

## FIA 2018

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

# MONITORIZACIÓN CONTINUA DEL ESTADO DEL PAVIMENTO, A TRAVÉS DE LAS REDES DE MONITORIZACIÓN ACÚSTICA EN LAS SMARTS CITIES

PACS: no. 43-50.Lj, 43-50.Gf, 43-50.Ki, 43-50.Yw.

Sánchez Sánchez, Rafael (a); Fortes Garrido, Juan Carlos (b); Bolivar Raya, Juan Pedro (c)  
Universidad de Huelva  
Campus de El Carmen  
21071 Huelva. España  
Tel: +34959217420 (a); +34959217318 (b); +34959219793 (c)  
E-Mail: (a) [rafael.sanchez@dimme.uhu.es](mailto:rafael.sanchez@dimme.uhu.es); (b) [jcfortes@dimme.uhu.es](mailto:jcfortes@dimme.uhu.es); (c) [bolivar@uhu.es](mailto:bolivar@uhu.es)

**Palabras Clave:** traffic noise; noise monitoring networks; smart city; pavement.

## ABSTRACT

The Acoustic Monitoring Networks (RMA) implemented in the Smarts Cities, allow control in real time, the acoustic environment of the areas of the city. But, also through the study of this communication, it is demonstrated that these RMA's, would also allow to have a continuous monitoring of the state of conservation of the pavement of the roads, and based on it being able to decide the moment of the resurfacing of the streets; the asphalt mixture to be used; and even if some pavement must be replaced by a quieter one. This study shows that only with the replacement of the asphalt layer aged for six years, an improvement of up to 7 dBA is achieved in the LAeq, 24h of the vials analysed.

## RESUMEN

Las Redes de Monitorización Acústica (RMA) implementadas en las Smarts Cities, permiten controlar en tiempo real, el ambiente acústico de las áreas de la ciudad. Pero, además a través del estudio de esta comunicación, se demuestra que estas RMA's, permitirían también tener una monitorización continua del estado de conservación del pavimento de los viales, y en base a ella poder decidir el momento del reasfaltado de las calles; la mezcla asfáltica a utilizar; e incluso si debe sustituirse algún pavimento por otro más silencioso. En este estudio se comprueba que solamente con la reposición de la capa asfáltica envejecida durante seis años, se consigue una mejora de hasta 7 dBA en el LAeq, 24h de los viales analizados.

## 1. Introducción

Uno de los mayores problemas actuales de la sociedad, son los altos niveles de ruido a los que están expuestas las ciudades. Después de la contaminación del aire y el agua, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011), declaró la contaminación acústica como el problema ambiental más importante del mundo. Por lo tanto, la preocupación por esta forma de contaminación está

## FIA 2018

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

adquiriendo cada día más relevancia, especialmente en las zonas urbanas (COMISIÓN EUROPEA: DOCUMENTO DE TRABAJO DEL PERSONAL DE LA COMISIÓN, 2016) (Prieto Gajardo, et al., 2016).

Conscientes de este problema, muchos ayuntamientos están implementando diferentes tipos de Redes de Monitoreo de Ruido (RMR), con el objetivo de mantener información en tiempo real de los niveles de ruido ambiental en las calles más importantes de sus ciudades, monitoreando los principales parámetros acústicos durante todo el año (Botteldooren, et al., 2011). Estas RMR aportan mucha información; por ejemplo: 1) detectar áreas de la ciudad que incumplen los objetivos de calidad acústica establecidos por la legislación; 2) obtener mapas de ruido dinámico del municipio a través del espacio y el tiempo. 3) obtener los datos acústicos necesarios para desarrollar e implementar planes de reducción de ruido; y 4) dar información al público sobre la contaminación acústica en las diferentes áreas y horas.

En relación con las diferentes fuentes de ruido, la mayoría de los estudios realizados, detectan que el tráfico rodado representa la fuente más importante de ruido urbano (Suksaard, et al., 1999) (Li, et al., 2002) (Ali, et al., 2003) (Ibarra, et al., 2010) (Sánchez-Sánchez, et al., 2015). Además, la estructura del flujo de tráfico (y el resultado del patrón tiempo) influye en los de su molestia (Kaczmarek, et al., 2010) (Makarewicz, et al., 2016). El ruido del tráfico está generado por diferentes subfuentes, que pueden clasificarse en tres categorías generales: a) ruido de la unidad de potencia (motor, ventilador, escape y la transmisión, etc.); b) ruido aerodinámico, que está relacionado con el flujo de aire turbulento alrededor del vehículo; y c) ruido de neumático / pavimento (Lamure, 1986) (Hanson, et al., 2004) (Young, 2014) (Braun, et al., 2013) (Bernhard, et al., 2005) (Sandberg, 2001).

En los últimos años, la Unión Europea, preocupada por el problema del ruido generado por el neumático / pavimento, ha aprobado varias regulaciones que buscan influenciar a la industria del neumático para reducir el consumo de combustible del vehículo y el ruido generado por esta subfuente en las ciudades europeas ( Reglamento no 117, 2008) (REGLAMENTO (CE) No 1222/2009, 2009).

También la industria automovilística ha estado desarrollando motores progresivamente más silenciosos, especialmente después de la aparición de motores híbridos y motores eléctricos. Lo mismo puede decirse de la industria del neumático, especialmente en las últimas décadas. Sin embargo, aunque se están fabricando pavimentos de asfalto más silenciosos hoy en día, con la adición de caucho reciclado al aglutinante, (Licitra, et al., 2015) (Sandberg, et al., 2013) (Vázquez, et al., 2012), esta novedad no ha resuelto el aumento del ruido proveniente del deterioro de la superficie del pavimento.

Específicamente, para estudiar el ruido de neumáticos / pavimentos, se desarrollaron diferentes métodos: transferencia estadística (SPB), procedimientos de paso controlado (CPB) o métodos de proximidad (CPX) (Kropp, et al., 2007). Muchas normativas están relacionadas con estos métodos, como ISO 362 (ISO 362, 2015), ISO 11819-1 (ISO 11819-1, 2013), ISO 11819-2 (ISO / FDIS 11819-2, 2016), ISO 10844 (ISO 10844, 2011) y el método del "tambor" en el laboratorio (Bernhard, et al., 2005). Estos métodos miden el ruido bajo una situación específica y concreta, y se usan para estandarizar diferentes tipos de neumáticos (Licitra, et al., 2015) y pavimentos (Sohaney, et al., 2012) (Sandberg, 2003), pero lo hacen sin analizar la evolución continua del ruido producido por la degradación del pavimento.

El primer objetivo de este trabajo fue analizar la relación entre el ruido debido al tráfico y el estado de la superficie del pavimento. En segundo lugar, desarrollar un método que permita el monitoreo continuo del estado de deterioro de la superficie del pavimento en las calles principales de una ciudad mediante el uso de la información provista por las RMR's.

## 2. Methodology and Materials

La RMR implementada en Huelva consta de 21 estaciones de medición instaladas en los puntos más significativos de la ciudad, de acuerdo con su intensidad del tráfico. Cada estación está formada por un sonómetro de intemperie de la marca EcuDap y modelo SRD 500, cuyas características son:

## FIA 2018

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

- Rango de medición: 42-105 dBA
- Tipo de medidas: LAeq, 1 min.
- Precisión tipo II según IEC 651 (UNE-EN-60651)
- Grado de protección: Sistema de parabrisas de micrófono IP45
- Información de envío: cada 83 registros guardados
- Envío medio: por SMS a través de la red GSM o GPRS

El diagrama de la red RMR se muestra en la Fig. 1

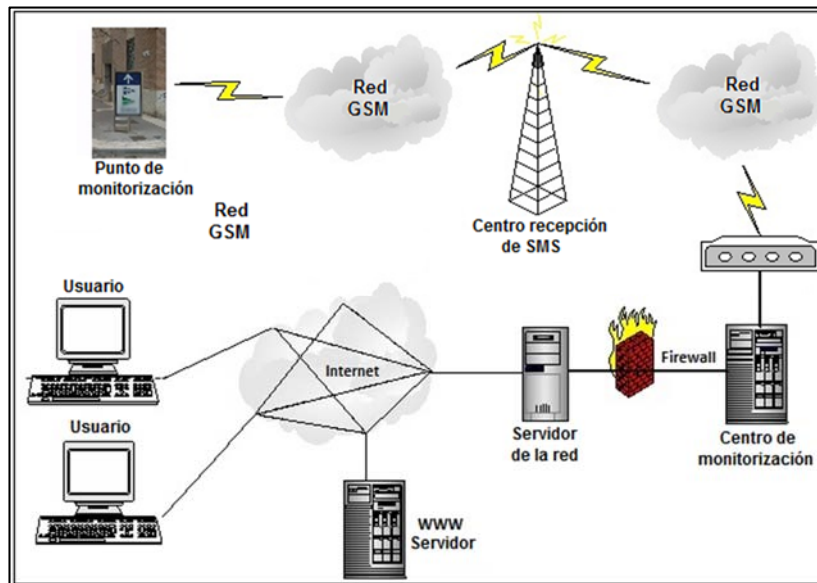


FIG. 1. Diagrama de la Red de Monitoreo del Ruido

### 2.1. Área de estudio

Para realizar este estudio, se seleccionaron cuatro de las calles que tienen altos flujos de tráfico. Sus códigos y ubicaciones se muestran en el plano de la Fig. 2.

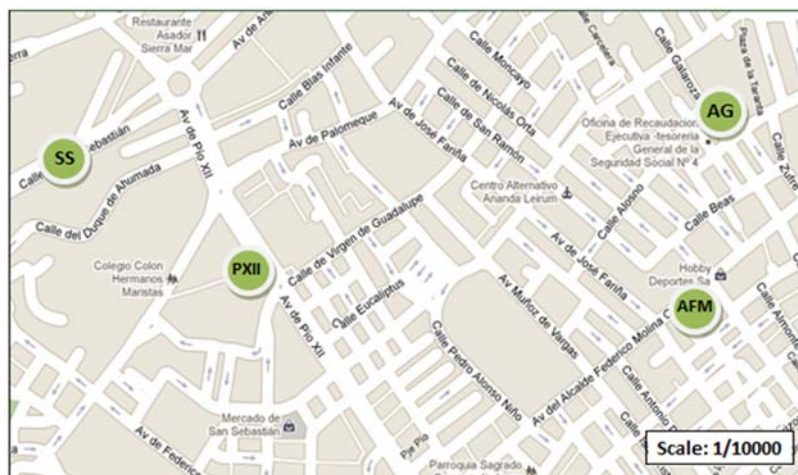


FIG. 2. Mapa de puntos de medición en las principales vías de la ciudad.

- Calle San Sebastian (código: SS)

## FIA 2018

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

- Avenida Pío XII (código: PXII)
- Avenida de Galaroza (código: AG)
- Avenida de Federico Molina (código: AFM)

El criterio que se siguió para seleccionar estas cuatro estaciones de monitorización, fue: 1) Que todas estas calles se hubiesen repavimentado en febrero de 2011, y por tanto con seis años desde el anterior asfaltado; 2) Que cada una de estas calles, dispusiera de una estación de monitorización; 3) Que estas tuvieran un alto flujo de tráfico; 4) Que la velocidad límite de circulación en todas ellas fuese el mismo; 5) Que el tipo de mezcla asfáltica de todas ellas fuese el mismo (código: AC 16 SURF 35/50 D); y 6) Que las densidades de población de todas ellas fuesen similares.

## 2.2. Metodología

Para realizar este estudio, se utilizaron los niveles de ruido de un mes completo, antes y después del asfaltado, con el fin de analizar la evolución producida por el reasfaltado, en los diferentes parámetros de ruido ( $L_{Aeq, 1h}$ ,  $L_{A10}$ ,  $L_{A50}$ ,  $L_{A90}$ ,  $L_{Amax}$  y  $L_{Amin}$ ). Los períodos de tiempo analizados fueron: del 15 de noviembre al 14 de diciembre de 2010, para el período anterior al reasfaltado; y del 15 de marzo al 14 de abril de 2011 para el período posterior al reasfaltado. Se utilizaron un total de 40320 x 2 medidas de 1 minuto, ya que los fines de semana se eliminaron de la base de datos debido a que la evolución del ruido durante estos días fue completamente diferente a los días hábiles.

Por otro lado, también se usaron los flujos de tráfico (TF), medida en base a la cantidad de vehículos por hora que circulan por las citadas calles. Estos datos fueron aportados por el Centro de Gestión de Tráfico de la Ciudad de Huelva, dependiente del Ayuntamiento.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Flujo de Tráfico

Los valores de flujo de tráfico (TF,  $v \cdot h^{-1}$ ) a lo largo del período de 24 h para las cuatro calles estudiadas, antes y después del asfaltado, se puede observar en la Fig. 3.

Es bien conocido que el flujo de tráfico (TF) para un período de tiempo específico sigue una distribución de Poisson, lo que indica que la incertidumbre estándar (U) del valor promedio (TF) puede calcularse mediante la raíz cuadrada de TF ( $U = TF^{1/2}$ ) (Tsay, et al., 2003). Además, se calcularon los intervalos de confianza para TF, antes y después del asfaltado de las calles, y para cada hora del día; no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas (con un nivel de confianza del 95%) al aplicar la prueba t-Student para muestras pareadas (antes y después) en cada una de las calles. Las diferencias pareadas promedio de TF y sus incertidumbres estándar (antes y después) fueron:  $-50 \pm 18 v \cdot h^{-1}$  (SS),  $-100 \pm 50 v \cdot h^{-1}$  (PXII),  $112 \pm 62 v \cdot h^{-1}$  (FM),  $-29 \pm 19 v \cdot h^{-1}$  (AG), lo que demuestra que para cada calle no hay diferencias significativas en los flujos de tráfico antes y después del asfaltado. Por lo tanto, que el parámetro TF no afecta a la variación de los niveles de ruido medidos antes y después del reasfaltado.



FIA 2018

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

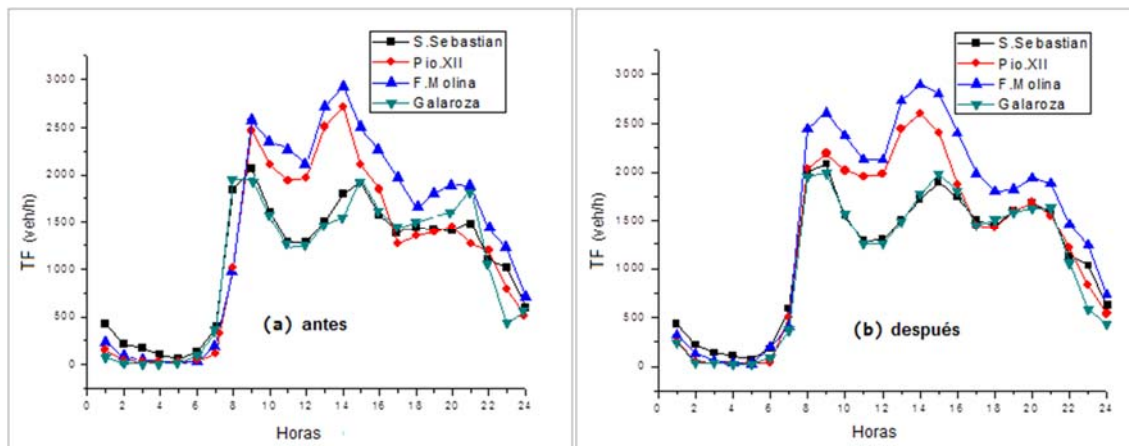


FIG. 3. Flujos de tráfico: (a) antes del asfaltado, (b) después del asfaltado

La Fig. 3 (a) y 3 (b) muestran que los patrones de TF a lo largo del día son muy similares para AG-SS y PXII-AFM. Se observan flujos de tráfico muy bajos de 01:00 a 06:00 h, mientras que de 07:00 a 08:00 se produce un gran aumento en el flujo de tráfico, alcanzando un máximo relativo alrededor de las 09:00 h, que es la hora en que los alumnos tanto de primaria como de secundaria, acceden a los colegios e institutos. Desde este momento hasta las 21:00 h, se pueden observar dos picos relacionados con las actividades humanas (14:00 h para el almuerzo, y 21:00 h para el horario de cierre de los comercios). Por último, de 22:00 a 02:00 h, el tráfico el flujo disminuye hasta alcanzar un mínimo de 02:00 a 06:00 h ("plateau" nocturno).

### 3.2. Nivel de ruido

De acuerdo con las normas ISO (ISO 1996-1, 2003) e (ISO 1996-2, 2007), y con el objetivo de estudiar la evolución diaria del ruido, se calcularon los parámetros acústicos:  $L_{Aeq, 1h}$ ,  $L_{A10}$  y  $L_{A90}$ , para cada calle y hora del día, a partir de los datos medidos de  $L_{Aeq, 1min}$ . Además, para cada calle, se calculó la reducción (antes - después del asfaltado) producida en los anteriores parámetros; mostrándose su evolución horaria en la Fig. 4. En ella se observa una reducción sistemática del nivel de ruido (positiva), en los valores de cada calle. La máxima reducción de ruido ocurre durante el día (9:00 - 14:00h), como se observa en la Fig. 4, siendo el pico de 10 dBA para las calles SS, PXII y AG, y solo 5 dBA de calle AFM.

La reducción de ruido es alrededor de 0 o incluso negativa (calles SS y AFM) de 02:00 a 05:00 h. Este resultado era previsible, al tener en cuenta que durante este intervalo de tiempo de la noche, se espera que la contribución del tráfico al nivel total de ruido sea insignificante, ya que el TF es prácticamente nulo (véase la Fig. 3). Además, para el  $L_{A10}$  (promedio de los picos) y  $L_{A90}$  (fondo promedio), se obtuvieron resultados similares durante todo el día. Sin embargo, algunas diferencias se producen durante la noche, principalmente debido a que el ruido del tráfico es insignificante y los ruidos puntuales son producidos por fuentes de ruido más aleatorias, provenientes de otras actividades humanas.

Estos hechos muestran que durante el día (06:00-00:00 h) el ruido se produce principalmente por el tráfico, mientras que durante las madrugadas, la influencia del tráfico en el ruido es prácticamente nula.

## FIA 2018

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

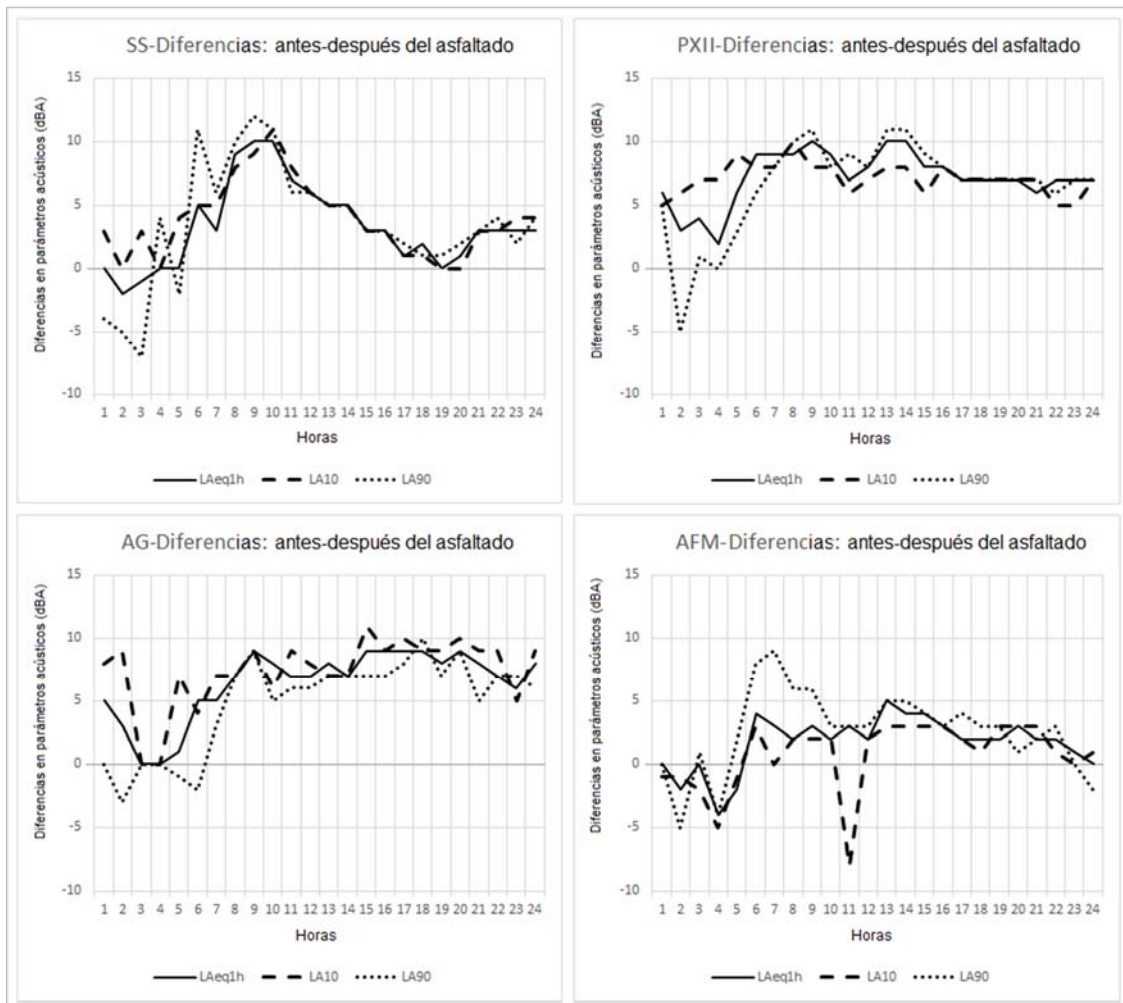


FIG. 4. Evolución diaria de las diferencias de parámetros acústicos antes y después del asfaltado

### 3.3. Relación entre el flujo de tráfico y el nivel equivalente

La relación entre el flujo de tráfico y  $L_{Aeq, 1h}$  de cada una de las cuatro calles, antes y después del asfaltado, se muestra en las Figs. 5-8, las cuales indican que hay una buena regresión lineal entre estas variables. Los parámetros de los ajustes lineales realizados por mínimos cuadrados (intersección y pendiente), con sus incertidumbres y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) se muestran debajo de cada una de estas figuras.

El significado de la intersección es obvio, representa el nivel de ruido cuando  $\log TF = 0$ ; es decir, cuando TF es muy bajo o nulo ( $TF = 1 \text{ veh} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Teniendo en cuenta este resultado, el ruido antes y después del asfaltado es prácticamente el mismo, lo que confirma que la disminución del ruido durante el día se debe al nuevo pavimento de las calzadas de las calles.

Por otro lado, la pendiente de la recta de regresión representa la tasa de crecimiento del nivel de ruido a medida que aumenta el logaritmo del flujo de tráfico. Por lo tanto, teniendo en cuenta que el nivel continuo equivalente durante el tiempo de medición T es el logaritmo de la energía acústica recibida, en un punto específico y calle, el nivel continuo equivalente con un TF constante, si se elimina el fondo, viene dado por siguiente ecuación:

$$L_{eq, T} = 10 \cdot \log \left( \frac{E_0}{p_r^2 T} \right) + 10 \cdot \log(TF) \quad [1]$$

FIA 2018

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

Donde  $E_0$  es el nivel de exposición de sonora de un vehículo en el punto considerado de la carretera,  $p_r$  la presión acústica de referencia ( $p_r = 20 \mu\text{Pa}$ ), y TF el flujo de tráfico, o el número de vehículos (cantidad adimensional), durante el tiempo de medición T. El hecho de que las pendientes de los ajustes, dentro de las incertidumbres experimentales, sean compatibles con el valor de 10, confirma que el tráfico rodado es la principal fuente de ruido en las cuatro calles analizadas.

De la Eq. [1], y considerando la constante promedio de los ajustes ( $33.8 \pm 1.8 \text{ dBA}$ ), la exposición acústica producida por un vehículo puede calcularse como  $9.7 \pm 3.9 \times 10^{-7} \text{ Pa}^2\text{s}$ . También se puede suponer que la pendiente es exactamente 10, y calcular la ordenada en el origen para cada calle y medida del intervalo de tiempo (antes y después).

Por otro lado, si la pendiente se da con un valor de 10 dBA (no se considera un parámetro de ajuste), y tomando la ecuación anterior como válida, el SEL medio (nivel de sonido equivalente) para cada calle y tiempo (antes y después) asfaltado se puede calcular. Las exposiciones de ruido (NE) y las incertidumbres estándar, en  $10^{-6} \text{ Pa}^2\text{h}$ , que se muestran en la Tabla 1.

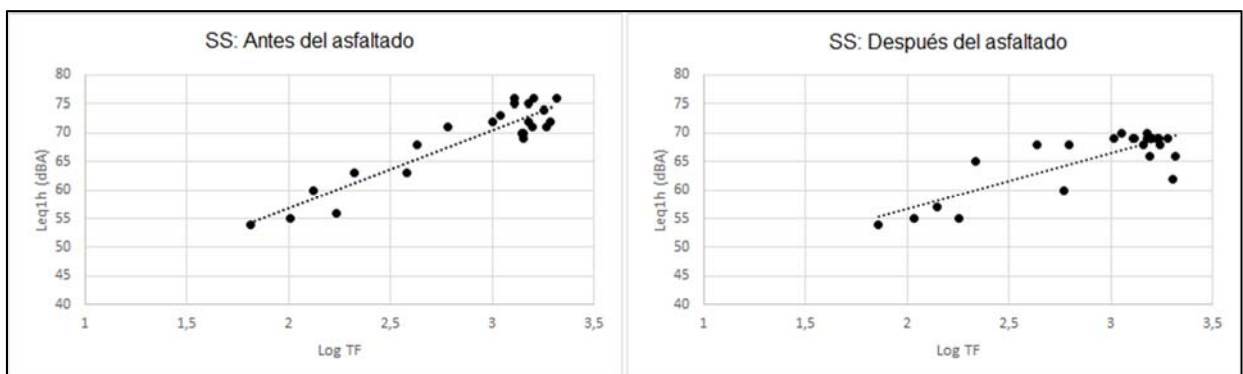
TABLA I. Exposiciones de ruido de los vehículos (NE) ( $\text{NE}, 10^{-6} \text{ Pa}^2\text{h}$ ), para cada calle y periodo

	SS	PXII	AFM	AG
Antes	$4.9 \pm 0.6$	$3.5 \pm 0.2$	$4.2 \pm 0.2$	$3.4 \pm 0.6$
Después	$2.2 \pm 0.3$	$0.58 \pm 0.04$	$2.45 \pm 0.18$	$0.17 \pm 0.08$
NE (%)	$55 \pm 8$	$83.4 \pm 1.5$	$41 \pm 5$	$95 \pm 3$

Por otro lado,  $R^2$  es más pequeño después del asfaltado, lo que indica que el tráfico tiene una menor participación en el ruido total debido a la mejora del estado del pavimento.

Finalmente, como comentario general para las Figs. 5-8, los valores de las pendientes obtenidas son alrededor de 10, si se consideran las incertidumbres estándar. Este hecho demuestra que el tráfico es la principal fuente de ruido en las calles analizadas.

Muchos estudios han demostrado una correlación directa entre la rugosidad de la carretera y el nivel de ruido debido a la rodadura de los neumáticos (Cantisani, et al., 2013). Es decir, el asfalto a velocidades intermedias es la principal fuente de ruido considerando una TF constante. La reducción del NE obtenida (Tabla 1) demuestra claramente que se produce una alta reducción del ruido del vehículo después del asfaltado de la carretera, lo que demuestra que la degradación del pavimento es el factor más importante en el ruido generado por el tráfico en una ciudad.



	Coefficientes	Incertidumbres	Coefficiente s	Incertidumbres
Intersección	29.5	3.4	37.3	4.2
Pendiente	13.7	1.2	9.7	1.4
Coef. Det. $R^2$	0.86		0.68	
Error típico	2.6		3.0	

**FIA 2018**

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

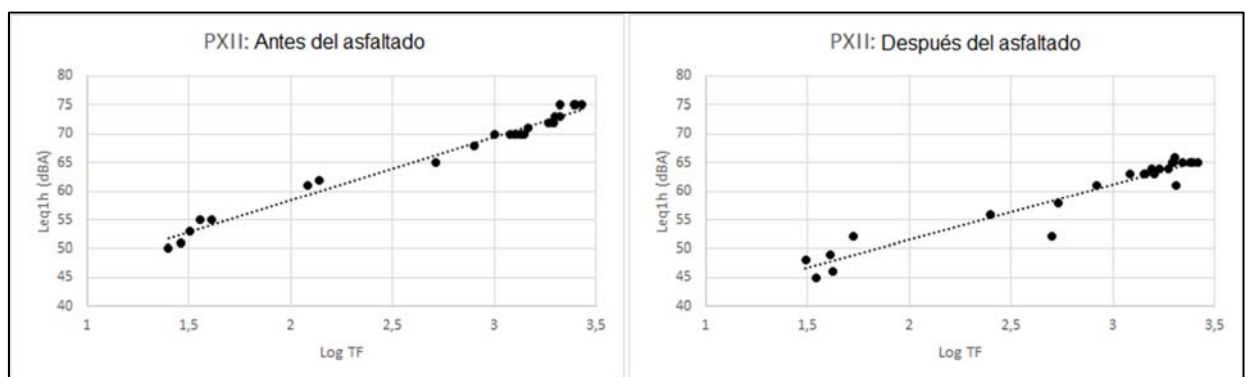
FIG. 5. Relación entre el flujo de tráfico (Log) y el  $L_{Aeq}$  en la calle S. Sebastián: a) Antes del asfaltado; b) Después del asfaltado.

La Fig. 5 muestra la dependencia de  $L_{Aeq, 1h}$  frente al flujo de tráfico (TF) para la calle SS, mostrando bajos coeficientes de correlación en relación con PXII y AG. Por el contrario, la pendiente antes del extendido ( $13.6 \pm 1.2$ ) es mucho más alta que después ( $9.7 \pm 1.4$ ).

Sin embargo, las intersecciones (ordenadas en el origen) son muy similares teniendo en cuenta las incertidumbres estándar experimentales (Antes:  $29,4 \pm 3,4$  dBA; Después:  $37,3 \pm 4,2$  dBA). Este resultado indica que el ruido de fondo (TF = 0), es decir, ruido no proveniente del tráfico, es similar para ambos períodos de medición.

La Fig. 6 muestra  $L_{Aeq, 1h}$  frente al flujo de tráfico en la Avenida PXII, mostrando los más altos coeficientes de determinación ( $R^2 > 0.98$  y  $0.93$ , respectivamente), indicando que para ambos períodos de medición, el tráfico es la principal fuente de ruido. De hecho, esta avenida apenas tiene actividades comerciales, y el flujo peatonal es el más bajo de las cuatro calles estudiadas. Además, para después del asfaltado, se encuentra una pendiente de  $9.7 \pm 0.6$ , de acuerdo con el valor teórico de 10, lo que demuestra que el resto de las fuentes de ruido es insignificante (por ejemplo, peatones, tiendas, restaurantes, etc.). Finalmente, cabe señalar que PXII y AG tienen las mayores reducciones de nivel de  $83.4 \pm 1.5\%$  y  $95 \pm 3\%$ , respectivamente.

Se obtuvieron resultados similares para las calles AG y AFM. Destar que para la calle AFM, se obtuvo el  $R^2$  más bajo ( $0.86$  y  $0.68$ , respectivamente) (Fig. 8). Este resultado debe estar relacionado con el hecho de que AFM es la calle con tasas más altas de otras actividades, como tiendas, flujos peatonales, etc. Además, la intersección no cambia antes y después del asfaltado (de  $37.0 \pm 0.7$  a  $38.1 \pm 2.4$ ), que indica que no hay variación en las fuentes alternativas al tráfico antes y después del asfaltado.



	Coefficientes	Incertidumbres		Coefficientes	Incertidumbres
Intersección	36.3	0.9	Intersección	32.1	1.7
Pendiente	11.1	0.3	Pendiente	9.7	0.6
Coef. Det. $R^2$	0.98		Coef. Det. $R^2$	0.93	
Error típico	1.1		Error típico	1.9	

FIG. 6. Relación entre el flujo de tráfico (Log) y el  $L_{Aeq}$  en la Av. Pio XII: a) Antes del asfaltado; b) Después del asfaltado.



FIA 2018

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

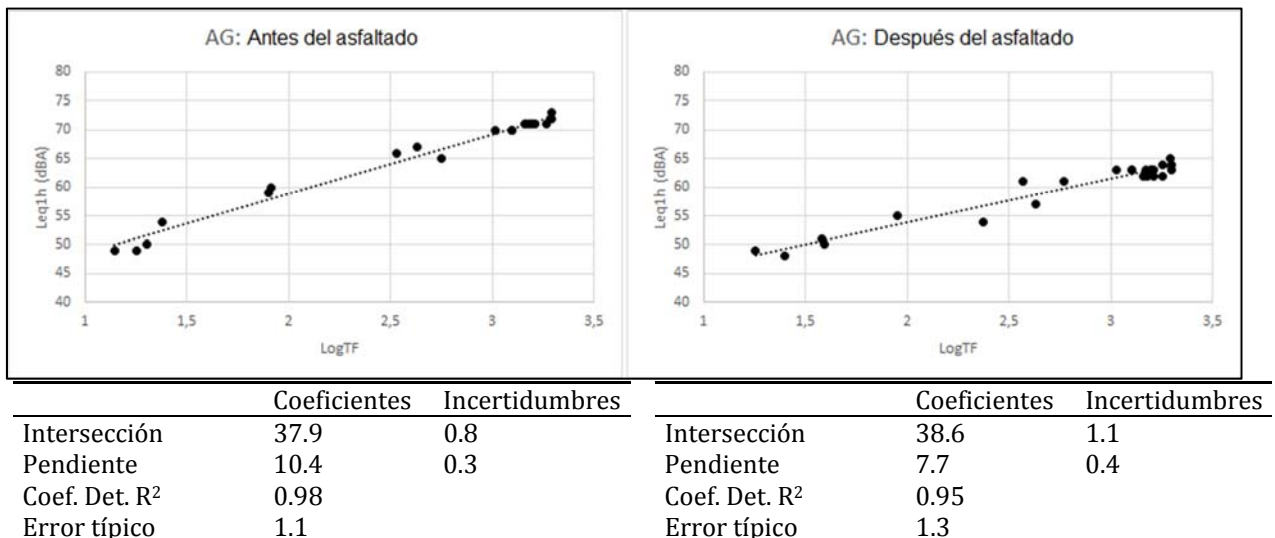


FIG. 7. Relación entre el flujo de tráfico (Log) y el L<sub>Aeq</sub> en la Av. Galarzo: a) Antes del asfaltado; b) Después del asfaltado.

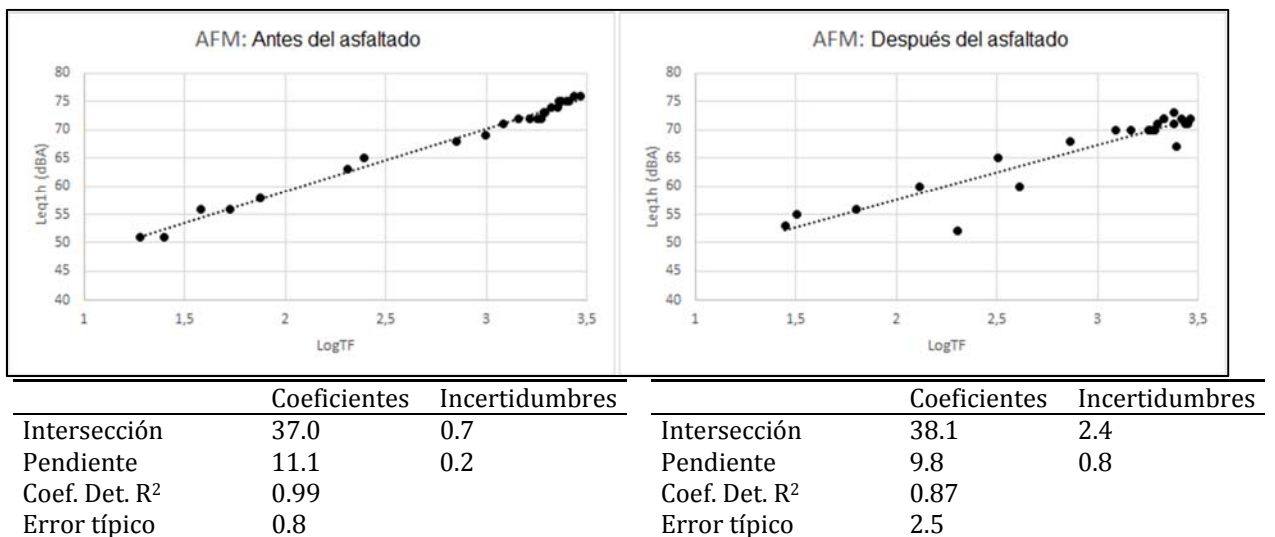


FIG. 8. Relación entre el flujo de tráfico (Log) y el L<sub>Aeq</sub> en la Av. F. Molina: a) Antes del asfaltado; b) Después del asfaltado.

### 3.4. Comparación de los niveles L<sub>d</sub> y L<sub>n</sub> con los objetivos de calidad acústica

Para analizar si los niveles de ruido equivalente de estas cuatro calles alcanzaron los objetivos de calidad acústica (OCA) establecidos en la legislación española (RD: 1367, 2007) para las áreas urbanizadas existentes con un predominio del uso residencial, se presentan a continuación los histogramas de la Fig. 9, en donde se muestran los valores del nivel equivalente de día (L<sub>d</sub>) y el nivel equivalente de noche (L<sub>n</sub>).

FIA 2018

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

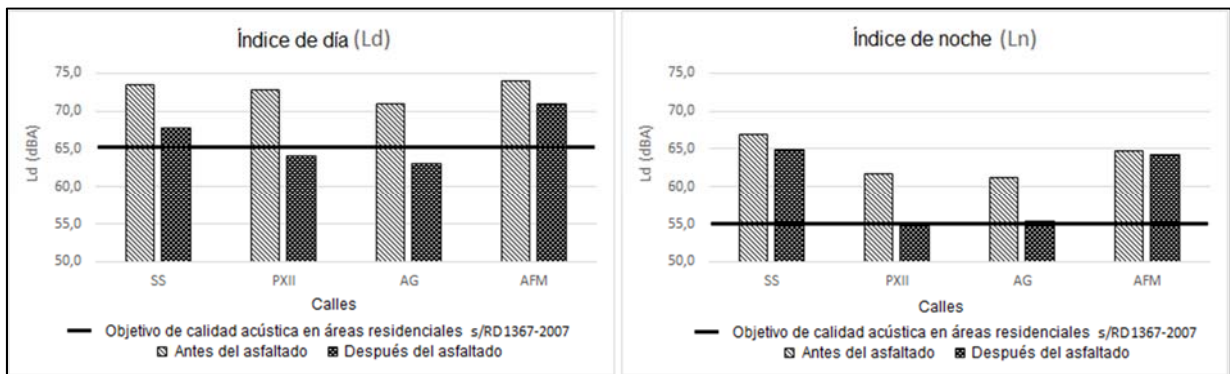


FIG 9. Histogramas comparativos de  $L_d$  y  $L_n$  con objetivos de calidad acústica

La Fig. 9 muestra que antes del asfaltado todas las calles superan los AQO, observando que después del asfaltado, al menos en las calles comerciales (PXII Avenue y Galaroza Avenue), se llega a los OCA. Sin embargo, en las calles con más locales comerciales y de ocio (a saber, la calle San Sebastián y la avenida Federico Molina), la reducción de nivel que tiene lugar con el asfaltado es insuficiente para llegar a los OCA. Este resultado puede explicarse teniendo en cuenta que en las calles mencionadas, existen otras fuentes como las actividades comerciales y de ocio que no son insignificantes en relación con la fuente de tráfico rodado.

#### 4. Conclusiones

Con este estudio se ha intentado determinar la influencia, que la degradación del pavimento produce en el ruido generado por el tráfico en la ciudad de Huelva. Se seleccionaron cuatro calles relevantes, y los datos fueron tomados de la Red de Monitorización Acústica (RMA) instalada hace varios años en diferentes puntos de la ciudad.

Se determinó una muy buena correlación lineal entre  $L_{Aeq, 1h}$  y el flujo de tráfico por hora ( $R^2 = 0.7 \div 0.95$ ), lo que demuestra que el ruido del tráfico es la principal fuente de ruido en las calles.

La primera conclusión que se obtuvo, fue que se produce una reducción significativa en el nivel continuo equivalente de una hora después del reasfaltado de las calles, siendo la disminución promedio de  $L_{Aeq, 24h}$  para las calles SS, PXII, AG y AFM de: 4.4, 8.2, 7.8 y 2.7 dBA, respectivamente.

Antes del reasfaltado de las cuatro calles estudiadas, el  $L_{Aeq, T}$  para los períodos diario y vespertino eran muy similares, oscilando entre  $62.8 \div 71.0$  dBA, mientras que durante el período nocturno se midieron  $61.2 \div 66.8$  dBA para el mismo índice.

Al comparar los objetivos de calidad acústica establecidos por el Real Decreto 1367/2007 (RD: 1367, 2007) para las zonas urbanizadas con los niveles de ruido obtenidos para los diferentes períodos del día, demostramos que, en todos los períodos y calles, se superaron. Por otro lado, después del reasfaltado solo para las calles donde el tráfico es la única fuente de ruido relevante, se alcanzaron dichos objetivos (PXII, AG). Sin embargo, para las calles con altas actividades comerciales o de ocio (SS, AFM), los nuevos niveles de ruido, aunque mejoraron, después de repavimentar continuaban por encima de los OCA, lo que demuestra que las otras actividades (compras, recreación, etc.), tienen una ponderación similar al ruido del tráfico en dichas calles.

Este estudio resaltó la importancia de las Redes de Monitoreo Acústico implementadas en las ciudades más innovadoras, permitiendo el registro en tiempo real de los niveles de ruido ambiental de sus principales arterias. Estas son redes que detectan áreas de la ciudad que exceden las pautas para los objetivos de calidad acústica establecidos por la legislación; desarrollar e implementar planes de acción para combatir el ruido; y proporcionar información al público, sobre la contaminación acústica en sus ciudades en diferentes áreas y horas del día: ver <http://www.controlruidohuelva.es/>.

## FIA 2018

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

Además, fue claramente ventajoso utilizar estas RMA's con respecto a los métodos Close-Proximity Methods (CPX) para evaluar la emisión de ruido de un neumático de un automóvil al rodar sobre el pavimento, como se describe en la norma ISO ( ISO / FDIS 11819-2, 2016), ya que la mejora en la contaminación acústica se analiza en condiciones reales. Esto se debe a que la RMA permite analizar dinámicamente el deterioro del pavimento de cada una de las calles, a través de la evolución continua del ruido, y todo ello en tiempo real.

Finalmente, es importante destacar que esta metodología podría ser utilizada por las autoridades municipales para decidir cuándo se debe realizar la repavimentación de cada calle, teniendo en cuenta el tipo de pavimento y los OCA establecidos, en base a la información proporcionada por las RMA's.

### Agradecimientos:

Agradecemos a Francisco García Martín, Jefe del Departamento de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Huelva, al Centro de Gestión del Tráfico de Huelva, y a Rafael Cáceres (de Sacener), la información proporcionada sobre la RMA y datos de tráfico.

### Referencias:

1. **Ali SA and Tamura A** *Analysis of road traffic noise level and control in Greater Cairo, Egypt* [Journal] // Acoustical Science and Technology. - 2003. - 6 : Vol. 24. - pp. 358-364.
2. **Bernhard R. and Wayson R.L.** *An Introduction to Tire/Pavement Noise of Asphalt Pavement* [Report]. - Lafayette, Indiana (EE.UU) : Purdue University, 2005.
3. **Botteldooren D. [et al.]** *Sound Monitoring Networks New Style* [Journal] // Proceedings of Acoustics. - 2011. - November 2011. - p. Paper 93.
4. **Braun M.E. [et al.]** *Noise source characteristics in the ISO 362 vehicle pass-by noise test: Literature review* [Journal] // Applied Acoustics. - 2013. - 11 : Vol. 74. - pp. 1241-1265.
5. **Cantisani G., Fascinelli G. and Loprencipe G.** *Urban Road Noise: The Contribution of Pavement Discontinuities* [Journal] // American Society of Civil Engineers. - 2013. - November 7-9. - pp. 327-334.
6. **EUROPEAN COMMISSION: COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT** *Executive summary of the refit evaluation of the Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise* [Report] = SWD(2016) 455 final. - 2016.
7. **Guarnaccia C [et al.]** *New Perspectives in Road Traffic Noise Prediction* [Conference] // Latest Advances in Acoustics and Music. - Iasi (Romania) : [s.n.], 2013.
8. **Hanson D.I., James R.S. and NeSmith C.** *Tire/Pavement Noise Study* [Report]. - Auburn, Alabama (EE.UU.) : National Center for Asphalt Technology, 2004.
9. **Ibarra D., Cobo P. and Bravo T.** *Measurement of the contribution of each individual vehicle to the road traffic noise.* [Journal] // The Journal of the Acoustical Society of America. - 2010. - 4 : Vol. 128.
10. **ISO 10844** Acoustics — *Specification of test tracks for measuring noise emitted by road vehicles and their tyres* [Report]. - Geneva (Switzerland) : International Organisation for Standardization, 2011.

## FIA 2018

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

11. **ISO 11819-1** Acoustics -- *Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical Pass-By method* [Report]. - Geneva (Switzerland) : International Organisation for Standardization, 2013.
12. **ISO 1996-1** Acoustics -- *Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures* [Report]. - [s.l.] : International Organisation for Standardization, 2003.
13. **ISO 1996-2** Acoustics -- *Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of environmental noise levels* [Report]. - [s.l.] : International Organisation for Standardization, 2007.
14. **ISO 362** *Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles -- Engineering method* [Report]. - Geneva (Switzerland) : International Organisation for Standardization, 2015.
15. **ISO/FDIS 11819-2** Acoustics -- *Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise -- Part 2: The close-proximity method* [Report]. - Geneva (Switzerland) : International Organization for Standardization, 2016.
16. **Kaczmarek T. and Preis A.** *Annoyance of Time-Varying Road-Traffic Noise* [Journal] // Archives of Acoustics. - 2010. - 3 : Vol. 35. - pp. 383–393.
17. **Kompala J. and Lipowczan A.** *Noise hazard to the population of areas connected with functioning of roadway frontier crossings* [Journal] // Archives of Acoustics. - 2007. - 2 : Vol. 32. - pp. 279-286.
18. **Kropp W [et al.]** *Reduction Potential of Road Traffic Noise. A Pilot Study* [Journal] // Applied Acoustics. - 2007.
19. **Lamure C** *Road Traffic Noise: Generation, Propagation and Control* [Book Section] // Noise Pollution. - Chichester : John Wiley & Sons Ltd., 1986.
20. **Li B, Tao S and Dawson RW** *Evaluation and analysis of traffic noise from the main urban roads in Beijing* [Journal] // Applied Acoustics. - 2002. - Vol. 63. - pp. 1137-1142.
21. **Licitra G. [et al.]** *Durability and variability of the acoustical performance of rubberized road surfaces* [Journal] // Applied Acoustics. - 2015. - 94 : Vol. 1. - pp. 20-28.
22. **Makarewicz R. and Golebiewski R.** *The impact of multi-lane traffic flow distribution on road noise variability* [Journal] // Noise Control Engineering Journal,. - 2016. - 3 : Vol. 64. - pp. 354-362. - ISSN 0736-2501.
23. **Mansouri N, Pourmahabadian M and GhasemKhani M** *Road traffic noise in downtown area of Tehran* [Journal] // Iran J Environ Health Sci Eng. - 2006. - pp. 267-272.
24. **Pal D and Bhattacharya D** *Effect of Road Traffic Noise Pollution on Human Work Efficiency in Government Offices, Private Organizations, and Commercial Business Centres in Agartala City Using Fuzzy Expert System: A Case Study* [Journal] // Advances in Fuzzy Systems. - [s.l.] : Hindawi Publishing Corporation, 2012. - Vol. 2012. - pp. Article ID 828593, 9 pages.
25. **Phan HAT [et al.]** *Annoyance caused by road traffic with and without horn sound* [Journal] // Acoustical Science and Technology. - 2009. - 5 : Vol. 30. - pp. 327-337.

## FIA 2018

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

26. **Prieto Gajardo C. [et al.]** *Can weekly noise levels of urban road traffic, as predominant noise source, estimate annual ones?* [Journal] // The Journal of the Acoustical Society of America. - 2016. - 5 : Vol. 140. - pp. 3702–3709.
27. **RD: 1367** RD 1367/2007, of 19 October, by which develops the law 37/2003 of November 17, on noise. With regard to acoustic zoning, quality objectives and acoustic emissions" [Report]. - 2007.
28. **REGULATION (EC) No 1222/2009** On the labelling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameters [Report]. - Strasbourg : Official Journal of the European Union (The European Parliament and the Council of the European Union), 2009.
29. **Regulation No 117** Uniform provisions concerning the approval of tyres with regard to rolling sound emissions and to adhesion on wet surfaces [Report]. - Brussels : Official Journal of the European Union. Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE), 2008.
30. **Sánchez-Sánchez R., Fortes Garrido JC. and Bolivar Raya JP.** *Characterization and Evaluation of Noise Pollution in a Tourist Coastal Town* [Journal] // Applied Acoustics. - 2015. - August 2015, pp. 70–76 : Vol. 95.
31. **Sandberg U. [et al.]** *Tyre/road noise reduction of poroelastic road surface tested in a laboratory* [Journal] // Proceedings of Acoustics. - 2013. - November. - pp. 17-20.
32. **Sandberg U.** *The Multi-Coincidence Peak around 1000 Hz in Tyre/Road Noise Spectra* [Conference] // Euronoise. - Naples (Italy) : [s.n.], 2003.
33. **Sandberg U.** *Tyre/road noise – Myths and realities* [Conference] // The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. - The Hague (Netherlands) : [s.n.], 2001.
34. **Sohaney R. [et al.]** *New ISO Test Track Specification for Measuring Tire and Vehicle Noise* [Journal] // Sound & Vibration. - 2012. - August. - pp. 1-17.
35. **Suksaard T [et al.]** *Road traffic noise prediction model in Thailand* [Journal] // Applied Acoustics. - 1999. - Vol. 58. - pp. 123-130.
36. **Tsay J.S., Lo J.J. and Lin Y..S** *The Study of Mathematical Model For Predicting Road Traffic Noise* [Journal] // Tamkang Journal of Science and Engineering. - 2003. - 2 : Vol. 6. - pp. 111-120.
37. **Vázquez V.F., Terán F. and Viñuela U.** *Study of a road test track with and without crumb rubber. solutions for noise pollution* [Journal] // Environmental Engineering and Management Journal. - 2012. - 10 : Vol. 13. - pp. 2487-2495.
38. **WHO** *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe* [Report]. - Copenhagen, Denmark : World Health Organization, 2011.
39. **Young S.** *Vehicle NVH (Noise, Vibration and Harshness) Development Process and Technologies* [Conference] // The 21st International Congress on Sound and Vibration. - Beijing (China) : [s.n.], 2014.