido producido por la circulación

El ruido de la circulación tiene su origen en el producido por cada vehículo en funcionamiento, y el total, en la acumulación del conjunto de todos ellos.

Por todo ello, el número de vehículos y el tipo de cada uno de ellos influye sobre el ruido resultante.

A su vez el ruido producido por un vehículo aislado, tiene su origen en muy diferentes fuentes como luego veremos.

Ponderación A

La frecuencia de la vibración tiene una gran importancia en la percepción de los sonidos por el oído humano. No juzgamos igual a un sonido grave que a uno agudo. Dos ruidos pueden tener un nivel de presión sonora igual y sin embargo presentar un espectro de frecuencias completamente diferente. Los sonidos compuestos por altas frecuencias resultan más molestos.

Para evitarlo, el oído cuenta con una serie de dispositivos que eliminan o reducen las frecuencias más molestas o perjudiciales. Para poder evaluar los distintos sonidos que percibimos, es preciso que los aparatos de medida realicen también de unas correcciones similares a las del oído, de forma que lo que midan se parezca a la sensación sonora percibida por éste. Esto se consigue con las curvas de ponderación frecuencial, de las que se han definido cuatro, representadas por las letras del abecedario. Es la curva A la que mejor se adapta a las sensaciones subjetivas producidas por los ruidos de tráfico.

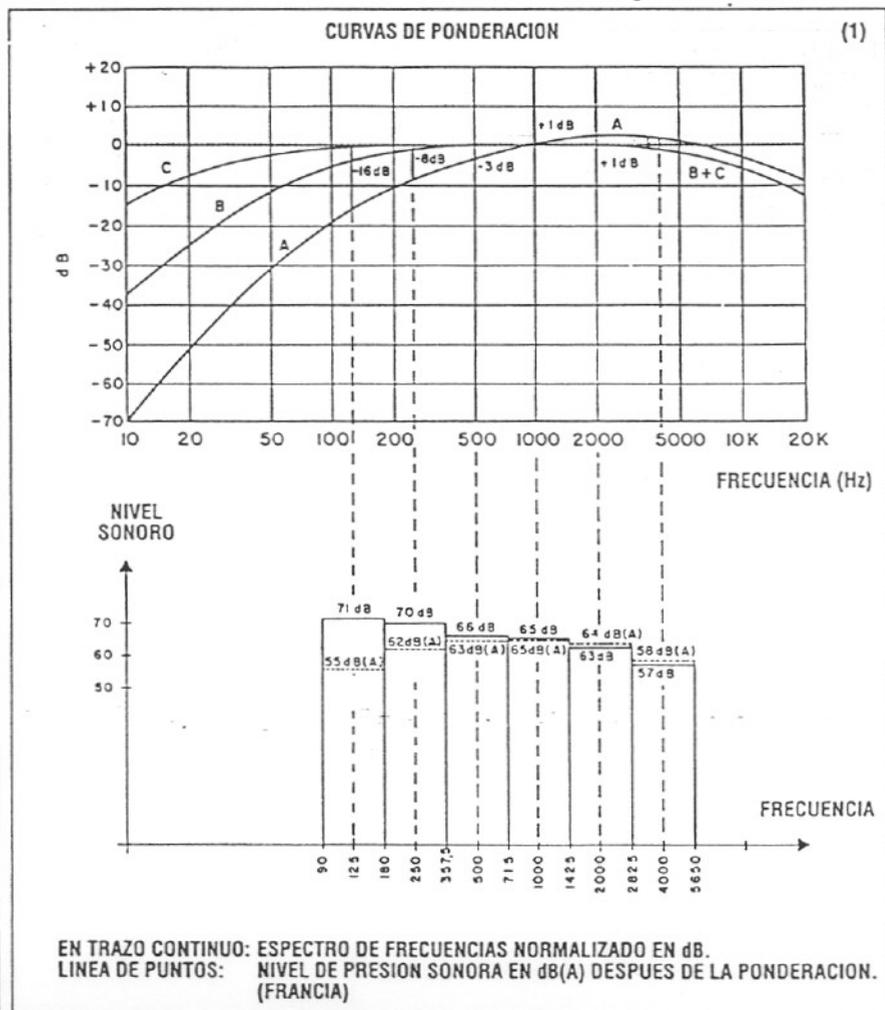
Espectro de frecuencia

Si se analizan las frecuencias que componen el ruido producido por la circulación, se obtiene su espectro de frecuencias. Estas se distribuyen en bandas de octava o de tercio de octava, según la precisión que se desee obtener.

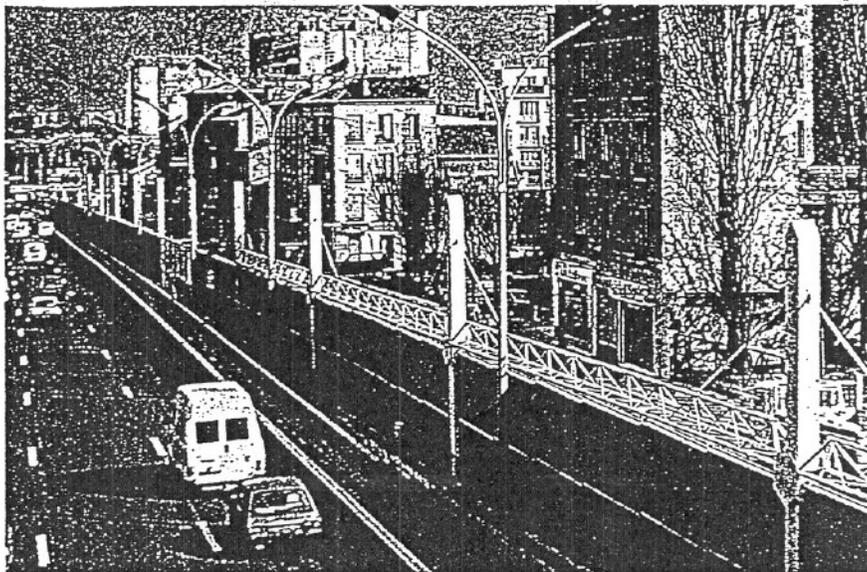
Para el dimensionado de las pantallas protectoras del ruido de la circulación es, en muchos casos, necesario disponer del espectro distribuido en tercios de octava.

Los espectros de frecuencia pueden resultar diferentes para vehículos aislados, o en carreteras de poco tráfico, según puedan ser las características de éste; sin embargo, para carreteras de gran circulación las diferencias se van limando y resultan todos muy parecidos.

Por esta razón, los distintos países los han ido normalizando al objeto de poder utilizarlos en investigaciones, comprobaciones de amortiguación de elementos protectores, etc. En la figura (1) adjunta se aprecia el espectro de frecuencias normalizado en Francia, antes y después de someterlo a la ponderación A.



“
En el nivel de ruido producido por rodadura influye la velocidad del vehículo, el dibujo de la cubierta, su estado de conservación, la presión de inflado y el tipo de pavimento. El dibujo transversal de la cubierta puede producir hasta 3 dB(A) más que los dibujos longitudinales.”



Existe una Comisión de la CEE estudiando lo relativo a la normalización de las pantallas de protección sonora que se instalan en los márgenes de la carretera.

Actualmente existe una Comisión de la CEE que está estudiando todo lo relativo a la normalización de las pantallas de protección sonora que se instalan en las márgenes de las carreteras.

Esta Comisión cuenta con dos grupos de trabajo, que estudian respectivamente los:

- Aspectos mecánicos, de seguridad y de durabilidad de los materiales.
- Parámetros acústicos:

In situ: absorción
 transmisión
 eficiencia global en el medio ambiente

En laboratorio: absorción
 transmisión

Para poder llevar a cabo todas estas comprobaciones lo primero que ha hecho la comisión es fijar el espectro de ruido tipo, a cuyos efectos se ha establecido el siguiente: ▼

| Bandas en tercio de octava en Hz | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Niveles en dB(A) | -20 | -20 | -18 | -16 | -15 | -14 | -13 | -12 | -11 | -9 | -8 | -9 | -10 | -11 | -13 | -15 |

Expresión de los niveles de ruido

Otra característica del ruido de circulación es que el nivel de presión sonora varía en el tiempo. El paso de cada tipo de automóvil deja una impresión sonora diferente, característica exclusiva de cada uno de ellos. Va creciendo en intensidad conforme se acerca hasta un máximo, que se produce precisamente cuando pasa por delante del observador, y luego desciende hasta que, por la distancia, se extingue. Esta impresión sonora se conoce por algunos autores como "firma sonora" del vehículo que lo produce.

La falta de uniformidad del ruido producido por la circulación rodada dificulta su descripción y medida. Para evitar la imprecisión que produce esta variación del ruido en el tiempo, es preciso utilizar aquella expresión que resuma en una sola magnitud los distintos niveles que se producen a lo largo de un determinado período.

Esto quiere decir que es preciso utilizar como expresión del nivel de ruido de la circulación, el nivel sonoro continuo equivalente L_{eq} y los percentiles o niveles estadísticos L_x .

Generalmente, el más utilizado es el L_{eq} , sin embargo algunos países utilizan todavía en su legislación, límites de ruido expresados en niveles estadísticos. Así por ejemplo, Inglaterra utiliza el nivel L_{10} para establecer límites a los ruidos produ-

cidos por la circulación. Los franceses utilizaron hasta 1972 el L_{50} como límite sonoro, pero este nivel exigía tráficos superiores a 500 vehículos/hora, para que hubiese suficiente representatividad al aplicar la Ley de Gauss y certeza en los resultados obtenidos.

Actualmente, la mayoría de los países, así como los organismos internacionales y los órganos de la CEE, utilizan el L_{eq} . No cabe duda, de que la determinación del ruido en una zona se enriquece y mejora su conocimiento, si el L_{eq} se complementa con el análisis de percentiles.

El vehículo como fuente de ruidos

Los ruidos producidos por la circulación tienen su origen en el vehículo, bien en los órganos mecánicos, se producen con el motor en marcha aunque el vehículo esté parado, o bien con el propio movimiento del vehículo, en cuyo caso habría que añadir a los anteriores los producidos por efectos aerodinámicos y de rodadura.

El ruido de la circulación rodada lo produce la acumulación del conjunto de niveles de ruido, producidos por cada uno de los vehículos en funcionamiento.

Se indican a continuación, las diferentes fuentes productoras de ruido en un vehículo y los niveles máximos que pueden alcanzar cada una de ellas:

- Vehículo parado:**
- Motor: Irradia ruido (explosiones y mecanismos). Puede producir hasta 78 dB(A)
 - Ventilador: Refrigeración del motor; hasta 82 dB(A)
 - Admisión aire: Paso a través del filtro; hasta 75 dB(A)
 - Escape: Fue siempre el foco principal; hasta 85 dB(A)
 - Frenos: Indeterminado. Si se utilizan: chirridos de zapatas

- Vehículo en movimiento:**
- Carrocería-Aerodinámicos: Indeterminado. Perfil del vehículo, colocación de la carga.

- Neumático-Rodadura:
Hasta 75 dB(A), V<60km/h
Hasta 95 dB(A), V>60km/h
- Ruido total: Puede llegar a 90 dB(A) para V<60 km/h y 96 dB(A) para V>60 k/m

Estos niveles sonoros se entienden medidos a 1,5 m de la fuente productora del ruido.

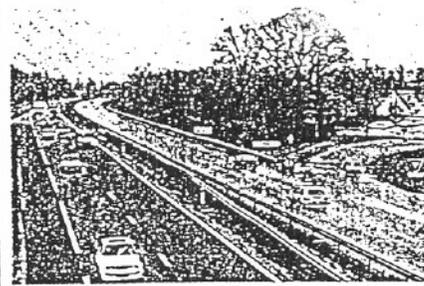
Para velocidades superiores a los 60 km/h en automóviles y de 80 km/h en los camiones, el ruido de rodadura es más importante que todos los demás, de forma que, a esas velocidades, los otros quedan enmascarados por éste.

En el nivel de ruido producido por rodadura influye la velocidad del vehículo, el dibujo de la cubierta, su estado de conservación, la presión de inflado y el tipo de pavimento. El dibujo transversal de la cubierta puede producir hasta 3 dB(A) más que los dibujos longitudinales.

Los pavimentos lisos son, a altas velocidades, más silenciosos que los de textura rugosa, si están secos, pues mojados resulta al revés, ya que ofrecen más dificultades para desalojar el agua. A velocidades bajas no existen diferencias apreciables. En un suelo mojado pueden llegar a producirse incrementos sonoros sobre pavimentos clásicos del orden de hasta 4 dB(A) en relación con el

producido con el mismo pavimento seco.

En cuanto a otros aspectos como la seguridad, los lisos ofrecen menos



Los pavimentos menos ruidosos son los drenantes o porosos.

resistencia al deslizamiento por lo que resultan menos seguros.

Los pavimentos menos ruidosos son los drenantes o porosos. Absorben parte de la energía sonora emitida por los vehículos. La atenuación producida por estos pavimentos se sitúa entre 4 y 6 dB(A), pero, además, esta atenuación es mayor en las frecuencias altas (>1000 Hz) que, como sabemos, resultan las más desagradables.

En el ruido producido por la rodadura influye más el tipo de pavimento que el del neumático.

Existen otros factores que influye en el nivel del ruido producido por la circulación, como son:

- La pendiente de la calzada
- El trazado de la carretera
- La fluidez del tráfico
- La categoría del vehículo (ligero o pesado)
- El estado del firme
- La forma de conducir
- La antigüedad del parque automovilístico
- Su estado de conservación

Niveles reales de emisión

Aparte de los niveles de emisión fijados en la legislación vigente, máximos admisibles para vehículos nuevos, que se incluyen en el cuadro (1) adjunto, existe un hecho real, que son las emisiones sonoras producidas por los distintos tipos de vehículos en condiciones de circulación urbana.

Estos niveles de ruido no son los mismos para todos los vehículos, incluso aunque sean de características similares.

Se incluye a continuación una figura en la que se aprecia la distribución estadística de los ruidos emitidos por vehículos de diferentes categorías, confeccionado por Nelson.

En cuanto a los espectros de frecuencia, la banda de variación de los

Límites sonoros actuales Emisiones vehículos a motor

(1)

| | CEE | USA | SUIZA | JAPON | Propuesta OCDE |
|--------------------------------------|----------|-----|----------|-------|----------------|
| Turismos | 77 | - | 75-77(3) | 78 | 75 |
| Furgonetas (menos de 3,5 t) | 78-79(2) | - | 77-79(3) | 78 | 75 |
| Autobuses (menos de 3,5 t) | 78-79(2) | - | 77-79(3) | 78 | 75 |
| Camiones (menos de 150 kw) | 83 | 86 | 82 | 83 | 80 |
| Autobuses (menos de 150 kw) | 80 | 83 | 80 | 83 | 80 |
| Grandes camiones (más de 150 kw) | 84 | 86 | 84 | 83 | 80 |
| Grandes autobuses (más de 150 kw) | 83 | 83 | 82 | 83 | 80 |
| Grandes motos (más de 500 c.c.) | 80 | 83 | 83(4) | 75 | 75 |

(1) Medidos a 7,5 m del vehículo en aceleración (ISO R 362) en dB(A).

(2) Aumento de 1 dB(A) en los vehículos DIESEL de inyección directa.

(3) Con más de cuatro velocidades.

(4) Medido en segunda velocidad, a 3/4 del régimen máximo.

“**L**a velocidad del vehículo, que puede producir aumentos entre 9 y 13 dB(A) cada vez que se duplica aquella (la velocidad óptima y a la que resulta despreciable el ruido de rodadura por resultar englobado en el ruido total, es la de 30-50 km/h para vehículos ligeros y 40-70 km/h para pesados).”

vehículos pesados está por encima de los ligeros, pero son muy similares en su distribución. Predominan las bajas frecuencias sobre las altas, como ya habíamos visto.

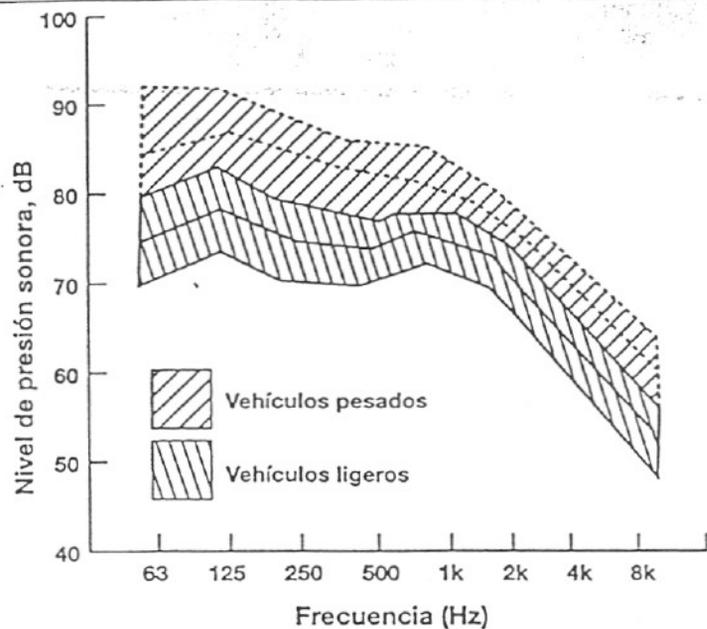
Otro factor importante en la emisión de ruidos son las revoluciones del motor. Naturalmente el ruido aumenta conforme crecen éstas. Relacionados con los ruidos máximos y con el de rodadura están los incrementos de ruido producido al aumentar la velocidad, incrementos que llegan a ser muy importantes. El ruido comienza a crecer antes en los vehículos ligeros y pequeños que en los grandes. Los incrementos de ruido debidos a la velocidad son mayores también en los pequeños.

Hay un tercer factor, relacionado con los dos anteriores, que debe también ser tenido en cuenta: la relación de marchas. No siempre al reducir la velocidad se consiguen disminuciones del ruido, pues si esta reducción nos obligara, para el correcto funcionamiento del motor, a pasar a una marcha inferior, podríamos obtener el resultado contrario, es decir, el aumento de los niveles de ruido.

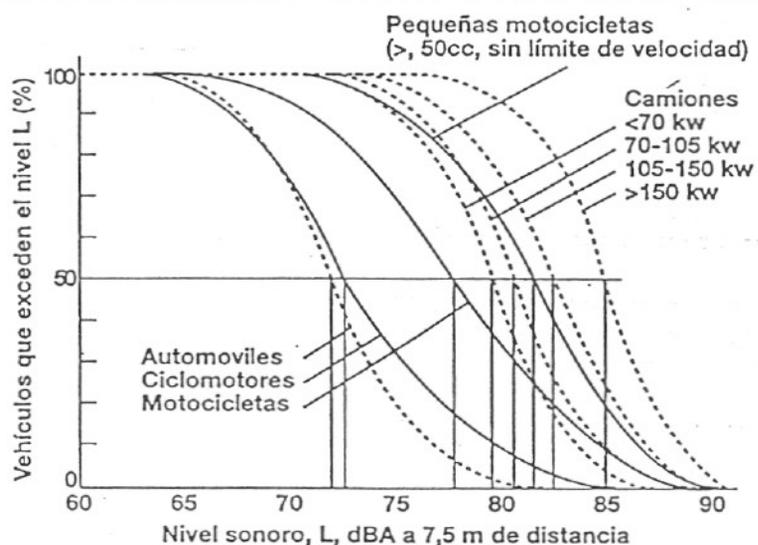
Ruido de rodadura

Es la fuente de ruido que preocupa más actualmente y por ello a la que se está dedicando mayor atención y más recursos en investigación.

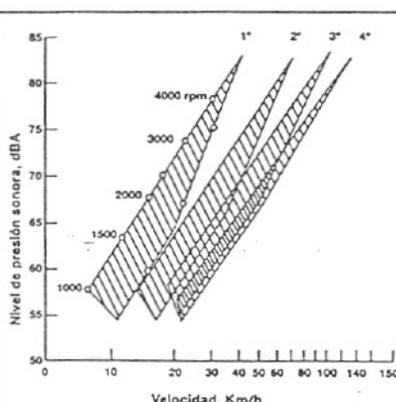
Los factores que influyen en la producción del ruido son: la velocidad del vehículo, que puede producir aumentos entre 9 y 13 dB(A) cada vez que se duplica aquella (la velocidad óptima y a la que resulta despreciable el ruido de rodadura por resultar englobado en el ruido total, es la de 30-



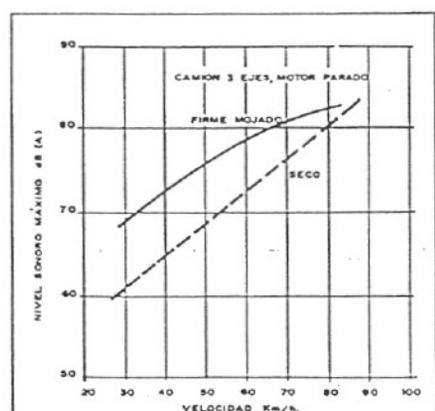
Espectros de ruido y banda de variación de los mismos, para vehículos pesados y ligeros



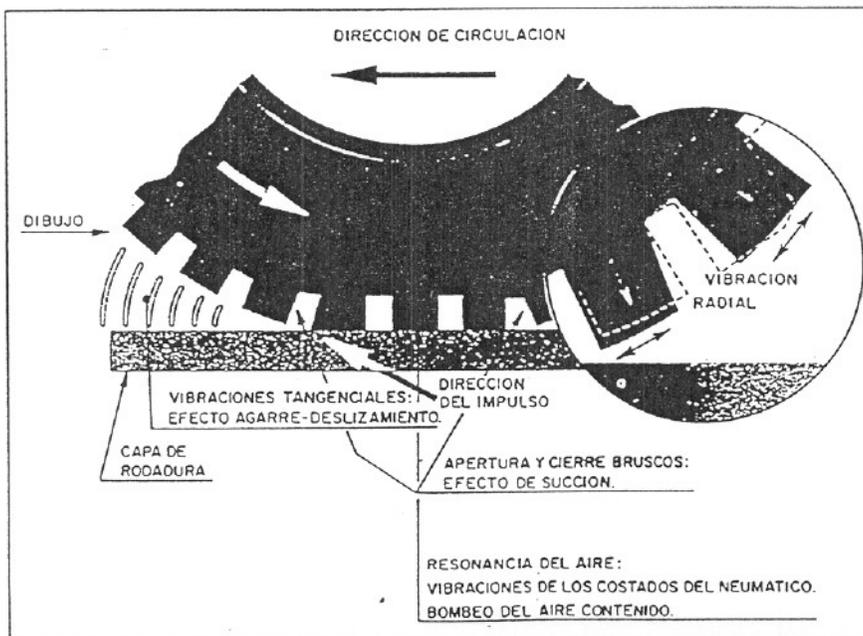
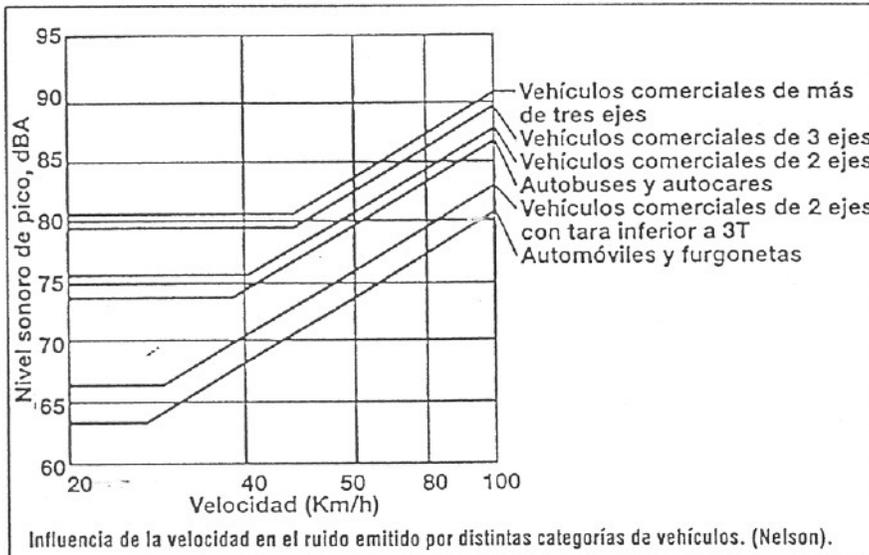
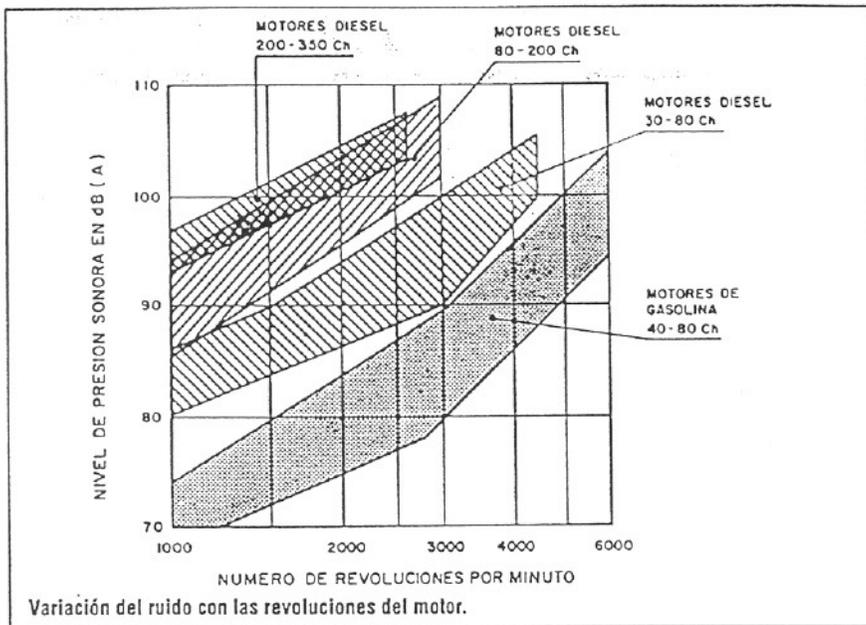
Distribución estadística de niveles sonoros de pico en dBA producidos por vehículos de diferentes categorías en condiciones de tráfico urbano. (Nelson).



Influencia de la relación de marchas en el ruido emitido por un automóvil de tipo medio. (Nelson).



Efecto del estado del firme en el ruido de los neumáticos.



50 km/h para vehículos ligeros y 40-70 km/h para pesados); la clase y dibujo del neumático; su estado de conservación, el desgaste tiende a hacerlo más ruidosos; la presión de inflado; y el tipo de pavimento y su estado: mojado, seco, degradado.

Todos estos factores actúan sobre el neumático que, en definitiva, es el elemento productor del ruido ocasionado por las vibraciones, golpeos, turbulencias aerodinámicas, etc.

De forma reducida pueden agruparse en tres tipos los mecanismos de acción:

- **Vibración radial:** Impactos mutuos entre la banda de rodadura y otros elementos del dibujo, y la textura de la superficie del pavimento.
- **Resonancia del aire:** Contenido en la cámara, por las vibraciones y compresiones transmitidas, y el situado entre el dibujo del neumático y la calzada, debidas a variaciones de la presión motivada por la apertura y el cierre brusco de dichos espacios. (Efecto de succión).
- **Agarre-deslizamiento:** Vibraciones tangenciales del neumático, por los efectos del agarre-deslizamiento sobre la calzada. (Efecto de rozamiento y adherencia).

Como se deduce del resumen anterior, las características de la superficie de rodadura tienen una influencia decisiva en los niveles de emisión de ruido producido en su contacto con los neumáticos, como se aprecia en el cuadro adjunto, y esta influencia irá creciendo conforme los fabricantes vayan consiguiendo reducir las otras fuentes de ruido del automóvil.

A nivel normativo, se sigue presionando a los fabricantes de automóviles para que reduzcan las emisiones sonoras producidas, fundamentalmente, por el escape a niveles mucho más bajos que los 77 dB(A) permitidos actualmente. La OCDE propone una reducción hasta los 75 dB(A) y en la CEE se hace sonar la cifra de 74 dB(A). El enorme esfuerzo que para los fabricantes va a significar conseguir esta reducción de las emisiones sonoras, puede resultar inútil al quedar el ruido de escape enmascarado por el de rodadura, salvo con el automóvil parado, en cuyo caso el ralentí no produce niveles de ruido altos.

La preocupación actual es conseguir pavimentos que, sin perder sus condiciones antiderrapantes, resulten menos ruidosos. Muchos pavimentos de grandes condiciones an-

Diferencias de nivel sonoro en dB(A), para diferentes tipos de revestimientos (experiencia belga)

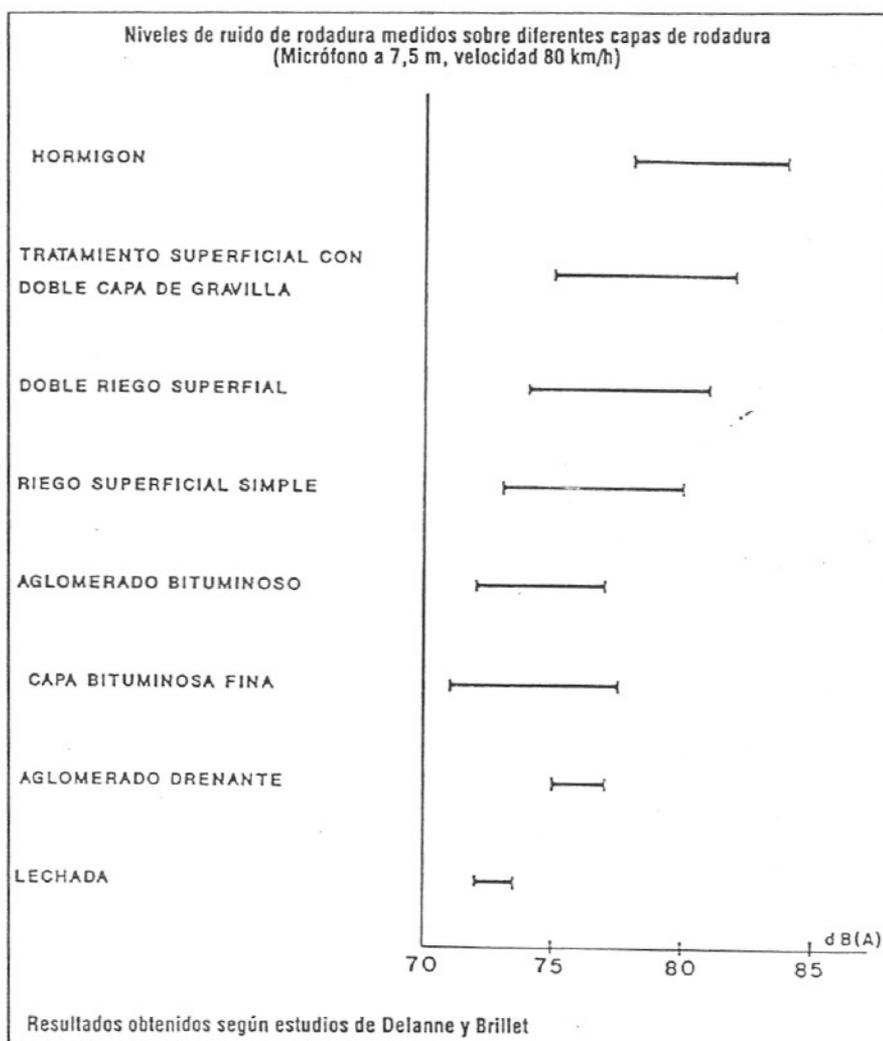
| Tipo de pavimento | Diferencias medias de nivel sonoro, en dB(A) | |
|---|--|----------|
| | Exterior | Interior |
| Pavimento clásico (nivel de referencia) | 0 | 0 |
| Mezclas abiertas | -2 | +1 |
| Pavimento de hormigón | +2 | +2 |
| Tratamientos superficiales | +2 | +3 |
| Pavimentos de hormigón con engravillado | +6 | +5 |
| Hormigón estriado transversalmente | +6 | +3 |
| Adoquinado | +7 | +16 |

tiderrapantes que habían sido instalados en épocas recientes tuvieron mala acogida entre los habitantes de las proximidades por los niveles elevados de ruido que producían, de tal forma que llegó a considerarse que el ruido era una consecuencia inevitable de las medidas de seguridad. La hipótesis de una relación directa entre el ruido de rodadura y las condiciones antiderrapantes fue analizada en más de una ocasión por diferentes investigadores en varios países, con resultados muy distintos, cuando no contradictorios.

El análisis del espectro de la textura muestra que la importancia del coeficiente de rozamiento transversal (CRT) viene determinada, principalmente, por las irregularidades de la superficie en longitudes de onda próximas a 10-20 mm. Esto ha sido confirmado por una serie de experiencias sobre una amplia gama de capas de rodadura, en las que se investigó la influencia que el calibre y el espaciado de los granulados de la superficie, tenía sobre la velocidad de evacuación del agua, bajo el efecto del contacto neumático-calzada, obteniéndose que la textura óptima correspondía a longitudes de onda entre 8 y 16 mm, en las que el ruido de rodadura no se veía influenciado.

El estudio de las relaciones entre el espectro de textura de la superficie y el espectro de ruido de un vehículo de ensayo (con el motor apagado) ha permitido determinar que el ruido de rodadura está relacionado con dos longitudes de onda de la textura críticas:

- Cuando las irregularidades de superficies de longitudes de onda próximas al valor crítico 80 mm, aumentan en amplitud, el ruido de rodadura, a igualdad de las demás circunstancias, aumenta. Este efecto se hace sentir principalmente en las bajas frecuencias (<1000 Hz) del espectro acústico.
- Cuando las irregularidades de superficie de longitudes de onda próximas al valor crítico de 3 mm aumentan en amplitud, el ruido



de rodadura disminuye. Este efecto se nota principalmente en las altas frecuencias (>1000 Hz) del espectro acústico.

Medida del ruido de rodadura

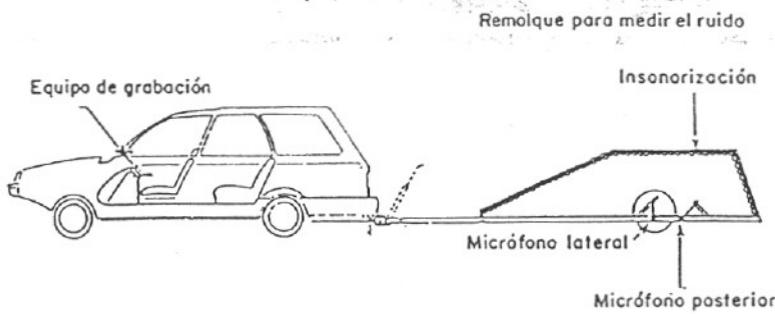
Existen tres métodos para medir el ruido de rodadura:

1. Un vehículo equipado con unos neumáticos de referencia es lanzado con el motor apagado y las ruedas libres, sobre el pavimento a investigar. El micrófono se sitúa a 7,5 m del eje del pase del ve-

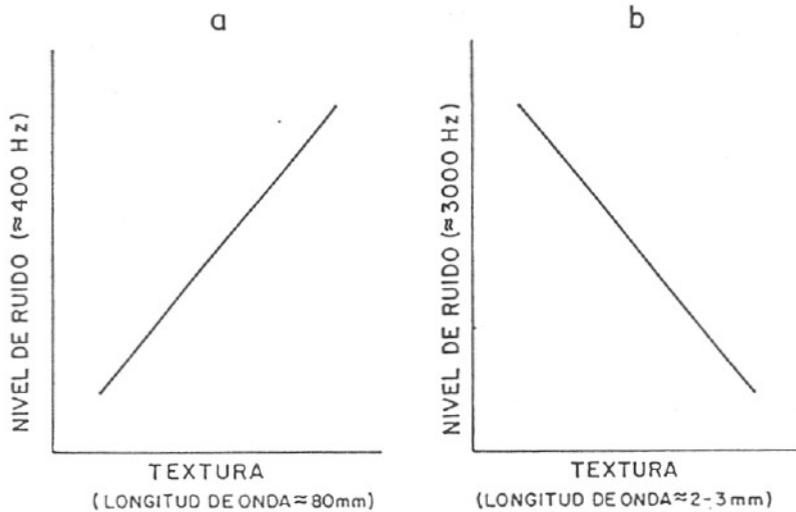
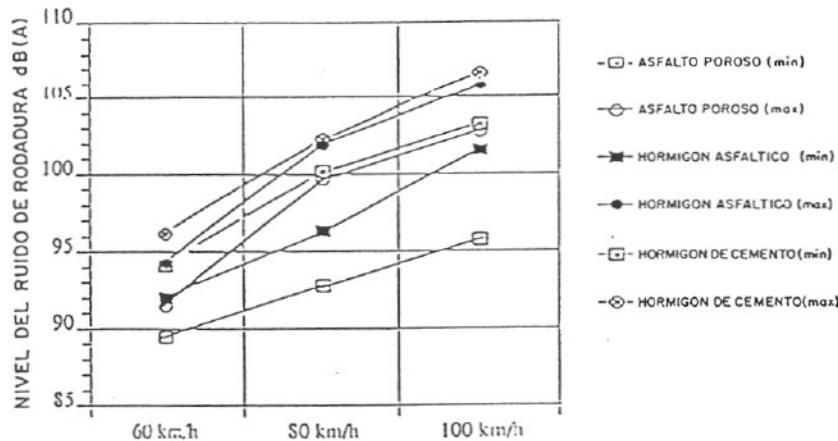
hículo y a 1,20 m de altura sobre el pavimento. Se suele medir el nivel sonoro máximo al paso del vehículo.

Ventajas: Compatibilidad con la norma ISO-362, que mide el ruido total de los vehículos. Carácter más realista que otros métodos. Simplicidad.

Inconvenientes: Necesidad de equipar al vehículo con juego completo de neumáticos de ensayo.



Resultado de los niveles de ruido obtenidos con el remolque sobre diferentes pavimentos



Relación entre el ruido de rodadura y la textura:
 a) Ruido en bajas frecuencias en textura de larga longitud de onda. (aprox. 80 mm).
 b) Ruido en altas frecuencias en textura de corta longitud de onda. (aprox. 2-3 mm).

Sensibilidad a condiciones ambientales: ruido de fondo, lluvias, viento, temperatura, reflexiones.

Necesidad de paralizar la restante circulación. Posible influencia del propio vehículo: suspensión, batalla, etc.

“ **L**a hipótesis de una relación directa entre el ruido de rodadura y las condiciones antiderrapantes fue analizada en más de una ocasión por diferentes investigadores en varios países, con resultados muy distintos, cuando no contradictorios. ”

Su carácter puntual (Brevidad de la señal, necesidad de repeticiones para alcanzar el margen de confianza, etc). Su lentitud.

- Un remolque especialmente construido (encapsulado y con paredes absorbentes) dotado de un neumático de referencia, es arrastrado, a velocidad constante, sobre el pavimento a investigar. El micrófono sujeto al chasis del remolque se sitúa en la proximidad del contacto del neumático con el pavimento.

Ventajas: Permite obtener el ruido medio sobre unas longitudes tan largas como deseemos (nivel de confianza y representatividad de los resultados). Permite efectuar rápidamente series importantes de ensayos en condiciones variadas. Sólo necesita un neumático de ensayo. Es, relativamente, insensible a las condiciones ambientales.

Inconvenientes: Carácter poco realista (proximidad del micrófono).

Problema de ruido de fondo no totalmente resuelto.

- Método del tambor: Una rueda equipada con un neumático de referencia se hace girar sobre la superficie interna o externa de un tambor en rotación.

La superficie del tambor se recubre de un pavimento que simule o sea igual, si ello es posible, al que se pretende investigar. El mi-

| TIPO DE VEHICULO | NUMERO | VELOCIDAD MEDIA (km) | NIVEL MAXIMO DE RUIDO dB (A) | | | | |
|------------------|---------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----|----|----|
| | | | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| LIGEROS | 336 | 104 | [Barra horizontal desde 75 hasta 85] | | | | |
| | 23 | 85 | [Barra horizontal desde 75 hasta 85] | | | | |
| | 49 | 92 | [Barra horizontal desde 80 hasta 85] | | | | |
| PESADOS | 66 | 84 | [Barra horizontal desde 85 hasta 90] | | | | |
| | 9 | 72 | [Barra horizontal desde 85 hasta 90] | | | | |
| | 1 | 54 | [Barra horizontal desde 85 hasta 90] | | | | |
| | 1 | 86 | [Barra horizontal desde 85 hasta 90] | | | | |
| | 51 | 90 | [Barra horizontal desde 85 hasta 90] | | | | |
| | 12 | 92 | [Barra horizontal desde 85 hasta 90] | | | | |
| | 5 | 89 | [Barra horizontal desde 85 hasta 90] | | | | |
| | 3 | 85 | [Barra horizontal desde 85 hasta 90] | | | | |
| | 10 | 84 | [Barra horizontal desde 85 hasta 90] | | | | |
| | LIGEROS | 408 | 101 | [Barra horizontal desde 75 hasta 85] | | | |
| PESADOS | 158 | 86 | [Barra horizontal desde 85 hasta 90] | | | | |
| TOTAL | 566 | 97 | [Barra horizontal desde 75 hasta 85] | | | | |

Aumento del nivel de ruido total, producido por diferentes tipos de vehículos al pasar de un pavimento drenante a otro de hormigón ranurado transversalmente. (micrófono a 7,5 mm).

crófono se sitúa en la proximidad de la zona de contacto.

Ventajas: Condiciones de ensayo perfectamente controladas.

Pueden realizarse series importantes de ensayos en condiciones variables.

Gran precisión. Los pequeños defectos pueden ser detectados.

Inconvenientes: Carácter poco realista (Proximidad del micrófono).

Influencia de la curvatura del tambor.

Dificultades para investigar el ruido de pavimentos reales.

Coste elevado de las instalaciones.

Pavimentos drenantes

Aunque en cierto modo fuera del tema que estamos tratando, pero dada su influencia sobre los niveles de ruido producidos por la circulación, por su interés y actualidad, vamos a tratar algunas características acústicas de los pavimentos porosos.

Se conocen con este nombre los pavimentos con estructura porosa, con una proporción de huecos elevada (20%) que, además de ser buenos drenantes del agua, tienen una alta capacidad de absorción del ruido, no sólo de los ruidos de rodadura sino también de los producidos por el motor del vehículo.

Se han realizado muchas comprobaciones con pavimentos porosos de diferentes espesores, factor que parece ser tiene una gran importancia en la capacidad de absorción (los franceses llegan a utilizar espesores de 50-60 cm); con pavimentos de mezclas de diferentes proporciones, etc.

Los resultados obtenidos en relación con los pavimentos clásicos densos, para un vehículo ligero aislado, es de una reducción de 0 a 6 dB(A), según un estudio belga, y hasta 9 dB(A) según otro sueco, a velocidades comprendidas entre 40 y 120 km/h. Los italianos han obtenido reducciones de 4,5 dB(A).

Las reducciones de ruido obtenidos por los ingleses para circulación fluida a 70 km/h, analizando 16 revestimientos diferentes de este tipo, permiten atribuir reducciones de 4

dB(A) para vehículos ligeros y de 3 dB(A) para los pesados.

En Bélgica plantearon también de otra forma estas investigaciones. Realizaron comprobaciones directas entre el nivel de ruido producido por vehículos de todo tipo, pasando de un pavimento poroso a otro de cemento estriado transversalmente. Para ello se instalaron micrófonos en cada uno de los dos pavimentos. Se han obtenido así incrementos medios en los niveles de ruido, del orden de 9 dB(A) para vehículos ligeros y de 5 dB(A) para los pesados.

En tiempo de lluvia los drenantes conservan, en parte, su capacidad de absorción del ruido. Con pavimento mojado se han obtenido incrementos de 4 dB(A) en los pavimentos densos, mientras que en los drenantes fueron sólo de 1,5 a 2,5 dB(A).

También con los vehículos parados y el motor en marcha se obtienen reducciones del ruido del motor, del orden de 3 dB(A).

Pero los pavimentos drenantes sufren variaciones en sus características de absorción con el paso del tiempo, debido a la obturación de los huecos, lo que reduce esta capacidad, pudien-

66

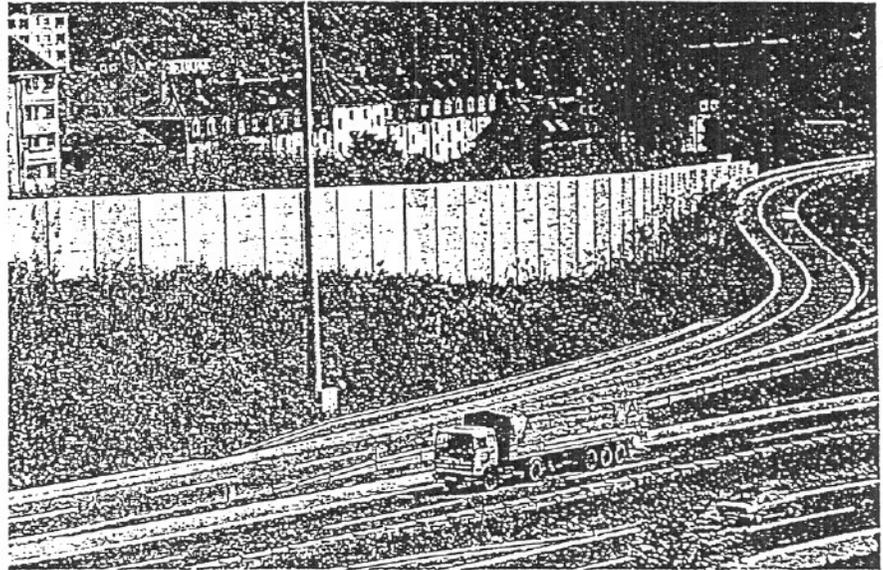
Este efecto de colmatación que, en general, se presenta en todos los pavimentos porosos con el paso del tiempo, impide el drenaje correcto y con ello desaparecen todas las ventajas de este tipo de pavimentos. 99

do llegar incluso a anularla.

En Gotemburgo (Suecia), se realizaron mediciones durante los años 1981 a 1983, en la E-3, obteniéndose reducciones de 4,8 dB(A) en el primer año, con relación a los viejos pavimentos densos. Cuando se repitieron las medidas en 1982 la reducción del ruido sólo era de 2 dB(A). Un año después la reducción era nula. Este resultado decepcionante lo atribuyen los suecos al uso excesivo de neumáticos con clavos que favorecen la colmatación de los huecos y su apelmazamiento, e impiden el efecto de succión que, en muchos casos, ejercen los neumáticos.

Este efecto de colmatación que, en general, se presenta en todos los pavimentos porosos con el paso del tiempo, impide el drenaje correcto y con ello desaparecen todas las ventajas de este tipo de pavimentos.

Este problema ha preocupado mucho y por ello todos los países se han dedicado a buscar soluciones. En 1990, en Francia, han ensayado con



En la foto se aprecia que se tuvo muy en cuenta el ruido y el aislamiento de la misma.

éxito la renovación de los arcenes totalmente sucios y colmatados, mediante termoreciclaje.

También se han diseñado aparatos de limpieza de gran capacidad, como el que aparece en la figura. (H. Tarlirz).

La limpieza se realiza mediante un sistema de aspiración, ya que el proyectar agua a alta presión no haría otra cosa que desplazar la suciedad hacia capas más profundas.

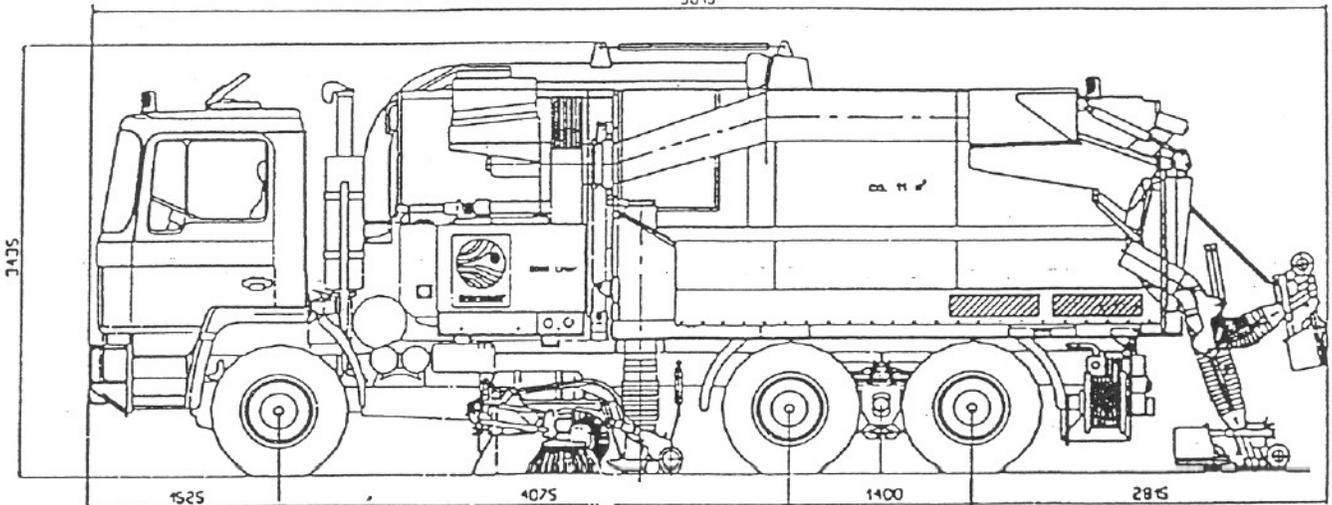
El sistema consiste en una barra de lavado y aspiración de 2,5 m de longitud, situada en la parte posterior de un vehículo. La presión máxima de trabajo es de 110 bares y el gasto máximo de agua 90 litros por minuto. Se recupera, con la aspiración, un 75% del agua utilizada, que es reciclada y purificada mediante sistema de hidrociclones y filtros. La suciedad contenida en el agua es así concentrada y recogida en depósitos,

lo que permite su posterior eliminación de forma controlada y sin peligros para el medio ambiente.

El sistema cuenta también con un dispositivo para la limpieza y recuperación de aceites minerales que puedan haber sido vertidos en accidentes. Para ello cuenta con una barra de riego situada delante. El ligante proyectado por ella es introducido en la capa contaminada mediante una escoba giratoria situada en el centro del vehículo y, posteriormente, recogido por el sistema de lavado y aspiración de la parte posterior.

Los rendimientos obtenidos varían entre 1 y 7 km/hora, según el grado de colmatación del pavimento. En las limpiezas realizadas en el otoño de 1990, en Austria, a una velocidad media de trabajo de 5 km/h, en una sola pasada, se consiguió una mejora del drenaje entre un 20 y un 30%. Ello representó un rendimiento

9815



Sistema de limpieza de pavimentos drenantes.

“**C**omo resumen de todo lo dicho sobre la amortiguación del ruido por los pavimentos drenantes, podemos asignarles una reducción entre 4 y 7 dB(A) para el producido por los vehículos ligeros y de 3 a 5 dB(A) para el de los pesados.”

de 12 500 m²/hora y el costo resultante fue de 4,5 pts. por m².

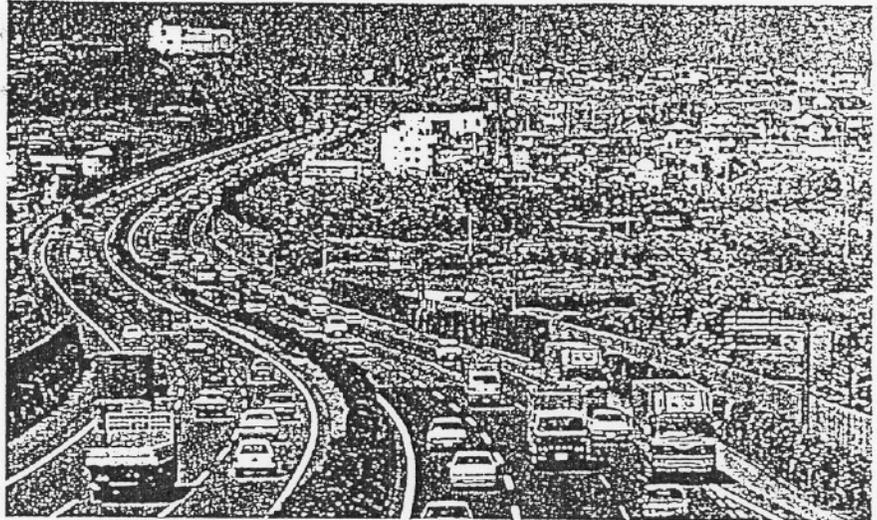
El objetivo es, por tanto, mantener en el pavimento la máxima capacidad de drenaje. Con ello se consigue evitar situaciones de aquaplaning; la nebulización producida por el vehículo que nos precede; disminuir el ruido de rodadura y que éste tenga una componente mayor en frecuencias bajas, que resultan las menos molestas; evitar el reflejo de los faros sobre el pavimento mojado, etc. Otras ventajas, en caso de accidente, son que el carburante derramado se inflama más difícilmente y se apaga más rápidamente.

Como resumen de todo lo dicho sobre la amortiguación del ruido por los pavimentos drenantes, podemos asignarles una reducción entre 4 y 7 dB(A) para el producido por los vehículos ligeros y de 3 a 5 dB(A) para el de los pesados.

Desde el punto de vista de los costes, los pavimentos porosos no tendrían por qué ser más caros si no fuese porque exigen la utilización de betunes modificados para conseguir una mayor cohesión entre las partículas.

Según H. Talirz, el mayor coste se ve compensado por una mayor duración de utilización del conjunto del revestimiento, y unos menores costes de mantenimiento. Considera una solución económicamente aceptable el recubrimiento de los pavimentos de hormigón instalados en Austria, sobre todo en las secciones sometidas a fuertes sollicitaciones, con capas de rodadura drenantes.

Aun cuando su coste sea algo más elevado, del orden de un 15 a un 20% que el de la mezcla convencional, como el espesor es de 4 a 5 cm, el incremento de presupuesto no es significativo en relación con el coste total del firme, en obra de nueva construcción.



Con el distanciamiento de la traza se consiguen disminuciones de 3 dB(A).

Actualmente, se están investigando también pavimentos porosos de cemento, lo que podría mejorar, apreciablemente, las condiciones acústicas de estos pavimentos.

Medidas correctoras

No me voy a referir a los sistemas de protección que dificultan la transmisión del ruido, tales como las pantallas o los diques de tierra, ni tampoco a las medidas de planeamiento que van desde la orientación de los edificios a su distribución interior, sino que voy a esbozar algunas medidas de diseño, y otras posteriores, basadas en las propiedades de las fuentes de ruido del tráfico y en su transmisión:

En la fase de diseño:

- La elección del trazado (Deprimido, pendientes, curvas, etc).

- El distanciamiento de la traza. Se consiguen disminuciones de 3 dB(A) al duplicar la distancia a la fuente de ruido.
- La disposición en pendiente o rampa según la proximidad al núcleo habitado.
- La utilización de pavimentos poco ruidosos.

Según propiedades de los sonidos:

- Concentrar el tráfico en pocas vías, si la capacidad de éstas lo permiten.
- Proyectar las vías principales por las zonas con niveles de ruido más elevados.

En zonas urbanas:

- Limitar la velocidad.
- Sincronizar semáforos.
- Supresión nocturna del funcionamiento de los semáforos.



Concentrar el tráfico en pocas vías, si la capacidad de éstas lo permiten.