

Influencia del pavimento y de las Condiciones de Circulación

Profesor F. E. Pérez-Jiménez
Catedrático de Caminos
Universidad Politécnica de Cataluña

1. Introducción

De todos es conocido que el ruido, aunque no sea la consecuencia más nefasta del tráfico si es la primera y principal molestia que señalan las personas que tienen sus viviendas próximas a una vía de circulación. Lo que ya no es tan de dominio común es el hecho de que el ruido de rodadura sea una de las fuentes emisoras más importantes e incluso, y en según que condiciones, la mayor de todas.

Tampoco suele ser excesivamente conocido, aun entre técnicos especialistas en el diseño de pavimentos, el enorme efecto que el tipo de pavimento tiene sobre el ruido de rodadura y sobre el ruido total producido por la circulación de los vehículos. Durante todos estos últimos años hemos estado preocupados por construir pavimentos duraderos y seguros sin preocuparnos mucho del ruido. Es más, se suponía que la mejora de la seguridad llevaba consigo un aumento notable del ruido de rodadura y se primaba aquella frente

a las posibles molestias a conductores y rivereños.

Sin embargo, la técnica de carreteras interesada cada día más de los aspectos ambientales relacionado con el tráfico ha conseguido de alguna manera romper

esta dicotomía y desarrollar pavimentos que resultan al mismo tiempo más seguros y menos ruidosos.

Tanto las características acústicas como de seguridad y comodidad de un pavimento residen en su capa de rodadu-

<u>DOMINIO</u>	<u>RANGO DE DIMENSIONES (aprox.)</u>		
	Horizontal	Vertical	
<u>MICROTEXTURA</u>	0 - 0,5 mm	0 - 0,2 mm	
<u>MACROTEXTURA</u>	0,5 - 50 mm	0,2 - 10 mm	
<u>MEGATEXTURA</u>	50 - 500 mm	1 - 50 mm	
<u>LISURAS</u>	ONDAS CORTAS	0,5 - 5 mm	1 - 20 mm
	ONDAS MEDIAS	5 - 15 mm	5 - 50 mm
	ONDAS LARGAS	15 - 50 mm	10 - 200 mm

Figura 1.- Clasificación de las irregularidades superficiales de un pavimento (AIPCR).

ra. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

- la adherencia del neumático al firme
- el ruido producido por el paso de los vehículos
- el ruido en el interior del vehículo
- las proyecciones de agua en tiempo de lluvia
- la resistencia a la rodadura (consumo de carburante)
- las propiedades ópticas
- el desgaste de los neumáticos
- el envejecimiento de los vehículos.

Estos aspectos funcionales del firme están principalmente asociados con la textura y regularidad superficial del pavimento, en definitiva, con sus características superficiales.

2. Características superficiales de los pavimentos

Las características superficiales de los pavimentos son clasificadas en ondas

de distintas longitud de acuerdo con su incidencia en las propiedades funcionales del firme.

Se distingue en primer lugar, figura 1, las irregularidades menores de 0,5 mm, microtextura, de las que depende fundamentalmente la adherencia neumático-pavimento en todas las circunstancias. Influyen también en el desgaste de los neumáticos y en el ruido de rodadura, sobre todo, en las altas frecuencias. La microtextura de un pavimento es función de la textura superficial de los áridos y del mortero empleado.

La macrotextura, irregularidades del pavimento entre 0,5 y 50 mm, es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento a velocidad media y elevada con pavimento mojado. Las irregularidades superficiales del pavimento, al igual que el dibujo de los neumáticos, facilitan la rápida evacuación del agua que se interpone al contacto neumático pavimento cuando éste está mojado.

Además, la macrotextura es necesaria para mantener en seco y a altas velocidades una adecuada resistencia al deslizamiento. Esta resistencia es suma, por una parte, de la adherencia molecular que se

produce entre el neumático y el firme en la zona de contacto, y por otra, de la adherencia por histéresis debido a la deformación del neumático. Al aumentar la velocidad, la adherencia molecular disminuye al disminuir la zona de contacto y, entonces, es importante conseguir una elevada adherencia por histéresis que depende fundamentalmente de la microtextura del pavimento.

Los resultados obtenidos en la medida de la resistencia al deslizamiento indican, figura 2, que a bajas velocidades, inferiores a 50 Km/h, el coeficiente de resistencia al deslizamiento depende en todas las circunstancias, incluso con agua, de las asperezas del pavimento, microtextura. Por contra, para conseguir mantener una adecuada resistencia al deslizamiento a altas velocidades y en presencia de agua es necesario dotar al pavimento de una elevada macrotextura. El fenómeno de hidroplaneo se produce en pavimentos de macrotextura rugosa con espesores de agua superiores a 5 mm y a altas velocidades, mientras que en pavimentos de macrotextura lisa es posible que se produzca el fenómeno de hidroplaneo con espesores de 1 mm y una velocidad de 90 Km/h.

Por lo tanto una superficie rugosa y a su vez áspera sería por motivos de seguridad la más adecuada para vías urbanas en las que se circula a cierta velocidad; caso por ejemplo de la Diagonal o de los Cinturones de Ronda.

Por contra, el dotar a un pavimento de alta macrotextura suele repercutir desfavorablemente sobre el ruido de rodadura, aunque su efecto varíe, como veremos más adelante con el tipo de macrotextura.

La macrotextura de un pavimento depende en el caso de los firmes bituminosos del tamaño y porcentaje del árido grueso empleado. La macrotextura de los pavimentos de hormigón está relacionada con la técnica empleada en su acabado (estriado longitudinal o transversal, denuddado, engravillado, etc.).

La siguiente gama de ondas que se consideran son las de 50 a 500 mm, megatextura, que corresponden a las irregu-

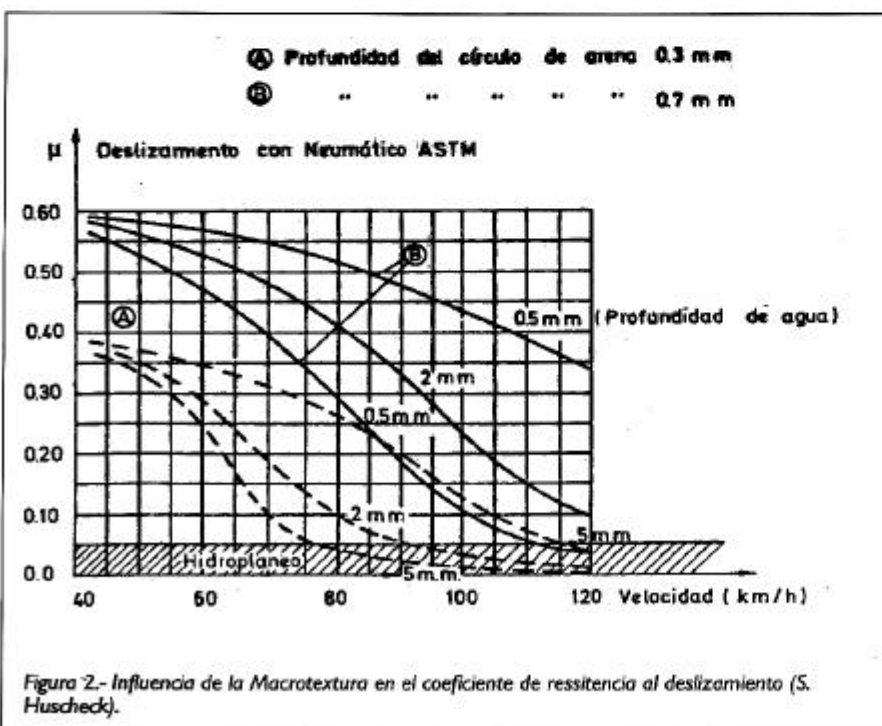


Figura 2.- Influencia de la Macrotextura en el coeficiente de resistencia al deslizamiento (S. Huscheck).

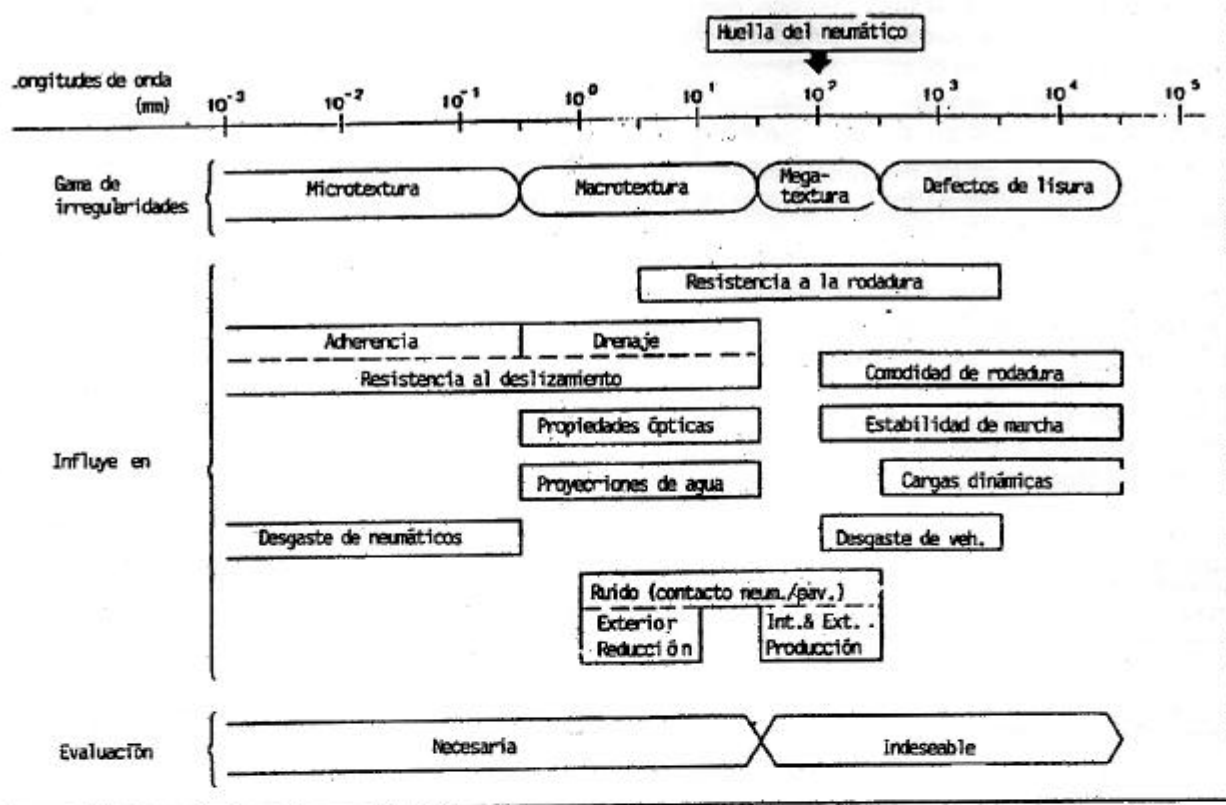


Figura 3.- Influencia de las irregularidades del firme en sus características funcionales (Comité Características Superficiales, AIPCR).

laridades de tipo intermedio relacionadas con una mala ejecución, fallos superficiales, o las reparaciones de éstos. También aparecen este tipo de irregularidades en los pavimentos de adoquín, sobre todo, a medida que se van deformando.

Esta gama de irregularidades es desde todos los puntos de vista indeseable y se debe evitar en vías rápidas con tráfico importante. Aumentan la resistencia a la rodadura, las oscilaciones y vibraciones en el movimiento de los vehículos y también el ruido de rodadura, en especial, en las bajas frecuencias.

Por último, están los defectos de fisura, que son las irregularidades de longitud de onda mayor de medio metro. Dentro de estas irregularidades se suelen distinguir tres tipos de ondas: ondas cortas, de 0,5 a 5 m, ondas medias, de 5 a 15 m y ondas largas, de 15 a 50 m. En

pavimentación urbana sólo nos tendremos que preocupar de las dos primeras, las últimas sólo tienen sentido considerarlas en autopistas o vías de largo recorrido por el efecto de somnolencia que producen en el conductor.

Las irregularidades de onda corta y media afectan a la comodidad de la rodadura, aumentan el consumo de combustible, influyen en la estabilidad de los vehículos y, sobre todo, aumentan el ruido de los camiones y vehículos pesados al oscilar, chocar, o entrar en vibración alguno de sus componentes: caja, cabina, remolque, o los materiales que transportan.

Los defectos de fisura son debidos al igual que en el caso anterior a una mala ejecución o, bien, son efectos que van apareciendo en el firme a medida que éste se va deformando y envejeciendo.

De todos modos, como en el caso anterior, son indeseables y deben ser evitados durante su ejecución y eliminados durante su vida de servicio.

A modo de resumen se incluye en el cuadro de la figura 3 la gama de irregularidades que pueden presentarse en un pavimento, su efecto sobre las características funcionales del pavimento y su valoración.

3. el ruido y la optimización de las características superficiales de los pavimentos

De lo anteriormente expuesto parece observarse una dicotomía entre ruido y las características antiderrapantes de los pavimentos. Para conseguir mantener con lluvia y/o a altas velocidades una adecua-

da resistencia al deslizamiento es necesario emplear una superficie de rodadura rugosa que resulta en general ruidosa. Digo en general, porque la técnica de carreteras mediante un estudio más profundo de los mecanismos generadores del ruido de rodadura ha conseguido romper esta dicotomía y ofrecen al usuario pavimentos al mismo tiempo seguros y silenciosos.

El ruido del tráfico de los vehículos, en especial el ruido de rodadura, es uno de los temas que desde el año 1979 está abordando continuamente el Comité de Características Superficiales de la AIPCR en los Congresos Mundiales de Carreteras. Esta asociación está dividida en comités respon-

sables de los diferentes aspectos de la construcción, mantenimiento y gestión de los firmes de carreteras. El primero de ellos y el más antiguo es precisamente el de características superficiales.

La primera constatación de este comité es el hecho de la importancia que va adquiriendo el ruido de rodadura frente a las otras fuentes emisoras de ruido, en particular del ruido motor. Para los coches europeos actuales el ruido de rodadura es predominante para velocidades de 50-60 Km/h y para vehículos pesados por encima de los 60-80 Km/h, tabla 1. Con un aspecto importante a considerar, que así como la industria del automóvil esta realizando en esta década verdade-

ros esfuerzos para reducir en 5-10 dB (A) el ruido total emitido por los vehículos, apenas se han tomado medidas en el campo de la pavimentación urbana, lo cual va a convertir el ruido de rodadura en la principal fuente emisora.

Diferentes autores han puesto de manifiesto de notable influencia que sobre el ruido de rodadura tiene el tipo de pavimento. Existiendo diferencias hasta de más de 15 dB (A) entre los pavimentos de hormigón y los pavimentos drenantes, figura 4. (Descornet 1988).

Los más ruidosos han resultado algunos tipos de pavimento de hormigón, los terminados con ranurado transversal. Dentro de este tipo de pavimento se observan muy fuertes variaciones, de 76 a 85 dB (A), aunque con niveles más bien altos en todos los casos.

Al mismo nivel que los pavimentos más ruidosos de hormigón están los pavimentos de adoquín, 80-84 dB (A), y con pequeñas variaciones del nivel sonoro entre ellos.

A continuación se encuentran los pavimentos bituminosos tradicionales: tratamientos superficiales (riegos con grava) y mezcla bituminosa. Con niveles de

VELOCIDAD DE VEHICULOS (KM/H)	CATEGORIA DE VEHICULO	NIVELES DE RUIDO		
		RODADURA	MOTOR	TOTAL
20	PESADO	61	78	78
	LIGERO	58	64	65
80	PESADO	79	85	86
	LIGERO	76	74	78

Tabla 1.- Niveles de ruido de rodadura y del ruido del motor en vehículos ligeros y pesados a distintas velocidades (TRRL).

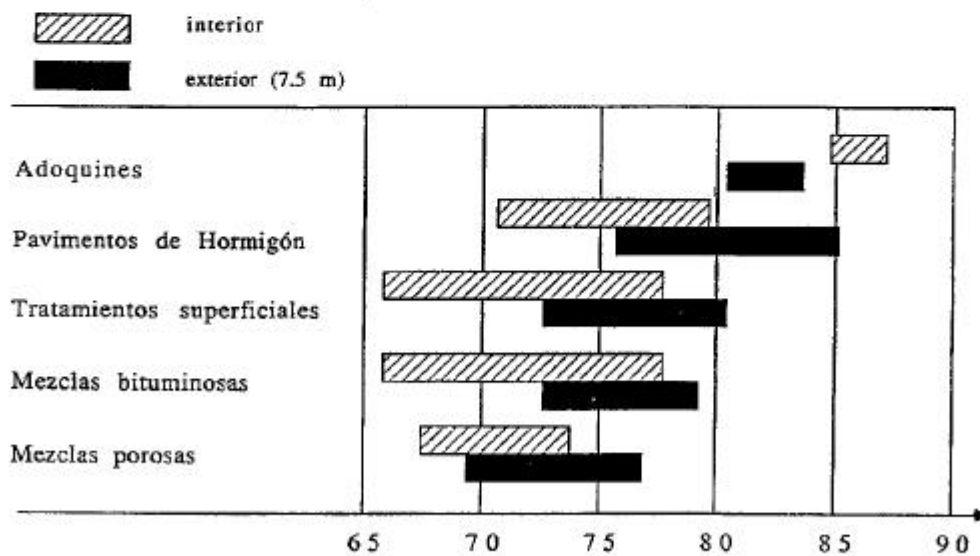


Figura 4.- Medida el ruido de rodadura en diferentes tipos de pavimentos (Descornet, 1988).

sonoridad bastante diferente entre ellos, 72-80 dB (A), dependiendo de su rugosidad.

Por último y como pavimentos más silenciosos, 69-77 dB (A), aparecen las capas de rodadura drenantes, desarrolladas y empleadas en estos últimos años con el fin mejorar la seguridad y las condiciones de circulación con lluvia en vías rápidas.

En todos los casos se observa que existe una gran variación del nivel sonoro. Esto ha llevado a estudiar más detenidamente los mecanismos que producen el ruido con objeto de optimizar las características acústicas de los pavimentos.

En el caso de los pavimentos densos estos estudios han mostrado, (Sandberg, 1980), que el ruido de rodadura está asociado con dos longitudes de onda críticas de las irregularidades superficiales del firme.

- por una parte, las irregularidades de longitud de onda próxima a 80 mm. Al aumentar la amplitud de este tipo de irregularidades aumenta el ruido de rodadura, sobre todo a bajas frecuencias
- por contra, cuando las irregularidades de longitud de onda próximas a 3 mm aumentan en amplitud disminuye el ruido de rodadura a bajas frecuencias (<1000Hz)

Respecto al comportamiento frente al ruido de los aglomerados porosos, parece que existe una clara relación entre el producto del porcentaje de poros por el espesor de capa y la disminución de ruido de un aglomerado poroso frente a uno denso convencional (Descomet 1988), fig. 5.

$$\Delta L = 0,005 \text{ n.e.}$$

donde:

ΔL = disminución de nivel sonoro equivalente, en dB (A)

n = porosidad de la mezcla, en %

e = espesor de capa en mm

Esto quiere decir que se puede obtener una reducción significativa de ruido del orden de 4 dB (A) si empleamos una capa drenante de 4 cm de espesor y un porcentaje de huecos superior al 20%.

Nivel de ruido de rodadura a 80 Km/h

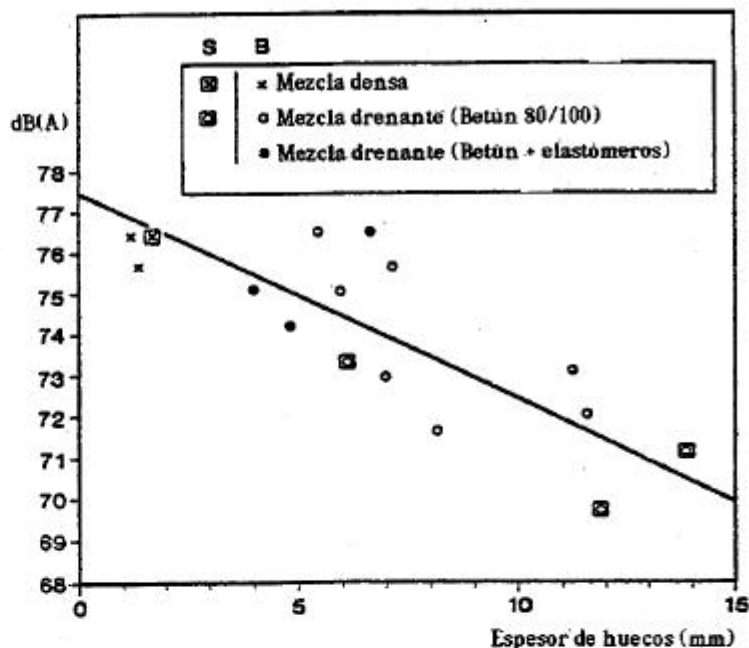


Figura 5.- Relación entre el espesor equivalente de huecos y el ruido de rodadura (Descomet, 1988).

4. Capas de rodadura drenantes. experiencia española

Las capas de rodadura drenante se empezaron a emplear en nuestro país en el año 80. Este año se construyó un tramo experimental en la provincia de Santander, en la N-634, con objeto de valorar el efecto de este tipo de pavimento sobre las condiciones de circulación con lluvia. Estos tramos sirvieron para poner de manifiesto las ventajas de estas capas de rodadura, cada vez más utilizadas en nuestro país, donde se ha desarrollado una tecnología propia que está siendo seguida por otros países europeos. En estos momentos somos pioneros en esta técnica por los metros cuadrados extendidos, por la experiencia de nuestras empresas constructoras y por la metodología desarrollada para su dosificación y control.

En esencia, las capas de rodadura drenantes consiste en colocar en los 3-5 centímetros superiores del firme una mezcla porosa con el fin de eliminar el agua caída sobre la superficie del firme y facilitar el contacto neumático-pavimento con lluvia, figura 6. Se pretendía con ella eliminar el problema de hidroplaneo y aumentar la seguridad de la circulación con lluvia en vías rápidas.

Pero además de este efecto importantísimo, las capas drenantes han puesto de manifiesto otras propiedades no menos remarcables:

- disminuyen el ruido de rodadura
- absorben las otras fuentes de ruido (motor, escape, carrocería...)
- disminuyen el ruido en el interior del vehículo
- eliminan el agua salpicada y pulverizada
- mejoran la visibilidad con pavimento mojado

da resistencia al deslizamiento es necesario emplear una superficie de rodadura rugosa que resulta en general ruidosa. Digo en general, porque la técnica de carreteras mediante un estudio más profundo de los mecanismos generadores del ruido de rodadura ha conseguido romper esta dicotomía y ofrecen al usuario pavimentos al mismo tiempo seguros y silenciosos.

El ruido del tráfico de los vehículos, en especial el ruido de rodadura, es uno de los temas que desde el año 1979 está abordando continuamente el Comité de Características Superficiales de la AIPCR en los Congresos Mundiales de Carreteras. Esta asociación está dividida en comités respon-

sables de los diferentes aspectos de la construcción, mantenimiento y gestión de los firmes de carreteras. El primero de ellos y el más antiguo es precisamente el de características superficiales.

La primera constatación de este comité es el hecho de la importancia que va adquiriendo el ruido de rodadura frente a las otras fuentes emisoras de ruido, en particular del ruido motor. Para los coches europeos actuales el ruido de rodadura es predominante para velocidades de 50-60 Km/h y para vehículos pesados por encima de los 60-80 Km/h, tabla 1. Con un aspecto importante a considerar, que así como la industria del automóvil esta realizando en esta década verdade-

ros esfuerzos para reducir en 5-10 dB (A) el ruido total emitido por los vehículos, apenas se han tomado medidas en el campo de la pavimentación urbana, lo cual va a convertir el ruido de rodadura en la principal fuente emisora.

Diferentes autores han puesto de manifiesto de notable influencia que sobre el ruido de rodadura tiene el tipo de pavimento. Existiendo diferencias hasta de más de 15 dB (A) entre los pavimentos de hormigón y los pavimentos drenantes, figura 4. (Descornet 1988).

Los más ruidosos han resultado algunos tipos de pavimento de hormigón, los terminados con ranurado transversal. Dentro de este tipo de pavimento se observan muy fuertes variaciones, de 76 a 85 dB (A), aunque con niveles más bien altos en todos los casos.

Al mismo nivel que los pavimentos más ruidosos de hormigón están los pavimentos de adoquín, 80-84 dB (A), y con pequeñas variaciones del nivel sonoro entre ellos.

A continuación se encuentran los pavimentos bituminosos tradicionales: tratamientos superficiales (riegos con gravilla) y mezcla bituminosa. Con niveles de

VELOCIDAD DE VEHICULOS (KM/H)	CATEGORIA DE VEHICULO	NIVELES DE RUIDO		
		RODADURA	MOTOR	TOTAL
20	PESADO	61	78	78
	LIGERO	58	64	65
80	PESADO	79	85	86
	LIGERO	76	74	78

Tabla 1.- Niveles de ruido de rodadura y del ruido del motor en vehículos ligeros y pesados a distintas velocidades (TRRL).

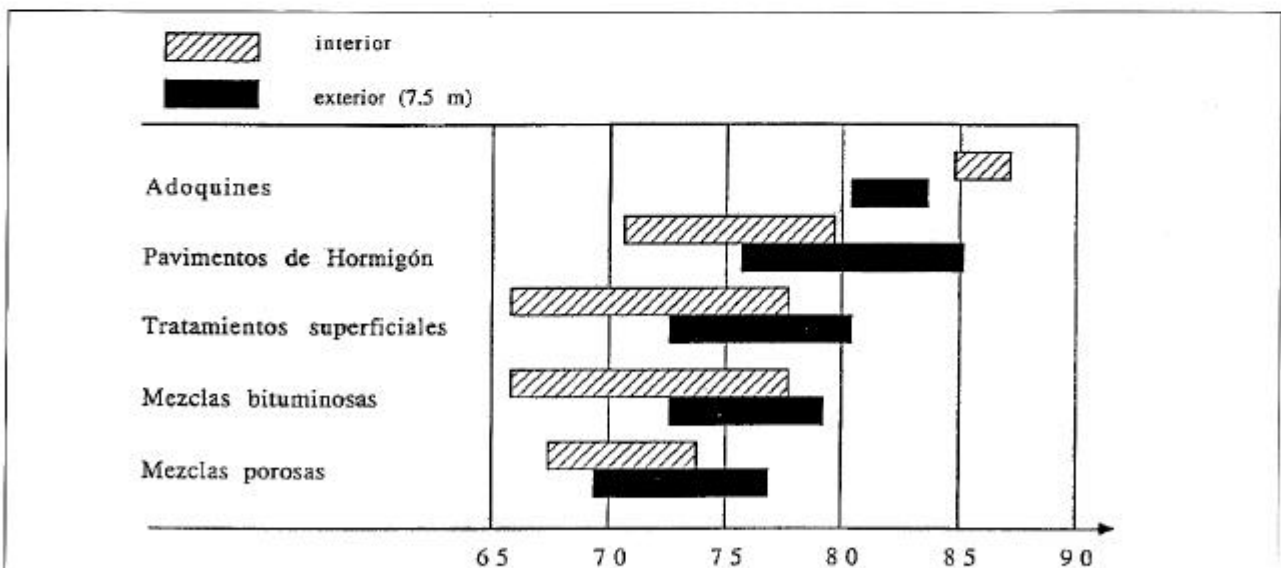


Figura 4.- Medida del ruido de rodadura en diferentes tipos de pavimentos (Descornet, 1988).

sonoridad bastante diferente entre ellos, 72-80 dB (A), dependiendo de su rugosidad.

Por último y como pavimentos más silenciosos, 69-77 dB (A), aparecen las capas de rodadura drenantes, desamolladas y empleadas en estos últimos años con el fin mejorar la seguridad y las condiciones de circulación con lluvia en vías rápidas.

En todos los casos se observa que existe una gran variación del nivel sonoro. Esto ha llevado a estudiar más detenidamente los mecanismos que producen el ruido con objeto de optimizar las características acústicas de los pavimentos.

En el caso de los pavimentos densos estos estudios han mostrado, (Sandberg, 1980), que el ruido de rodadura está asociado con dos longitudes de onda críticas de las irregularidades superficiales del firme.

- por una parte, las irregularidades de longitud de onda próxima a 80 mm. Al aumentar la amplitud de este tipo de irregularidades aumenta el ruido de rodadura, sobre todo a bajas frecuencias
- por contra, cuando las irregularidades de longitud de onda próximas a 3 mm aumentan en amplitud disminuye el ruido de rodadura a bajas frecuencias (<1000Hz)

Respecto al comportamiento frente al ruido de los aglomerados porosos, parece que existe una clara relación entre el producto del porcentaje de poros por el espesor de capa y la disminución de ruido de un aglomerado poroso frente a uno denso convencional (Descornet 1988), fig. 5.

$$\Delta L = 0,005 n \cdot e$$

donde:

ΔL = disminución de nivel sonoro equivalente, en dB (A)

n = porosidad de la mezcla, en %

e = espesor de capa en mm

Esto quiere decir que se puede obtener una reducción significativa de ruido del orden de 4 dB (A) si empleamos una capa drenante de 4 cm de espesor y un porcentaje de huecos superior al 20%.

Nivel de ruido de rodadura a 80 Km/h

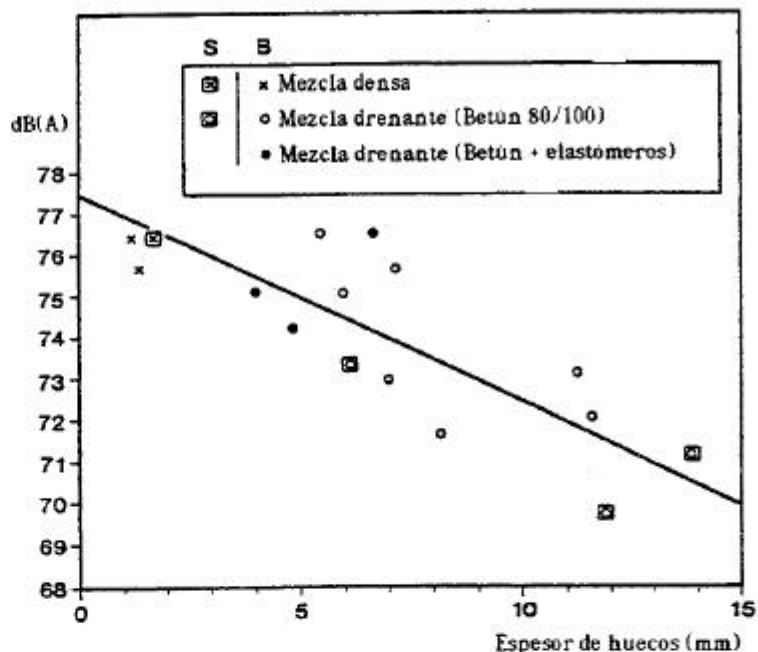


Figura 5.- Relación entre el espesor equivalente de huecos y el ruido de rodadura (Descornet, 1988).

4. Capas de rodadura drenantes. experiencia española

Las capas de rodadura drenante se empezaron a emplear en nuestro país en el año 80. Este año se construyó un tramo experimental en la provincia de Santander, en la N-634, con objeto de valorar el efecto de este tipo de pavimento sobre las condiciones de circulación con lluvia. Estos tramos sirvieron para poner de manifiesto las ventajas de estas capas de rodadura, cada vez más utilizadas en nuestro país, donde se ha desarrollado una tecnología propia que está siendo seguida por otros países europeos. En estos momentos somos pioneros en esta técnica por los metros cuadrados extendidos, por la experiencia de nuestras empresas constructoras y por la metodología desarrollada para su dosificación y control.

En esencia, las capas de rodadura drenantes consiste en colocar en los 3-5 centímetros superiores del firme una mezcla porosa con el fin de eliminar el agua caída sobre la superficie del firme y facilitar el contacto neumático-pavimento con lluvia, figura 6. Se pretendía con ella eliminar el problema de hidropilano y aumentar la seguridad de la circulación con lluvia en vías rápidas.

Pero además de este efecto importantísimo, las capas drenantes han puesto de manifiesto otras propiedades no menos remarcables:

- disminuyen el ruido de rodadura
- absorben las otras fuentes de ruido (motor, escape, carrocería...)
- disminuyen el ruido en el interior del vehículo
- eliminan el agua salpicada y pulverizada
- mejoran la visibilidad con pavimento mojado

- mantienen elevada la resistencia al deslizamiento a altas velocidades
- disminuye la fatiga del conductor

En las siguientes figuras 7 y 8, se pueden observar las dificultades antes señaladas sobre la circulación con lluvia sobre un pavimento denso convencional y sobre una mezcla porosa. Disminuye totalmente el agua salpicada y pulverizada por el paso de los vehículos y también desaparece los fenómenos de reflexión de la luz. En conjunto, las condiciones de circulación con lluvia mejoran considerablemente con lo que la tensión a la que está sometida el conductor disminuye, se fatiga menos, lo que repercute notablemente en reducir el número de accidentes.

Por otra parte, los pavimentos drenantes tienen un efecto sobre la circulación que es importante de señalar cuando se trata de pavimentación urbana. Normalmente se produce una reducción importante de la capacidad de las vías urbanas en tiempo de lluvia, pero esto se puede evitar, consiguiendo unas condiciones de circulación con lluvia similares a las de en seco en un pavimento convencional denso mediante el empleo de las mezclas porosas. Por otra parte, los pavimentos drenantes pueden tener un efecto laminador del agua de escurrimiento de un fuerte aguacero; el agua caída queda almacenada en su interior para ser evacuada poco a poco, evitando su rápida concentración en cunetas y sumideros.

El problema o inconveniente que pueden presentar estos pavimentos se refiere a su duración. Por una parte a su dura-

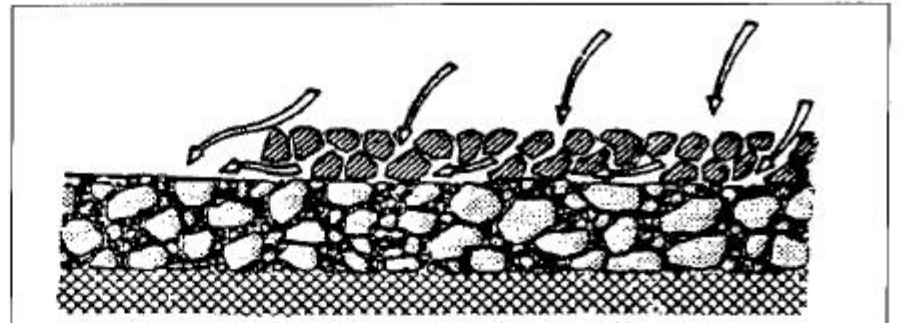


Figura 6.- Capas de rodadura drenantes (esquema).

ción física, a su resistencia para aguantar los esfuerzos tangenciales y de succión del tráfico, y por otra parte, a su duración funcional, el tiempo que la mezcla continuará siendo porosa sin que lleguen a cerrarse o a colmatarse sus poros.

En este sentido es muy interesante la experiencia española y las conclusiones a que se ha llegado del seguimiento y control de los tramos en servicio.

permeabilidad

La evolución de la permeabilidad ha sido medida durante más de 6 años en los tramos experimentales y se está llevando a cabo también periódicamente en otros tramos en servicio. Para la medida de la permeabilidad se emplea un permeámetro de carga variable, figura 9, permeámetro LCS, desarrollado por el Laboratorio de la Escuela de Caminos de Santander, que estima la permeabilidad del pavimento a partir del tiempo que tarda en infiltrarse una

determinada cantidad de agua en el firme. El permeámetro lleva en su base una goma deformable e impermeable que se ajusta al pavimento y que obliga a que toda el agua se evacue a través de la capa porosa.

Los valores de tiempo medidos con el permeámetro oscilan entre 15-20 segundos, en el caso de mezclas altamente porosas, a más de 20 minutos en una mezcla densa. Normalmente se admite que para que la permeabilidad de la capa pueda suponerse apreciable el tiempo medido con el permeámetro ha de ser inferior a 100 segundos. Cuando el tiempo medido con el permeámetro supera los 200 segundos la permeabilidad de la capa es ya escasa o deficiente.

La medida de la permeabilidad, figura 10, durante estos años en los tramos en servicio ha puesto de manifiesto las siguientes conclusiones:

- 1º. La permeabilidad media de los tramos decrece, siendo el descenso

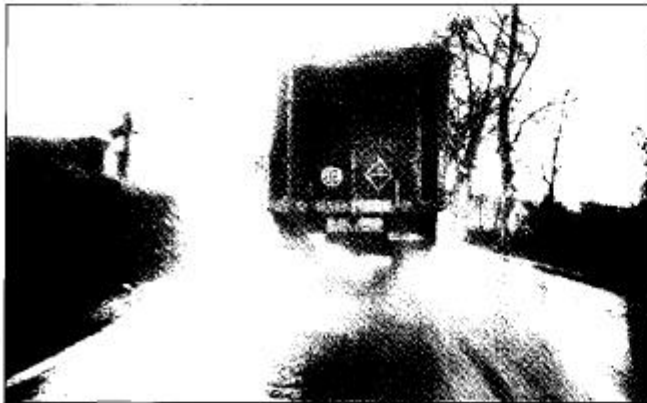


Figura 7.- Aspectos de un pavimento denso con lluvia.



Figura 8.- Aspecto de un pavimento drenante con lluvia.

más importante cuanto menor es la permeabilidad inicial.

2°. La colmatación que se produce en el carril es diferencial. Es mayor en las zonas de borde e interior del carril que en las zonas de rodadura, donde la succión de los neumáticos evita la colmatación de la mezcla.

3°. Para conseguir que la capa drenante mantenga sus características permeables durante su vida de servicio la porosidad de la mezcla aplicada deberá ser superior al 20-22%.

durabilidad

En principio parece que la durabilidad de estas mezclas pueda ser menor que la de los aglomerados densos convencionales empleados habitualmente en la pavimentación de firmes asfálticos. La mayor porosidad de la mezcla disminuye su resistencia mecánica y facilita la acción de desmenuamiento del agua y la acción oxidante de los agentes atmosféricos. No obstante, al menos en España, se están alcanzando duraciones similares con ambos tipos de pavimentos.

El empleo de betunes normales en la fabricación de mezclas drenantes alta-

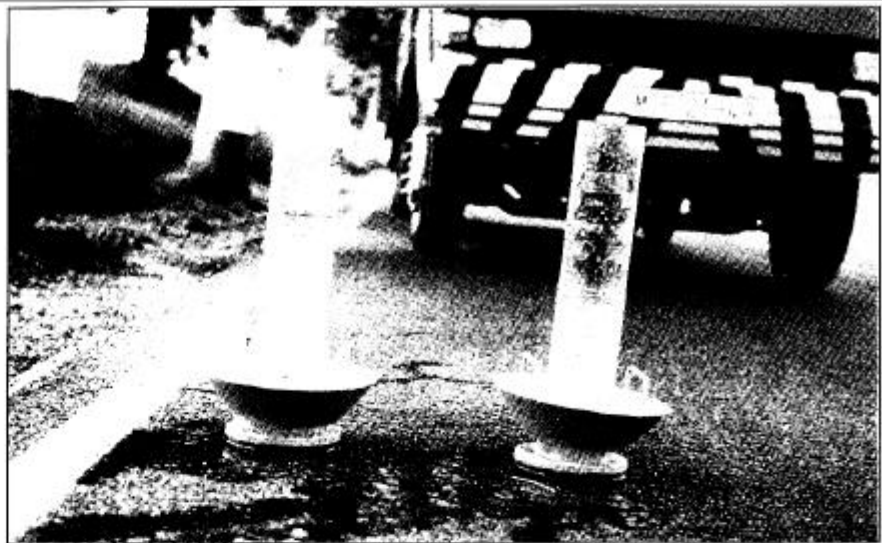


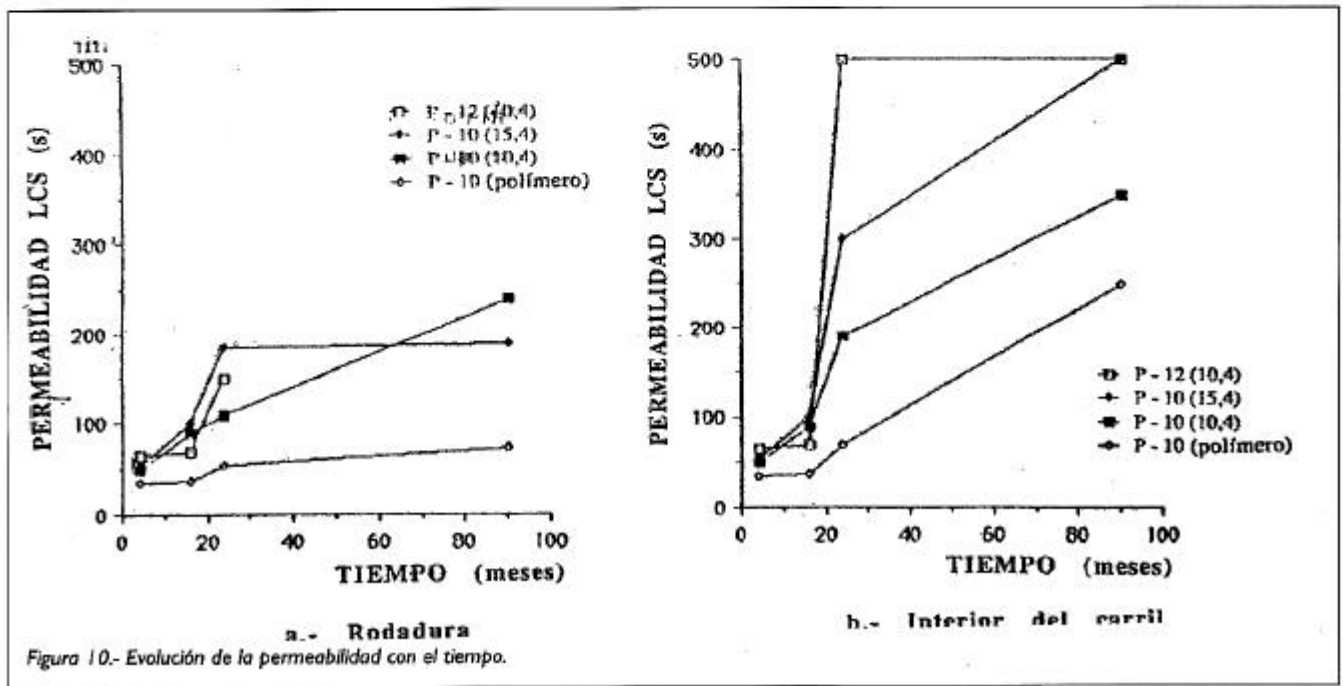
Figura 9.- Permeómetro LCS

mente porosas puede dar lugar a la aparición de baches y peladuras, por la acción abrasiva del tráfico. El mismo defecto puede aparecer cuando hay una mala adhesividad entre los áridos y el ligante empleado.

Para conseguir una mezcla resistente y permeable es necesario recurrir al empleo de ligantes especiales. Esto ha dado lugar a que hayan aparecido en el merca-

do diferentes empresas que, con distintos nombres comerciales, nos ofrecen estas mezclas drenantes con el ligante que ellos fabrican.

Para valorar la resistencia de la mezcla a la acción destructora del tráfico y de la intemperie se desarrolló en nuestro país un ensayo que está siendo también empleado por otras administraciones para la dosificación de estas mezclas. Las especificaciones



españolas recomiendan unas pérdidas inferiores al 30% si el ensayo cántabro de pérdida por desgaste se realiza a 30 °C.

En la figura 11, se ha representado para un mismo tipo de mezclas la relación entre la porosidad y las pérdidas en el cántabro para un betón normal y un ligante modificado, se observa que sólo empleando ligantes modificados puede conseguir al mismo tiempo mezclas resistentes (pérdidas < 30%) y altamente permeables (%huecos > 20%)

adherencia

Las capas de rodadura drenantes presentan una superficie lisa sin resaltos, pero con numerosas oquedades. Estas oquedades, comunicadas entre sí, confieren al pavimento una alta macrotextura, del orden de 1,5 a 2,5 mm de profundidad, esta macrotextura hace que estos pavimentos mantengan una elevada adherencia neumático-pavimento a altas velocidades.

En el gráfico de la figura 12, puede observarse la notable diferencia entre los valores del coeficiente de resistencia transversal, medido con el SCRIM a 80 Km/h, entre un pavimento denso convencional, tipo S-12, y una mezcla porosa, fabricados ambos con los mismos tipos de áridos.

Podemos apreciar que mientras en los tramos pavimentados con mezclas porosas el coeficiente de rozamiento transversal es superior a 60 en todos los casos, en los tramos en que se ha empleado mezcla S-12 este valor es inferior a 55 y a 40 en algunos subtramos.

ruido de rodadura

Las mediciones de ruido realizadas por el Laboratorio de Ensayos e Investigaciones Industriales de Bilbao en la autopista A-8, Bilbao-Behobia, ha puesto de manifiesto el significativo efecto que tienen los pavimentos drenantes para reducir el ruido frente a los pavimentos densos convencionales, mezclas tipo S-12, y los microaglomerados. Se han obtenido hasta diferentes de 6 dB(A) para el nivel sonoro equivalente (Leq) medido a 5

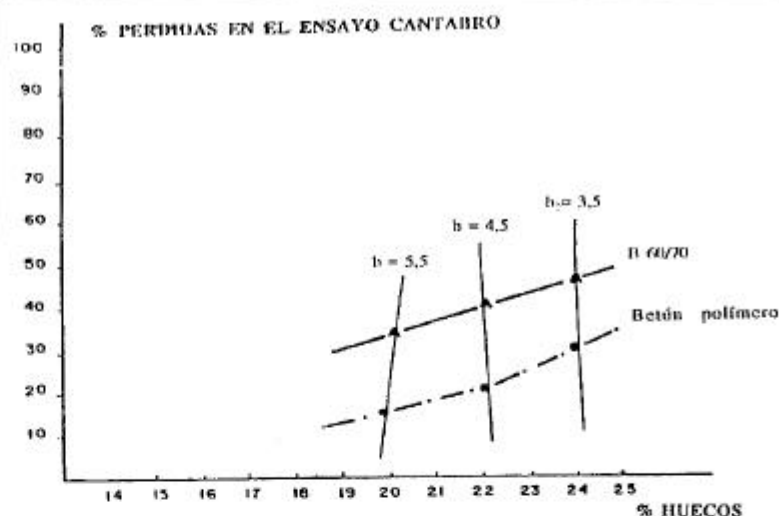


Figura 11.- Influencia del tipo y contenido de ligante en la relación huecos-pérdidas.

metros entre el aglomerado poroso con lluvia y los microglomerados, tabla 2.

ruido en el interior del vehículo

Mediciones realizadas por el Laboratorio de Acústica y vibraciones de la empresa SEAT, efectuadas en el interior de un vehículo Seat-Málaga en la citada autopista demuestran también el beneficio efecto de este tipo de pavimento sobre el ruido en el

interior del vehículo. En el análisis espectral en tercios de octava, tanto en la posición del conductor como en la del pasajero, se observa para los pavimentos drenantes a bajas y medias frecuencias disminuciones de 5 dB(A) respecto a los microaglomerados y de 3 dB(A) respecto a las mezclas densas convencionales.

pavimentación urbana

La experiencia española en el empleo de mezclas drenantes en pavimenta-

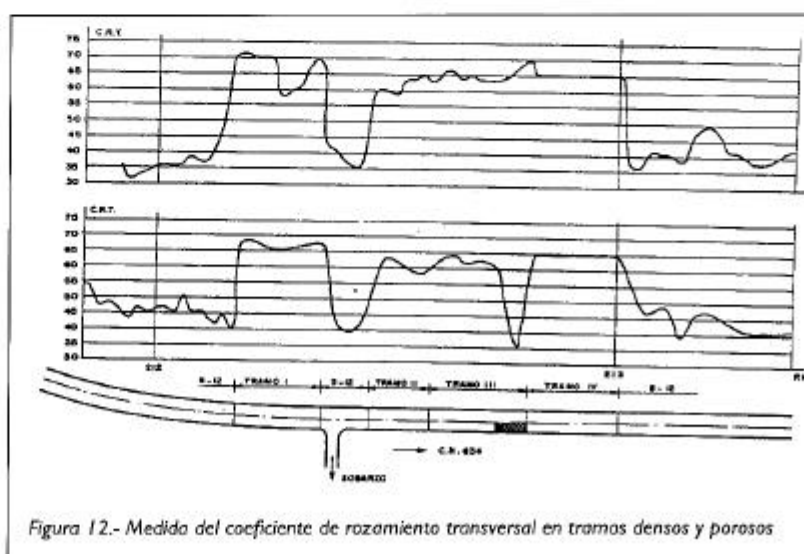


Figura 12.- Medida del coeficiente de rozamiento transversal en tramos densos y porosos

TIPO DE PAVIMENTO	Sonoridad dB(A)	
	Seco	Húmedo
Mezcla porosa 0/12 mm	74,2	74,8
Mezcla densa 0/12 mm	76,8	78,5
Microaglomerado 0/8 mm	77,8	80,2

Tabla 2.- Efecto del tipo de pavimento sobre el nivel sonoro equivalente (Leq) medido a 5 metros.

ción urbana es menor. El interés por este tipo de pavimento en calles y arterias urbanas es más reciente y viene motivado precisamente por el problema de ruido del tráfico.

Fue precisamente en Barcelona donde se empleó por primera vez en España un aglomerado drenante con objeto de reducir los niveles de ruido en una arteria urbana. Se trata de un tramo experimental de calzadas separadas con tres carriles por sentido y un paseo central situado en el Paseo de Colón, frente al Moll de la Fusta. La IMD por sentido en

el año del proyecto es de 35.000 veh/día con un 15% de pesados.

En su pavimentación se emplearon dos mezclas drenantes de diferente porosidad. En la calzada más próxima al mar se empleó una mezcla más abierta, con un 20% de huecos, frente al 17% de una mezcla de la calzada dirección monumento a Colón. Las permeabilidades medidas con el permeámetro ACS fueron de 35 y 60 segundos respectivamente.

En este tramo experimental se midieron los niveles de ruido antes y des-

pues de la colocación de la capa drenante. Se tomaron medidas del ruido al medio día y por la noche. Los resultados de éstos ensayos, tabla 3, muestran reducciones hasta de 5 dB(A), en puntos próximos a la calzada y de 3-4 dB(A) en el paseo central.

Los resultados son satisfactorios y todavía se pueden conseguir mayores reducciones empleando mezclas más porosas. Pero el empleo de mezclas drenantes en la pavimentación urbana tiene una serie de particularidades que es preciso de señalar por la incidencia que tienen en su comportamiento.

En primer lugar se presenta el problema de que la capa de aglomerado no se puede llevar hasta el bordillo, sino que hay que dejar un canal para recoger y facilitar la salida del agua infiltrada en la capa. Esto supone ciertas molestias para peatones, motoristas, etc. Se puede solucionar este problema construyendo una zanja drenante con un tubo drenante que lleve el agua hasta el sumidero, figura. 13. Esta solución está siendo empleada principalmente en Bélgica con buenos resultados.

Punto de medida	PAVIMENTO DENSO CONVENCIONAL		PAVIMENTO DRENANTE	
	13 h.	23 h.	13 h.	23 h.
Nº 22 1	80/81 dB	76/78 dB	75/76 dB	72/73 dB
2 3	81/82 77/78	74/76 73/74	74/75 74/75	72/73 70/71
4	76/77	73/75	73/74	70/71
5 6	76/77 74/75	70/71 70/71	73/74 73/72	69/70 68/69
7	73/74	70/71	73/72	68/69

Tabla 3.- Efecto del tipo de pavimento sobre el ruido de rodadura en la calzada dirección Colón (Medidas efectuadas sin tráfico en la otra calzada, IMPU - 1989).

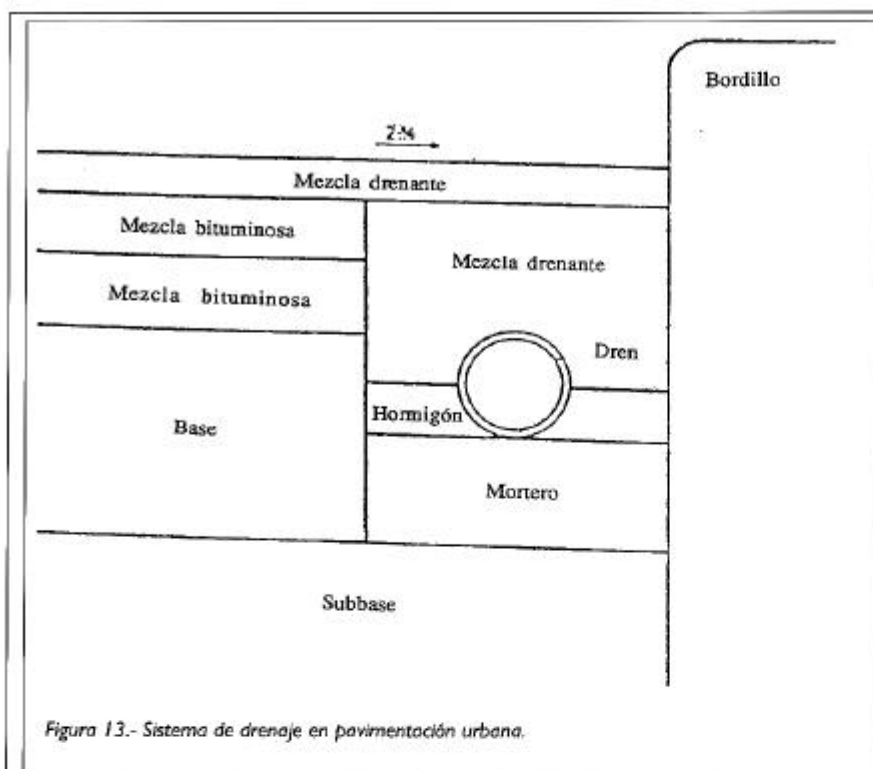


Figura 13.- Sistema de drenaje en pavimentación urbana.

Otro problema que aparece en pavimentación urbana son los enormes esfuerzos abrasivos a que están sometidas las capas de rodaduras, barredoras mecánicas, puntos de carga y descarga, recogidas de basura, etc. Esto significa que hay que emplear mezclas altamente resistentes al desgaste si queremos evitar su rápida disgregación.

Por último está el problema de la colmatación. En ciudad la polución es mayor y es fácil que se produzca la colmatación, aunque ésta sea superficial y fuera de las zonas de rodadura. Sería conveniente proceder a la limpieza frecuente de estas capas de rodadura y al empleo de mezclas lo más porosas posible para evitar su colmatación. Como se ve esta

exigencia está en contra de la anterior, cuando mayor es la porosidad menor es su resistencia y habrá que buscar una solución de compromiso o bien acudir al empleo de ligantes especiales.

5. Conclusiones

El interés de los técnicos de carreteras por analizar el ruido de rodadura con el fin de optimizar las características acústicas de los pavimentos, ha puesto de manifiesto algunos aspectos interesantes de resaltar.

En primer lugar, el efecto predominante que el ruido de rodadura va tomando en el ruido total producido por la circulación de los vehículos.

Otro aspecto importante a destacar es la influencia significativa que tiene el tipo de pavimento sobre el ruido de rodadura, con diferencias de hasta 15 dB (A).

Entre los diferentes tipos de pavimentos, las capas de rodadura drenantes parece tener un especial interés en la lucha contra el ruido. No sólo resultan los pavimentos más silenciosos, sino al mismo tiempo los más cómodos y seguros en tiempo de lluvia. Rompiendo así esa dicotomía que parecía existir entre adherencia y ruido.

BIBLIOGRAFIA

Descornet, G. "Propriétés acoustiques". Journée sur anrobes drainants. Centre de Recherches routières. Bruxelles, 1988.

Pérez-Jiménez, F.E.; Kraemer, C. y Lacleta, A. "Enrobes drainants. Etude de leurs caractéristiques en laboratoire et construction des premiers tronçons d'essais espagnols". Eurobitume Symposium. Cannes, 1981.

Pérez-Jiménez, F.E.; Kraemer, C. y Lacleta, A. "Mezclas bituminosas porosas". Nota Técnica. Dirección General de Carreteras. M. O. P. U. Madrid, 1982.

Ruiz, A.; Alberola, R.; Pérez-Jiménez, F. "Porous asphalt in Spain". T.R.B. Annual Meeting, Washington, 1990.

Sandberg, U.; Descornet, G. "Road surface influence on tire/road

noise". International Conference on Noise Control Engineering. Miami, 1980.

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General de Carreteras. "Mezclas bituminosas Porosas". Madrid, 1987.

VIIIth World Road Congress. Committee of Surface Characteristics. Report n° 1. Brussels, 1987.

