

INFLUENCIA DE LA POROSIDAD DE LOS ASFALTOS EN LA GENERACIÓN DEL RUIDO DE RODADURA

Miguel Ángel Morcillo, José Andrés González, María José Hernández, Antonio Hidalgo.

Fundación CIDAUT, Parque Tecnológico de Boecillo P.209 Boecillo 47151 Valladolid, España

migmor@cidaut.es; josgon@cidaut.es; marher@cidaut.es; anthid@cidaut.es

Resumen

A raíz de los estudios realizados sobre acústica ambiental muchos expertos coinciden en identificar el ruido de rodadura generado por el tráfico rodado como una de las fuentes más importantes de contaminación sonora. Como consecuencia de los esfuerzos investigadores de administraciones y empresas de construcción, se ha demostrado que los asfaltos porosos consiguen disminuir la generación de ruido. Este artículo trata de explicar la contribución real de la porosidad a la disminución del nivel de ruido generado por este tipo de asfaltos. Para ello se analizará como afecta la porosidad del pavimento a cada uno de los mecanismos de generación de ruido de rodadura.

Palabras-clave: Asfaltos porosos; Porosidad; Absorción acústica; Carreteras silenciosas; Ruido de rodadura;

Abstract

From the last studies carried out in Environmental Acoustics, some experts identify the road noise as one of the most important sources of noise pollution. Nowadays, the research effort of Administrations and Companies has shown that using porous asphalts, the contribution of the pavement could be decreased. This paper attempts to explain the real contribution of the porosity to the noise level decrement. All the generation mechanisms of the road noise will be analysed according to the variation of the asphalt porosity.

Keywords: Porous asphalt; Porosity, Sound absorption, Silent roads, Tire-road noise.

1 Introducción

En la actualidad una de las fuentes de ruido que tiene más influencia en los niveles de contaminación acústica existentes en las ciudades, es el ruido proveniente del tráfico rodado. Después de significativos avances en la reducción del ruido causado por el Grupo Motopropulsor, pasa a cobrar significativa importancia el ruido derivado del contacto rueda-pavimento.

Estudios actuales (*Inventory study of basic knowledge on tyre/road noise* del programa IPG) [1] catalogan la rodadura como la fuente de ruido más importante en el automóvil cuando se circula entre velocidades de 50 Km/h a 120 Km/h.

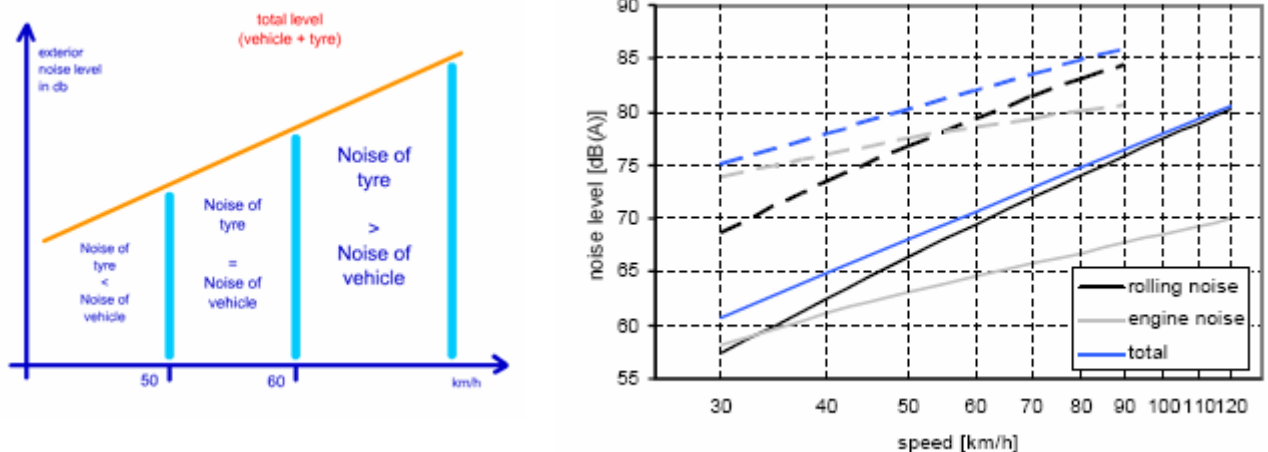


Figura 1– Información obtenida de *Inventory study of basic knowledge on tyre/road noise* del programa IPG. (En la figura de la derecha las líneas a trazos corresponden a vehículos pesados y las continuas a vehículos ligeros.)

El ruido de rodadura se produce por el contacto rueda-pavimento durante el movimiento de rodadura. Por tanto en el proceso de generación intervienen tanto parámetros pertenecientes a la rueda como al pavimento. Las mejoras encaminadas a la reducción de esta fuente de ruido pasarán por el correcto entendimiento de los mecanismos que gobiernan este fenómeno. Este conocimiento permitirá modelar los diferentes parámetros geométricos, propiedades de materiales, etc que influyen en el problema. Este artículo trata de explicar la influencia de la porosidad de los pavimentos en la generación del ruido de rodadura. A la hora de implantar mejoras, los resultados actuales muestran que el empleo de asfaltos porosos consigue reducir el nivel de ruido generado en cantidades que oscilan entre los 2 y los 4 dB. Durante el presente estudio se va a entender por generación de ruido de rodadura las etapas que van desde la generación propiamente dicha del ruido (proceso de radiación, interacción fluido estructura) como las primeras etapas de propagación (efecto de amplificación). Dicho de otra manera, se considera generación de ruido de rodadura todo lo que afecta a la presión sonora hasta un punto de observación situado a 200 mm de la rueda y que coincide con el punto de medida del ensayo CPX [2]. Por otro lado, los valores numéricos presentados deben ser entendidos en un entorno particular, y por lo tanto pueden estar sujetos a revisión a medida que el grupo investigador adquiera más conocimiento en el tema.

2 Descripción del ruido de rodadura.

Como en cualquier problema de control de ruido es necesario tener un análisis previo del ruido que se pretende controlar. Se presentan los resultados del ensayo de ruido de rodadura en las proximidades de la rueda de acuerdo al método CPX [2].

El ensayo fue llevado a cabo de acuerdo a un procedimiento desarrollado en la Fundación Cidaut que toma como referencia la norma ISO CD 11819-2 [2]. En la figura 2 se puede comprobar el posicionamiento de los micrófonos utilizados (imagen izquierda), así como otros sensores utilizados. Se usó un encoder (imagen derecha de la figura 2) para registrar la velocidad instantánea del vehículo durante la prueba.

El procedimiento de medida consiste en llevar el vehículo a una velocidad próxima a los 100 Km/h, en el comienzo del tramo de ensayo auscultado. En ese momento se retira la marcha del vehículo y se deja que evolucione por el tramo según su inercia, registrando el nivel sonoro por cada uno de los micrófonos colocados, así como la velocidad del vehículo.



Figura 2– Montaje de ensayo para la medida del ruido de rodadura en carretera mediante el método de proximidad CPX.

La figura 3 (superior) muestra un gráfico 3D (diagrama de Campbell) con los diferentes espectros del nivel sonoro (dBA) en 1/3 de octava para un ensayo llevado a cabo en una superficie recién asfaltada con un pavimento estándar de tipo S-12 con betún 60/70.

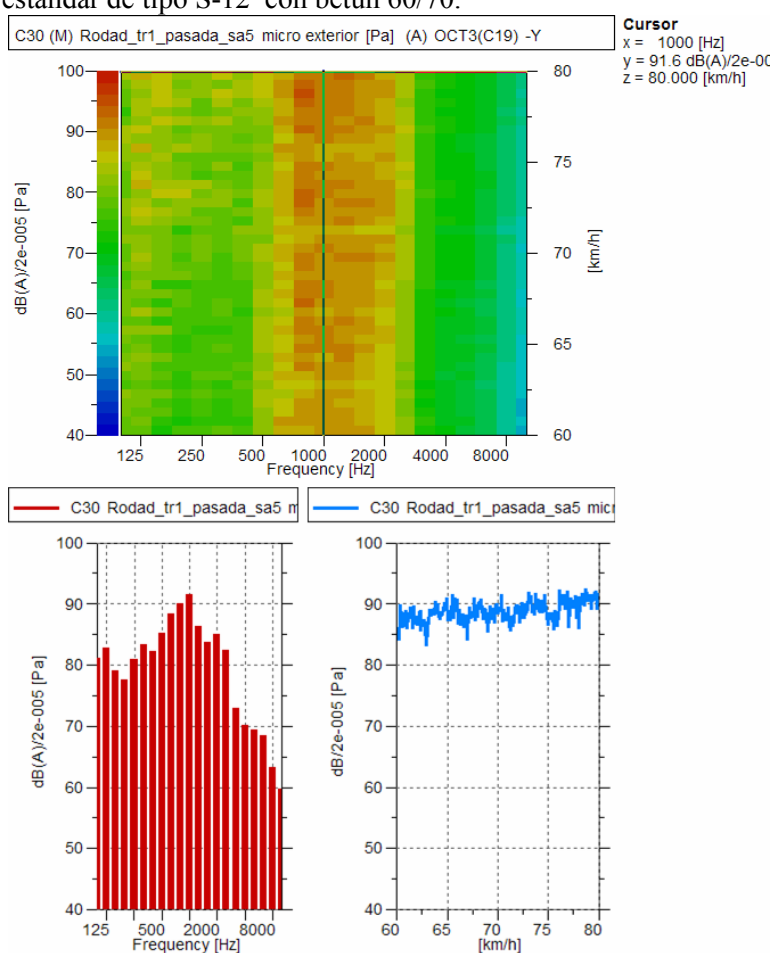


Figura 3– En la parte superior se muestra un análisis frecuencial 3D representado en un diagrama de Campbell (Nivel/Frecuencia/Velocidad del Vehículo). En la parte inferior izquierda corresponde al corte relativo a 80 Km/h) y en la derecha corresponde al nivel sonoro a 1000 Hz para las diferentes velocidades de pasada.

Como se observa en la figura 3 la mayor contribución del ruido está ubicada en los tercios de octava entre 800 y 1600 Hz. Este dato viene a refrendar lo publicado por varios autores que el ruido de rodadura presenta las mayores contribuciones en dicho rango de frecuencias[3], [4] y [5].

Con objeto de poder explicar más detalladamente la influencia de la porosidad en el ruido de rodadura se realiza una pequeña exposición de los diferentes mecanismos que explican el ruido de rodadura según diferentes autores [3], [4], [6].

2.1 Aspectos relativos a la generación del ruido de rodadura.

El ruido de rodadura se caracteriza por presentar diferentes contribuciones en su generación. En primer lugar, se comenta la generación mecánica cuyo efecto se manifiesta en forma de vibraciones radiales y tangenciales debidas a los impactos y choques resultantes del contacto entre el perfil de la rueda y el pavimento.

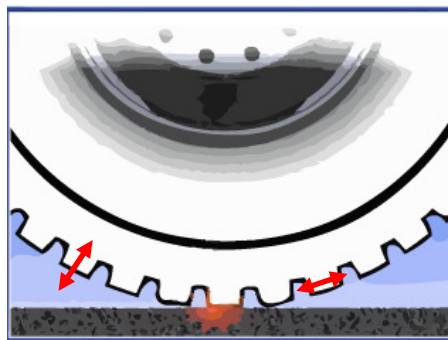


Figura 4– Generación del ruido de rodadura debida a la excitación mecánica del neumático producida por el contacto del neumático con el pavimento.

Estas vibraciones se transmiten al resto del neumático produciéndose la radiación acústica del mismo de acuerdo a sus patrones de vibración y radiación. Un aspecto importante que explica el contenido frecuencial de las fuerzas de excitación generadas es la dureza de ambas superficies. Este parámetro va a influir mucho en el tiempo de contacto y por tanto en la distribución frecuencial de las fuerzas responsables de la vibración del neumático.

Según describen los autores consultados, [3] estos fenómenos se engloban en el rango de frecuencias por debajo de 1KHz, por lo que de momento no constituyen el foco principal de las investigaciones para reducir el ruido de rodadura.

En segundo lugar, se plantea la contribución de tipo aerodinámico que tiene en cuenta los flujos de aire impulsados durante el movimiento de la rueda y su interacción con las diferentes cavidades (cavidad interior del neumático, surcos de los neumáticos,...).

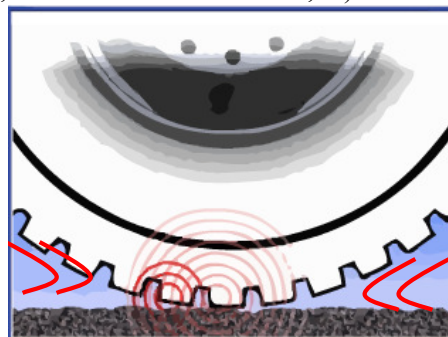


Figura 5– Generación del ruido de rodadura de naturaleza aerodinámica.

Como describen varios autores, [3][4] uno de los mecanismos más importantes en la generación del ruido es el aire impulsado por el movimiento de la rueda dirigido hacia el suelo. Este fenómeno es conocido como “*air pumping*” y está muy condicionado por la resistencia que opone el suelo a su movimiento. Cuando el pavimento es muy tupido (reflectante) las presiones que se alcanzan en esos puntos aumentan y el nivel de ruido generado por tanto es mayor; si ese pavimento posee una menor resistencia, el nivel de ruido disminuye, como ocurre en el caso de los asfaltos porosos. En base a la literatura recopilada [3], estos ruidos se ubican en el rango de frecuencias entre 1 KHz y 3 KHz.

Por último, se presentan los fenómenos relativos a la fricción. Durante el contacto rueda-pavimento ocurren fenómenos de adhesión y micromovimientos entre los tacos del neumático y la carretera.

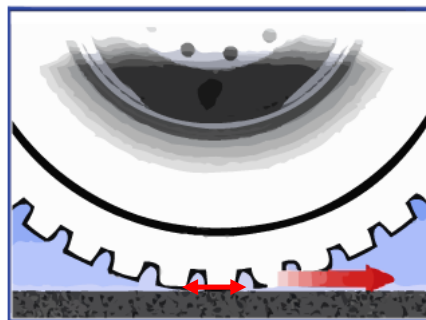


Figura 6– Generación del ruido de rodadura producido por la fricción.

Son ruidos generados por fenómenos de stick-slip y stick-snap. Su rango de frecuencias se ubica por encima de 1 KHz.

2.2 Aspectos relativos a la propagación del ruido de rodadura.

Como adelanta el título del trabajo el objetivo de este presente artículo trata de explicar como influye la porosidad del pavimento en la generación del ruido. Dentro de la propagación en global, se va a considerar la propagación del campo cercano como un factor más de generación. En este entorno cercano al contacto de la rueda con el pavimento es donde se va a centrar esta descripción.

Uno de los aspectos más significativos del proceso de transmisión del ruido generado es la geometría del problema. La interacción entre las formas de la rueda (circular) y el pavimento (plano) dan lugar a la aparición de un fenómeno denominado “*Horn Effect*” que consiste en una amplificación del sonido radiado.

Autores como Klein [6], cifran este aumento hasta en 20 dB dependiendo de la frecuencia, de la impedancia acústica del terreno (plano reflectante), y del ángulo de incidencia como se puede apreciar en la figura 7.

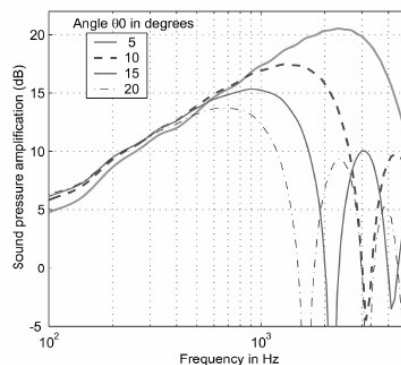


Figura 7– Ganancia atribuida al Efecto Horn según Klein. [6]

El otro aspecto muy importante, y que se ha apuntado antes también como factor influyente en el efecto Horn es la **absorción acústica** del pavimento. El sonido en su proceso de propagación interacciona con el pavimento, reflejando parte de la energía incidente y absorbiendo otra parte. La absorción acústica de los materiales es una magnitud extrínseca o global. Es decir, es el resultado de una combinación de parámetros más básicos e intrínsecos al material. Uno de estos parámetros que permiten controlar la absorción es la porosidad, además de la resistencia al flujo del aire, la tortuosidad y las longitudes características térmica y viscosa. La absorción acústica puede ser medida a partir de un ensayo regulado por la norma ISO 13472-1: 2002 [7]. La figura 8 muestra el dispositivo de ensayo para la medida experimental de la absorción acústica de pavimentos porosos mediante el método superficial extendido.



Figura 8– Medida de la absorción acústica de un pavimento poroso ISO 13472-1: 2002.

A modo de ejemplo, se presenta en la figura 9 los resultados de una medición realizada según ISO 13472-1: 2002 para dos superficies, una porosa correspondiente a un asfalto tipo PA-12 con betún caucho y otra estándar tipo S-12.

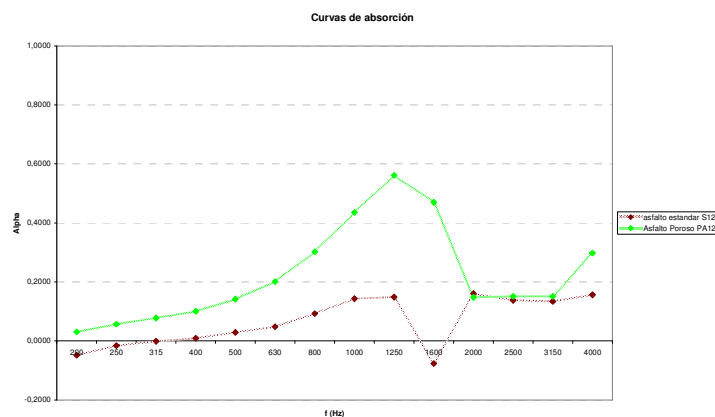


Figura 9– Medida de la absorción acústica de un pavimento poroso (verde) y reflectante (marrón).

Se aprecia en las curvas como el asfalto poroso posee unos valores importantes de absorción acústica en la zona donde es predominante el nivel de ruido de rodadura.

3 Efecto de la porosidad

Como se ha comentado en el apartado anterior la porosidad del pavimento aparece en dos de los mecanismos explicados. Por un lado, la porosidad influye de manera significativa en el valor de la absorción acústica, que afecta sobre todo en las primeras etapas de propagación del sonido (Horn effect).

Por otro lado, la porosidad influye directamente en la evolución del flujo de aire generado por la rueda al avanzar, reduciendo los efectos producidos por el “*air pumping*”.

Se plantea a continuación un ensayo encaminado a valorar el efecto de la porosidad del asfalto en el mecanismo de propagación, en el cual se van a separar los efectos que puede tener la porosidad sobre el mecanismo de “*air pumping*”.

3.1 Planteamiento del ensayo

Se presenta a continuación un ensayo que valore la influencia de la porosidad en el proceso de propagación. Para ello se plantea un método de medida en el cual interviene la rueda y el asfalto pero sin movimiento relativo entre ambos.

La idea es valorar el proceso de propagación desde un punto próximo a la zona de contacto y un punto ubicado en la proximidad de la rueda, que coincide con los puntos de evaluación de la presión acústica según el método CPX.

Se presenta en la figura 10, un esquema que permite ubicar la posición de los puntos de medida.

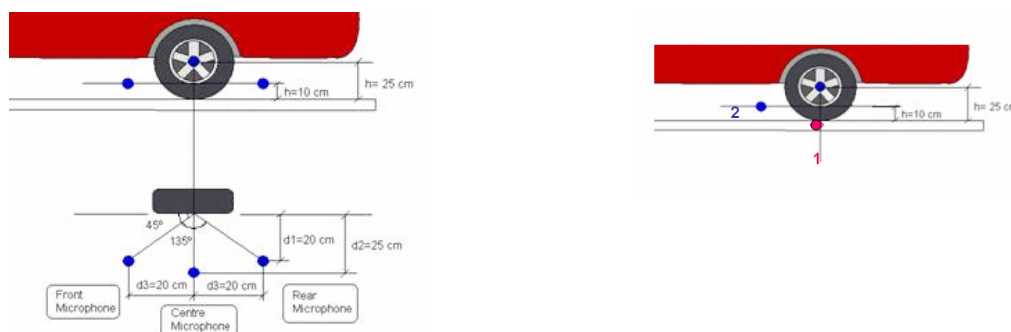


Figura 10– Ubicación de los puntos de medida en el ensayo CPX (izquierda). Puntos de medida de la presión y el caudal acústico (derecha).

El ensayo consiste en evaluar la función de transferencia entre una fuente de caudal sonoro colocada en el punto 1 y la presión sonora evaluada en el punto de 2. Por razones de simplificación del ensayo se plantea el ensayo recíproco en el cual se mide la presión sonora en el punto producida por una fuente de ruido colocada en el punto 2. Esta simplificación implica la aceptación de la hipótesis de reciprocidad.

Para llevar a cabo el ensayo se utiliza un micrófono plano de la marca Grass modelo 40PS colocado en la superficie de la rueda (Figura 11. Izquierda). Además como fuente de excitación se utiliza una fuente de caudal acústico de LMS modelo Mid Frequency Volume source (Figura 11. Derecha).

Las señales de ambos sensores son registradas con un analizador multicanal de la marca LMS modelo Pimento. Una vez adquiridas son procesadas en el dominio de la frecuencia, construyendo para cada tipo de asfalto una función de transferencia.



Figura 11– Micrófono plano colocado para medir la presión sonora en el punto 1 (Izquierda). Fuente de sonido colocada en el punto 2 (Derecha).

El resultado del ensayo es una curva de ganancia que se obtiene por comparación entre el asfalto a evaluar y un asfalto de referencia tipo. En este caso se emplea como asfalto de referencia el asfalto estándar tipo S-12 y como asfalto de medida el asfalto poroso PA-12. Se presenta una imagen (Figura 12) donde se pueden chequear los tipos de asfaltos ensayados.



Figura 12– Asfalto de referencia S-12 (Izquierda). Asfalto poroso PA-12 (derecha)

3.2 Resultados del ensayo

Una vez obtenidas las curvas de respuesta en frecuencia para ambas superficies, éstas se procesan en tercios de octava. La curva de ganancia se obtiene como la resta de niveles entre ambas. La figura 13 muestra la curva obtenida.

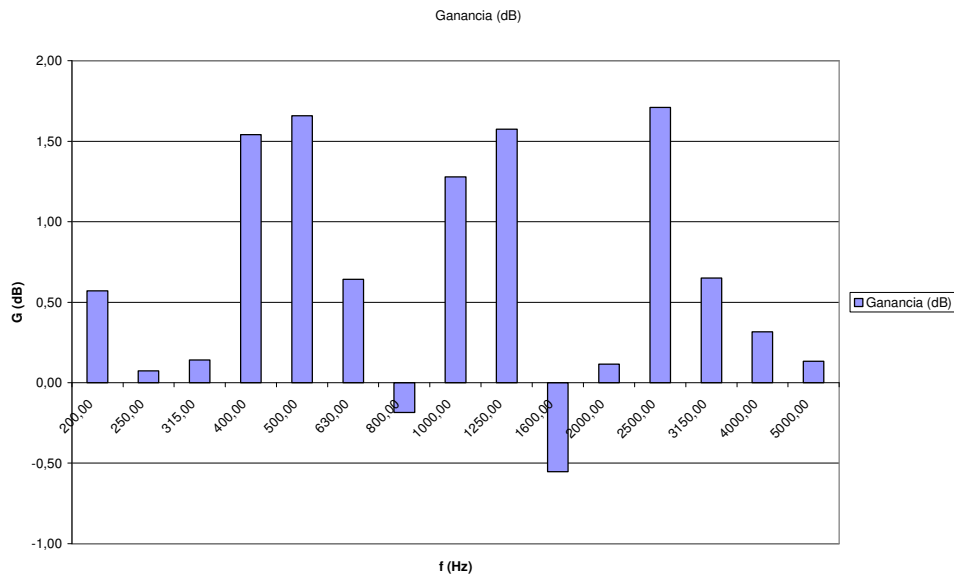


Figura 13– Curva de ganancia obtenida entre un asfalto poroso PA 12 y un asfalto denso S12 utilizado como referencia.

Como se observa en la figura 13 aparecen bandas de frecuencia donde la porosidad influye de manera positiva en la reducción del ruido. Este valor da una idea de como la absorción acústica permite reducir el ruido generado por el contacto rueda-pavimento en un entorno próximo al punto de contacto rueda-pavimento. Se aprecia como las mejoras más importantes se obtienen en las bandas donde la absorción acústica es alta (1000 Hz; 1250 Hz), si bien existe alguna banda con contribución baja o negativa (1600 Hz, 2000 Hz).

4 Validación final

Para tener un orden de magnitud de la mejora global, en términos de presión sonora en el punto de observación se realiza un ensayo tipo CPX similar al presentado en el punto 2, comparando ambos asfaltos.

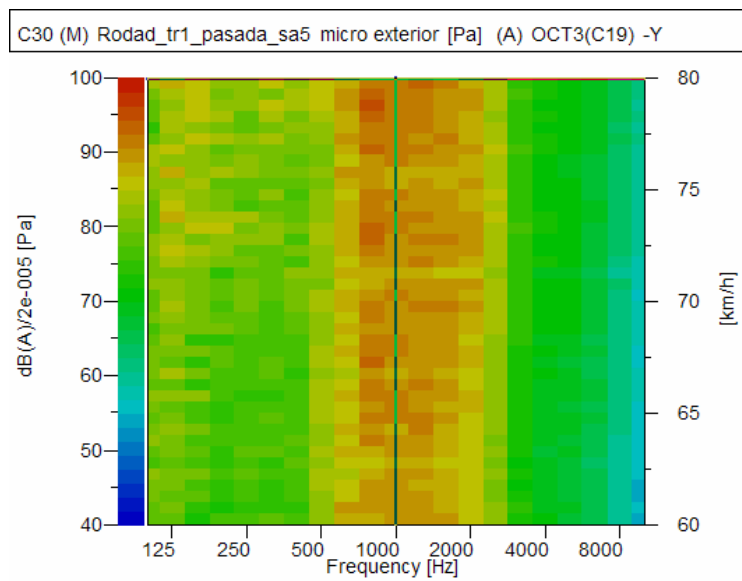


Figura 14– Diagrama de Campbell del ruido de rodadura de un asfalto normal (S-12 con betún 60/70).

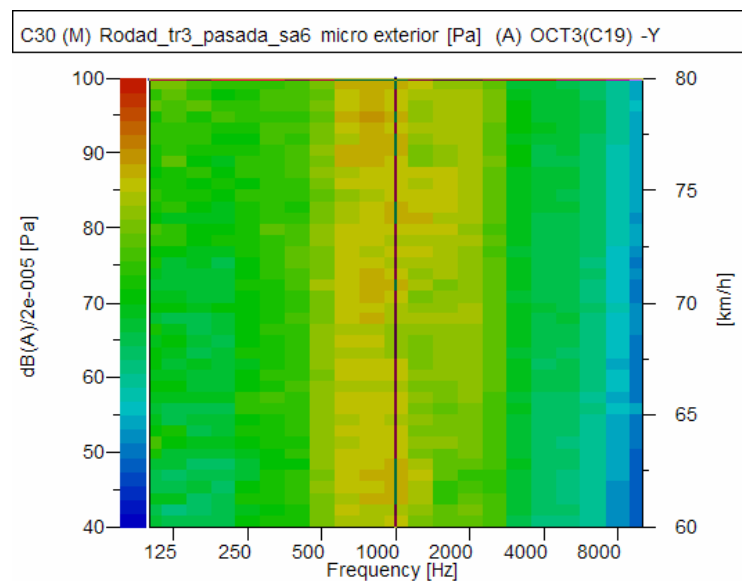


Figura 15– Diagrama de Campbell del ruido de rodadura de un asfalto poroso (PA-12 con polvo de neumático).

Se puede observar como el ruido, en general, se reduce bastante en las bandas de tercio de octava en torno a la frecuencia de 1000 Hz por efecto de la porosidad. Los niveles globales a 80 Km/h para estos casos son 96.8 dBA para el asfalto estándar S-12 y 93.7 dBA para el asfalto poroso PA-12. En la figura 16 se representa de manera comparativa los espectros de presión sonora correspondientes a la velocidad de 80 Km/h. En ella se puede establecer mejor el orden de magnitud de la mejora y en que bandas de frecuencia se produce.

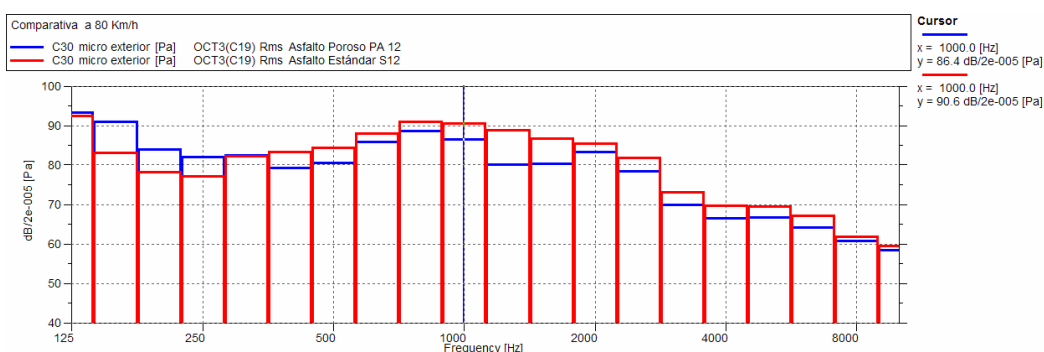


Figura 16– Espectros del nivel sonoro (dB) en tercios de octava para el ruido de rodadura de un asfalto poroso tipo PA-12 (azul) y un asfalto estándar tipo S-12 (rojo) para una velocidad de 80 Km/h.

A partir de estos espectros se puede realizar una curva de ganancia de la reducción obtenida como la resta de niveles de presión sonora. Se muestra esta curva en la figura 17.

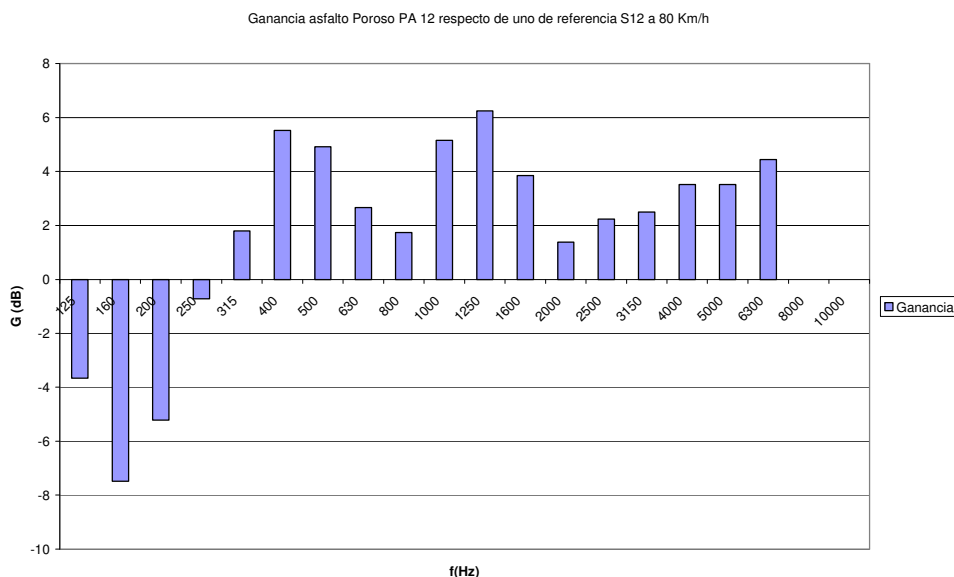


Figura 17– Reducción del ruido de Rodadura (dB) en tercios de octava para un asfalto poroso tipo PA-12 tomando como referencia un asfalto S-12 a 80 Km/h.

5 Conclusiones

Se presentan a continuación las conclusiones más interesantes del estudio expuesto.

- Se comprueba experimentalmente que uno de los efectos de la porosidad es que influye de manera directa en la propagación cercana del ruido de rodadura a través de la absorción acústica del terreno. En el caso expuesto, una porosidad del orden de 20% es capaz de reducir el nivel de presión sonora según el método CPX en valores por encima de 1 dB en algunas frecuencias, debido a la absorción acústica.
- Se comprueba experimentalmente que en los tramos de ensayo observados la ganancia global obtenida en velocidades de 80 Km/h está en 3 dB de promedio. Esto lleva a deducir que existe una parte importante de la reducción global obtenida por el empleo de asfaltos porosos que puede venir explicada por otros mecanismos como el “*air pumping*”.

- Sería conveniente plantear algún ensayo que valore la contribución de otros mecanismos, como, por ejemplo, la fricción.

Agradecimientos

Este artículo está realizado dentro de la línea de investigación que la Fundación Cidaut posee para la obtención de soluciones encaminadas a reducir la contaminación acústica ambiental.

Agradecemos de manera especial a la empresa Construcciones Llorente S.A. (COLLOSA) por el permiso para utilizar datos obtenidos en ensayos realizados en sus obras.

Referencias

- [1] Report from IPG (Program of Netherlands Government). Inventory study of basic knowledge on tyre/road noise. DWW-2005-022
- [2] pr ISO CD 11819-2 (2000). Acoustics: Measurement of the influence of road surfaces on road traffic noise – Part 2 : the close-proximity method. International Organization for Standardization, Genève.
- [3] Kuijpers, A.; Blokland G. v.; Tire/Road noise models in the last two decades: a critical evaluation.
- [4] Sandberg, U. The Multi-Coincidence Peak around 1000 Hz in Tyre/Road Noise Spectra. Euronoise Naples 2003 paper ID: 498 /p.1
- [5] M. J. Hernández, M. A. Morcillo, y M. Herráez. Experimental study of road noise. Euronoise Naples 2003 paper ID 468 /p.1.
- [6] Klein, P. Horn effect characterisation for tire-road noise radiation. Internoise 2000.
- [7] ISO 13472-1:2002. Acoustics: Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ -- Part 1: Extended surface method. International Organization for Standardization, Genève.