



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

OBTENCIÓN DEL NIVEL DE POTENCIA SONORA EMITIDO POR UN NEUMÁTICO EN RODADURA A PARTIR DE ENSAYOS DE LABORATORIO.

REFERENCIA PACS: 43.50.Lj

Clar-Garcia, David; Velasco-Sanchez, E; Sanchez-Lozano, M; Campello-Vicente, E.

Universidad Miguel Hernández de Elche, Departamento de Ingeniería Mecánica
Avda. de la Universidad, s/n. 03202 Elche (Alicante) Spain
Tel.: +34965222193 dclar@umh.es

Palabras clave: Neumático; ruido; potencia sonora; tambor;

Abstract: Tyre/road noise is the main source of noise caused by traffic. There are several track methods to measure tyre/road noise. Among them, the Coast-By method has been established as the European standard for the approval of tyres. However, these methods have several disadvantages such as the influence of environmental factors, the variability depending on the vehicle or the test track; or the limitation of the measured magnitude (sound pressure level). A new methodology, based on laboratory tests and the ISO 3744:1994 Standard [1], allows obtaining L_W of a tyre, achieving results which are comparable to the Coast-By method [2].

Resumen: El ruido de rodadura es la principal fuente sonora causada por el tráfico. Existen numerosos métodos para medir la emisión sonora de los neumáticos en pista. Entre ellos, el método Coast-By se ha establecido como estándar Europeo para la homologación de neumáticos. Sin embargo, estos métodos tienen inconvenientes como la influencia de factores ambientales, la variabilidad dependiendo del vehículo o la pista de ensayo, o la limitación de la magnitud medida (nivel de presión acústica). Una nueva metodología, basada en ensayos de laboratorio y la norma ISO 3744:1994 [1], permite obtener L_W de un neumático consiguiendo resultados comparables al método Coast-By [2].

1. INTRODUCCIÓN

Cuando un coche viaja a velocidades medias y altas, la principal fuente de ruido es la interacción entre los neumáticos y la carretera. Otras fuentes de ruido como el ruido aerodinámico, el motor o la transmisión del vehículo tienen poca contribución en el ruido general del vehículo a más de 30 km/h [3]. Esta característica es mucho más importante en vehículos eléctricos donde este comportamiento se produce incluso a velocidades inferiores. Por esta razón, es importante centrarse en la reducción del ruido de rodadura para disminuir la emisión de ruido del tráfico rodado. Con este objetivo, la Unión Europea desarrolló el Reglamento 117 [4] de la CEPE en 2007 y los Reglamentos 661 [5] y 1222 [6] en 2009.

El método *Coast-By* (CB) [2], junto con los métodos *Close-Proximity* (CPX), *Statistical Pass-By* (SPB) o *Controlled Past-By* (CPB) han sido utilizados para medir el ruido de rodadura en las últimas décadas. Entre todos ellos, el método CB se ha planteado en Europa como método estándar para la homologación de los neumáticos con respecto a las emisiones de ruido de rodadura. Sin embargo, todos estos métodos anteriormente mencionados presentan varios inconvenientes tales como la influencia de factores ambientales, los diferentes resultados que se pueden obtener dependiendo de la pista de ensayo [7], [8] o del vehículo sobre el que se realizan los ensayos [9], el alto coste de los ensayos en términos de tiempo y dinero, la falta de repetibilidad [10] o, el último pero no menos importante aspecto, que es la limitación de la magnitud medida, el nivel de presión acústica [11]. Es bien sabido que el nivel de presión acústica depende de varios factores, tales como el entorno en el que se mueven las ondas acústicas, la atenuación o la distancia desde la fuente de ruido. Esto no sucede con el nivel de

potencia acústica, que es una magnitud inherente a la fuente de ruido y que no depende de otros factores externos [12].

Se desarrolló una nueva metodología de ensayo [11] en instalaciones tipo *Drum* basada en la Norma Internacional ISO 3744 [1] para evitar estas limitaciones. La ISO 3744 determina los niveles de potencia acústica de las fuentes de ruido. Este nuevo enfoque combina la experiencia del método ISO con el procedimiento experimental desarrollado en las instalaciones de ensayo de neumáticos tipo *Drum* de la Universidad Miguel Hernández (Elche).

Varios grupos de investigación han medido la emisión de ruido de los neumáticos utilizando tambores anteriormente [13]. Sin embargo, ninguno de ellos ha aplicado un método de ingeniería estandarizado para determinar el nivel de potencia acústica. Este artículo explica cómo se han ensayado diferentes neumáticos según el nuevo método de ensayo tipo *Drum*, a la vez que analiza sus resultados y los compara con otros ensayos de ruido de rodadura realizados en pista.

2. ENSAYOS EN LABORATORIO TIPO DRUM.

Con el fin de resolver las limitaciones de los métodos convencionales, se desarrolló una nueva metodología basada en los ensayos tipo Drum [11] y la Norma internacional ISO 3744 [1]. Ésta norma determina los niveles de potencia acústica de las fuentes de ruido utilizando la presión sonora en un campo libre esencial sobre un plano reflectante. Esta nueva metodología combina la experiencia de la Norma con el procedimiento experimental desarrollado en las instalaciones de ensayo de neumáticos del Laboratorio de Vehículos de la Universidad Miguel Hernández.

Mientras que algunos grupos de investigación han medido el ruido de los neumáticos en laboratorio utilizando instalaciones tipo *Drum* [13], no se ha podido encontrar ninguno que lo haya hecho mediante un método de ingeniería específico estandarizado para determinar el nivel de potencia acústica de la fuente sonora. Por el contrario, todas los ensayos anteriores han considerado la presión sonora. Esta sección resume la nueva metodología, también muestra y comenta los resultados de los ensayos y termina con las conclusiones finales. Para más explicaciones, véase la referencia [11], donde se explica ampliamente el procedimiento para llevar a cabo la nueva metodología.

2.1. Instrumentación y Entorno Acústico de Ensayo. Factores de Corrección K_1 y K_2

El LVUMH cuenta con una máquina de ensayo de neumáticos tipo *Drum* compuesta por un tambor de acero de 1700 mm de diámetro accionado por un motor eléctrico de 380V - 50Hz - 110 kW. Las instalaciones de ensayo pueden llevar a cabo ensayos de carga-velocidad, así como de resistencia a la rodadura y de ruido de rodadura de neumáticos. Tanto el techo como las paredes de la celda de ensayos están hechos de material acústicamente absorbente de dimensiones 3920x9350x4840 mm (Véase figura 1). Los instrumentos de medición tales como el tacómetro, las células de carga, los micrófonos, el manómetro o el termómetro, se inspeccionan y son calibrados regularmente por laboratorios externos acreditados por ENAC.

El posicionamiento de los micrófonos sobre una superficie de medición semiesférica de un metro de radio y su distribución, así como la metodología para la caracterización del entorno acústico de ensayo, el cálculo de los factores de corrección y la obtención de la potencia sonora están descritos detalladamente en [11]. Los micrófonos fueron posicionados por medio de diferentes soportes de micrófono hechos de perfiles de aluminio Bosch. Los soportes se colocaron alrededor del neumático como puede verse en las figuras 1 y 2.

Para obtener el factor de corrección por ruido de fondo K_1 , se procedió tal y como se describe en [1]. Se registró el nivel de presión sonora L'_{pi} sobre la superficie semiesférica de medición con el neumático girando a la velocidad de ensayo y el nivel de presión sonora L''_{pi} sin

neumático para posteriormente calcular ΔL y K_1 . Los resultados mostraron para todos los casos que $\Delta L > 10$ dB en todas las posiciones del micrófono. Esto significa que ΔL supera la limitación mínima de ruido de fondo que prescribe la norma ISO 3745 [14], mucho más restrictiva que la ISO 3744 sobre la que está basada el método, lo que nos da una idea de la idoneidad del entorno acústico de ensayo en el que estamos trabajando.



Figura 1: Disposición de los micrófonos alrededor de la rueda.

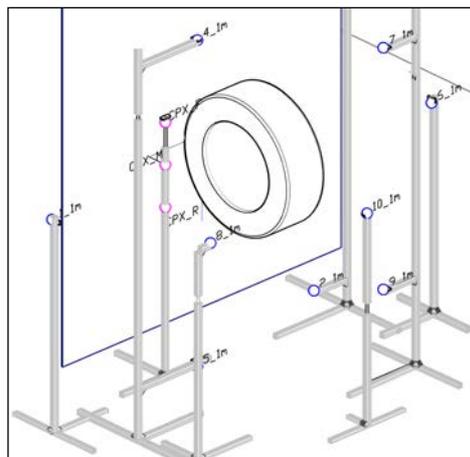


Figura 2: Soportes para los micrófonos.

Los resultados de los ensayos pueden verse en la tabla 1. Como puede apreciarse, en todos los casos se cumple sobradamente la limitación por ruido de fondo establecida en la norma ISO 3744 Grado 2 que establece que $K_1 \leq 1.3$ dB.

Tabla 1: Factor de corrección por ruido de fondo K_1

Posición Micrófonos	L'_p (dB)	$L''_{p1} L''_{p2}$ (dB)	ΔL (dB)	K_1 (dB)
1 m.	91.01	77.93	13.08	0.219
2 m.	87.38	77.04	10.35	0.4205
CPX	99.14	76.93	22.22	Sin corr.

Para obtener el factor de corrección K_2 , se llevaron a cabo una serie de ensayos utilizando las superficies de medición semiesférica de radio 1 y 2 m según describe [11]. La velocidad del tambor se fijó en 80 km/h tal y como establece el Reglamento 117 para los ensayos en pista.

Durante los ensayos en laboratorio se registró el nivel de presión sonora L'_{p1} sobre la superficie semiesférica de medición S de radio 1 m así como L'_{p2} sobre la superficie semiesférica de medición S_2 de 2 m. Los resultados obtenidos pueden verse en la tabla 2.

Tabla 2: Corrección por entorno acústico de ensayo K_2

L'_{p1} (dB)	$L'_{p2} L''_{p1}$ (dB)	K_2 (dB)
91.20	86.78	0.699

Una vez más, los resultados han mostrado que el criterio de idoneidad del entorno acústico de ensayo ha sido ampliamente conseguido ya que el valor de K_2 obtenido ha sido muy inferior a 2 dB., que es el límite establecido en la norma ISO 3744.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

2.2. Configuración del ensayo y neumáticos ensayados.

Como el objetivo era desarrollar y validar una metodología alternativa para medir el ruido de rodadura de un neumático en las instalaciones de ensayo tipo *Drum*, ha sido necesario ensayar diferentes neumáticos mientras que otros factores tales como la superficie, la temperatura o la carga del neumático han permanecido constantes [15]. Por ello, se ensayaron neumáticos de diferentes marcas y medidas a velocidades entre 40 y 120 km/h a intervalos de 10 km/h (véase tabla 3). Se llevó a cabo un total de 144 ensayos con los neumáticos y 18 ensayos adicionales sin neumático para registrar el ruido de fondo a las mismas velocidades. Se inflaron los neumáticos a la presión nominal de 2 bar y la carga aplicada a ellos fue el 80% del índice de carga según lo prescrito en el Reglamento 117. En la figura 3 puede verse los neumáticos ensayados y detalle de la muestra UMH12EN002.

Tabla 3: Neumáticos ensayados clasificados por medidas

185/65R15 88H	195/50R15 82V	205/55R16 91V
Michelin Energy	Michelin Pilot	Michelin Energy
Nexxen CP641	Nexxen CP641	Nexxen CP641
Insa Turbo Sport	Insa Turbo TVS	Insa Turbo TVS
Insa Turbo RTD2	Insa Turbo RTD2	Insa Turbo RTD2
Insa Turbo RTD3	Insa Turbo RTD3	Insa Turbo RTD3



Figura 3: Neumáticos ensayados y detalle de una de las muestras.

La temperatura de la celda de ensayo se ajustó a 25°C. La temperatura registrada durante los ensayos se mantuvo entre 24.2 y 24.9°C. El sistema de adquisición de datos registró los niveles de presión sonora en intervalos de 5 s. entre 100 Hz y 10 kHz, con un tiempo de integración de 125 s. Todos los datos fueron procesados en bandas de tercio de octava.

Las condiciones de funcionamiento durante los ensayos fueron las siguientes:

- 1) Máquina bajo condiciones de carga: en este caso, la máquina funciona con un neumático instalado y girando con la carga y velocidad establecidas en el Reglam. 117
- 2) Máquina sin carga: correspondiente a la máquina funcionando en vacío, es decir, sin neumático, solo girando el rodillo a la velocidad de referencia.

2.3. Resultados obtenidos.

Todos los resultados corresponden a niveles de potencia acústica con ponderación A, tanto para el ruido de fondo como para el ruido de los neumáticos. Un aspecto clave durante la evaluación de los resultados fue analizar el comportamiento de los diferentes micrófonos para

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

ver si la recepción de los mismos se veía afectada por la máquina de ensayo, las rejillas de seguridad o cualquier otro elemento de la sala de ensayo que pudiera interferir en el registro del nivel de ruido. El bastidor de la máquina o la rejilla de protección, por ejemplo, podrían haber causado la reflexión del ruido o apantallamiento de manera que afectase a algunos micrófonos según su ubicación. Sin embargo, ninguno de estos fenómenos se ha producido como se puede ver en la figura 4, donde se muestran los espectros de ruido para el neumático Nexxen Class Premiere CP461 185/65R15-88H a 80 km/h para cada uno de los diferentes micrófonos. El comportamiento de todos los micrófonos, teniendo en cuenta las diferentes ubicaciones de los mismos, ha demostrado ser estable, no pudiéndose apreciar mucha variación entre ellos. La figura 4 muestra los típicos espectros de ruido de neumáticos con el pico característico alrededor de 1 kHz [16]. Un incremento de ruido inusual, en torno a 5 kHz aparece debido a la emisión de ruido de alta frecuencia del motor eléctrico.

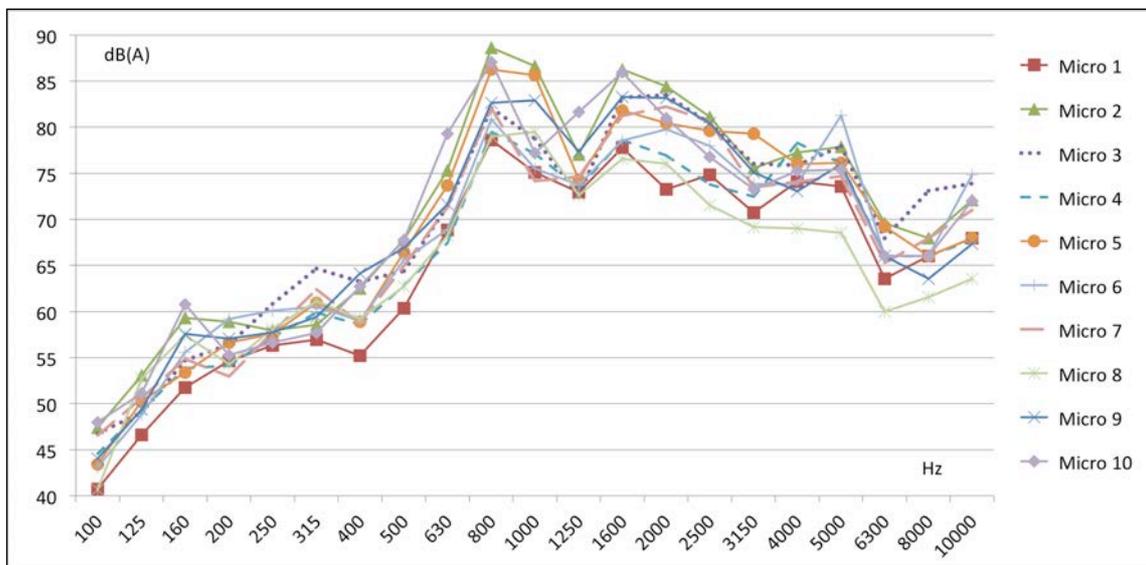


Figura 4: Espectros de ruido de los diferentes micrófonos.

En la figura 5 se muestra un espectro del nivel de potencia acústica con ponderación A en bandas de tercio de octava para un neumático Michelin Energy Saver 185/65R15-88H a una velocidad de 80 km/h.

La línea de puntos roja muestra el nivel de potencia sonora global, que incluye el ruido del neumático y el ruido del tambor cuando está girando a 250 rpm (80 km/h para el neumático). La línea discontinua verde muestra el ruido de fondo, es decir, el ruido emitido por el banco de ensayo cuando el rodillo está girando, en este caso sin neumático, a la misma velocidad. Por último, la línea continua azul es el nivel de potencia acústica emitida por el propio neumático, que se obtiene mediante la resta logarítmica del ruido de fondo al nivel de potencia sonora global.

Estos resultados son similares a los mostrados en la literatura [3] y en algunas investigaciones recientes [17] y [18], con un espectro típico de ruido de rodadura de neumáticos en el rango comprendido entre 315 Hz y 4 kHz, donde está contenido el nivel más alto de energía sonora. El pico alrededor de la frecuencia de 1 kHz es también característico. A pesar de que la banda correspondiente a 5 kHz difiere del espectro del ruido característico, esto es debido a la influencia de la máquina de ensayo y, más concretamente al motor eléctrico que acciona al conjunto. Sin embargo este comportamiento no es un problema porque el método ISO 11819 CPX [19] recomienda estudiar el ruido de los neumáticos en las bandas de tercio de octava

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

situadas entre 315 Hz y 4 kHz mientras que la principal emisión sonora del ruido de neumáticos se concentra entre 800 y 1600 Hz.

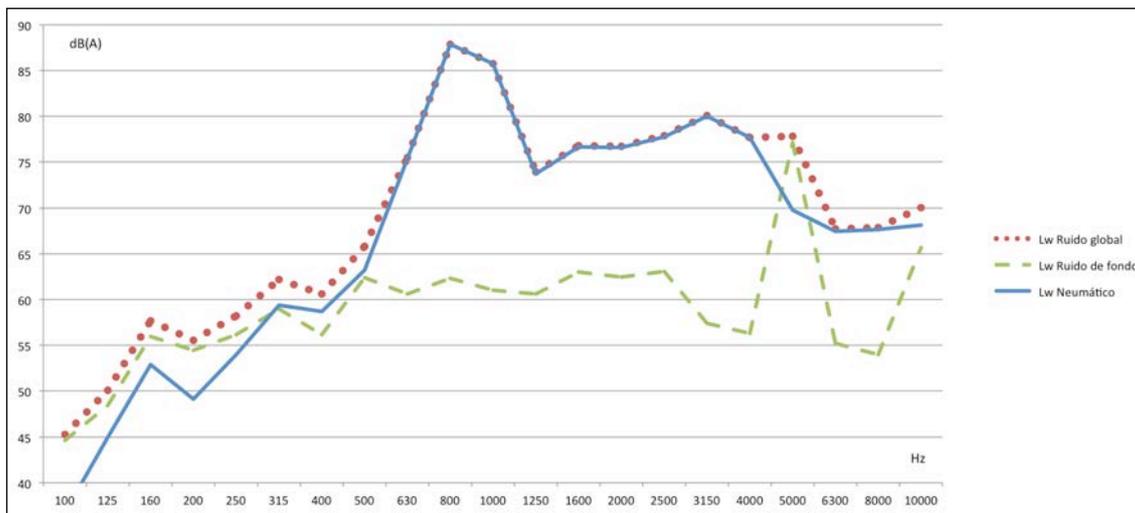


Figura 5: Espectros de ruido de los diferentes micrófonos.

La figura 6 muestra una comparación de los espectros de potencia sonora entre diferentes neumáticos de medida 185/65R15-88H a 80 km/h y el espectro de ruido de tráfico Europeo Normalizado según la norma EN 1793-3 [18]. La figura muestra el nivel de potencia acústica de los neumáticos aislado del ruido emitido por la máquina de ensayo. Como puede verse, los espectros de ruido de los cuatro neumáticos son bastante similares al espectro de ruido de tráfico Europeo Normalizado según la norma EN 1793-3.

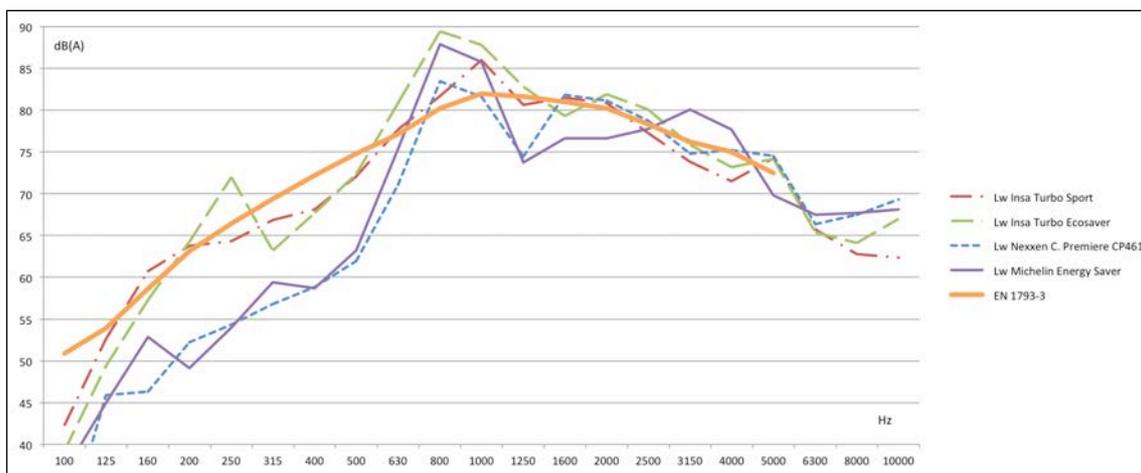


Figura 6: Comparación entre los espectros de diferentes neumáticos medida 185/65R15 88H. y el espectro de ruido de tráfico Europeo Normalizado según la norma EN 1793-3.

Finalmente, la figura 7 muestra la relación entre el nivel de potencia acústica y la velocidad para diferentes neumáticos de tamaño 205/55R16 91V a velocidades entre 40 y 120 km/h. Como era de esperar, el aumento del ruido de rodadura del neumático con la velocidad es considerable y similar al mostrado en otras investigaciones llevadas a cabo con los métodos

Coast-By, *Statistical Pass-By* y *Close-Proximity*, donde la variación del ruido de rodadura con velocidad ha demostrado ser mayor que la variación con cualquier otro parámetro [3].

Es ampliamente conocido que los niveles de ruido de rodadura son proporcionales al logaritmo de la velocidad. Los niveles están bien modelados por la siguiente ecuación:

$$L = A + B \cdot \log(v) \quad (2)$$

donde A y B son coeficientes de velocidad y v es la velocidad en km/h.

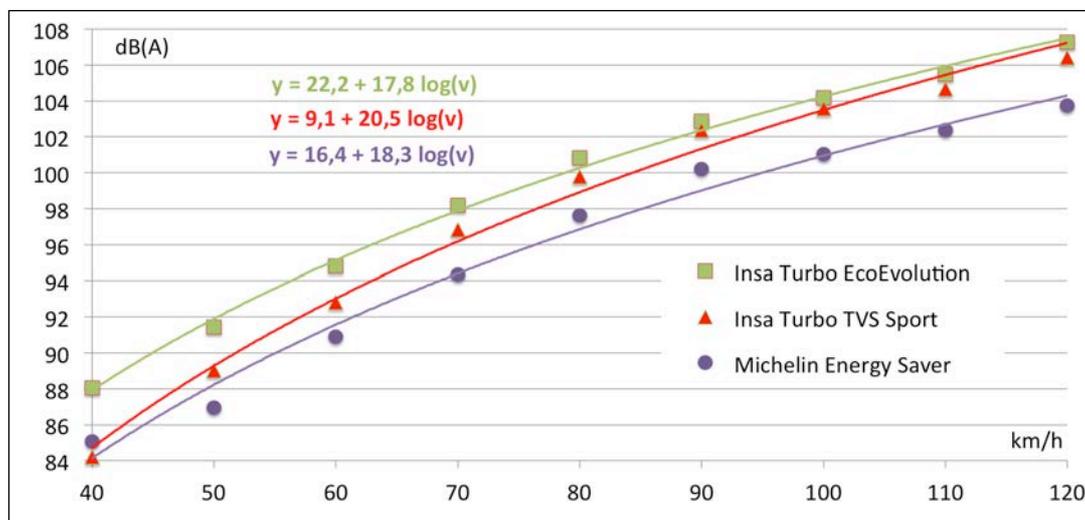


Figura 7: Relación entre el nivel de potencia acústica y la velocidad de ensayo para diferentes neumáticos y sus correspondientes regresiones logarítmicas.

Se ha realizado una regresión logarítmica para cada neumático, mientras que sus ecuaciones correspondientes se muestran en la figura 7. Los coeficientes de velocidad A y B obtenidos en los ensayos en pista con los métodos *Coast-By*, *Statistical Pass-By* y *Close-Proximity* convencionales han sido ampliamente reportados en la literatura técnica [3] y son similares a los obtenidos en el ensayo en laboratorio *Drum* mostrados en ésta gráfica.

3. CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS DRUM.

Una vez analizados los resultados obtenidos durante los ensayos, podemos concluir que el método de ensayo en laboratorio no solo es fiable en términos de repetibilidad y reproducibilidad, además, sus resultados coinciden de manera significativa con los obtenidos experimentalmente utilizando métodos de ensayo en pista convencionales tal y como se puede comprobar analizando los resultados de éstos métodos publicados con anterioridad.

Asimismo, una vez realizada la caracterización de las instalaciones de ensayo de neumáticos, se ha podido comprobar que se supera ampliamente tanto la limitación por ruido de fondo como el criterio de idoneidad para el entorno acústico de ensayo establecidos en la ISO 3744.

Por todo lo argumentado, se puede afirmar que los ensayos realizados en el banco de ensayo de neumáticos del LVUMH son válidos para la obtención de los niveles de potencia sonora L_W que emite un neumático en su rodadura contra el tambor y que los registros obtenidos a partir de dichos ensayos corresponden con los resultados obtenidos por otros grupos de investigación en instalaciones tipo *Drum* y por los ensayos normalizados CB, CPX, SPB o CPB así como con el espectro de ruido de tráfico Europeo Normalizado según la norma EN 1793-3.

Por último, como se desprende de los resultados y como se ha detallado a lo largo ésta sección, el estudio del ruido de rodadura de un neumático girando contra un tambor se debería centrar en el rango de 315 Hz a 4 kHz, ya que dicho rango de frecuencias contiene la información más importante de las emisiones sonoras, evitando al mismo tiempo las perturbaciones de ruido que se pueden producir a altas frecuencias, las cuales, al contener poca energía sonora, pueden omitirse.

Referencias

- [1] International Organization for Standardization ISO 3744, Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane, 1994.
- [2] International Organization for Standardization ISO 13325:2003 Tyres Coast-By methods for measurement of tyre-to-road sound emission.
- [3] U. Sandberg, J.A. Ejsmont, Tyre/road noise reference book, Informex, Kisa, Sweden, 2002.
- [4] UNECE Regulation 117. Uniform provisions concerning the approval of tyres with regard to rolling sound emissions and to adhesion on wet surfaces. 2007.
- [5] Regulation (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning type-approval requirements for the general safety of motor vehicles, their trailers and systems, components and separate technical units intended therefore.
- [6] Regulation (EC) no 1222/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the labelling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameters.
- [7] G. van Blokland, J. Kragh, 30 Different tyres on 4 surface types – How do truck tyre noise levels relate to the test surface, Euro-Noise 2015, Maastrich, (2015) 2147-2152.
- [8] Ka-Yee Ho, Wing-Tat Hung, et al., The effects of road surface and tyre deterioration on tyre/road noise emission, Applied Acoustics 74 (2013) 921-925
- [9] FEHRL Report. Estimating the influence of vehicle body design on the test result – A theoretical approach, Final Report SI2.408210 Tyre/Road noise - Volume 2. FEHRL 2006 129-132.
- [10] F. Anfosso-Lédée, A Former LCPC Experimental Campaign about Repeatability and Reproducibility of SPB and CPB Measurement Methods. SILVIA project. Report SILVIA-LCPC-002-00-WP2-170403
- [11] D. Clar-Garcia, E. Velasco-Sanchez, N. Campillo et al. A new methodology to assess sound power level of tyre-road noise under laboratory controlled conditions in drum test facilities. Applied Acoustics 110 (2016) 23-32
- [12] N. Campillo Davo, R. Peral Orts, E. Velasco Sanchez, An experimental procedure to obtain sound power level of tyre/road noise under Coast-By conditions. Applied Acoustics 74 (2013) 718-727
- [13] U. Sandberg, Possibilities to Replace Outdoor Coast-by Tyre/Road Noise Measurements with Laboratory Drum Measurements, Swedish Road and Transport Research Institute (VTI), Silence Consortium (2005).
- [14] ISO 3745, Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for anechoic rooms and hemianechoic rooms, International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012.
- [15] P. Donovan, Use of the ASTM Standard Reference Test Tire as a Benchmark for On-Board Tire/Pavement Noise Measurement, SAE Technical Paper 2009-01- 2108, 2009
- [16] U. Sandberg, The multi-coincidence peak around 1000Hz in tyre/road noise spectra, Proceedings of Euro-Noise 2003, Naples, Italy, paper ID 498.
- [17] B. Peeters, G. v. Blokland, The noise emission model for European road traffic. Deliverable 11 of the IMAGINE project, IMA55TR-060821-MP10. January 11th. 2007
- [18] EN 1793-3:1998 Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 3: Normalized traffic noise spectrum.
- [19] ISO/CD 11819-2, Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: “The Close Proximity Method”. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland, 2000.