

## MODELO LINEAL MULTIVARIANTE DE PREDICCIÓN DE DESCRIPTORES DE RUIDO EN LA CIUDAD DE GRANADA. USO DEL $L_{50}$ PARA LA DESCRIPCIÓN DEL RUIDO DE TRÁFICO RODADO

PACS: 43.50.Ba

Antonio J. Torija<sup>1</sup>; Diego P. Ruiz<sup>1</sup>; Ángel Ramos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Física Aplicada Facultad de Ciencias

<sup>2</sup> Dpto. Ingeniería Civil E.T.S. de I.C.C.P.

Campus Fuentenueva s/n

Universidad de Granada

18071 Granada

Tel: 958 240 771

Fax: 958 243 214

E-mail: [ajtorija@ugr.es](mailto:ajtorija@ugr.es); [druiz@ugr.es](mailto:druiz@ugr.es); [ramosr@ugr.es](mailto:ramosr@ugr.es)

### ABSTRACT

In this communication it is proposed an easy experimental urban noise model to predict environmental noise levels with great accuracy. The continuous equivalent sound pressure level  $L_{Aeq}$  can be obtained by defining a background noise level, which is a characteristic from the city, and adding a correction factor to take into account special sound events. In addition, the percentile  $L_{A50}$  appears to be the best good descriptor for the urban noise level due to traffic, since it shows the highest correlation level with measured traffic flow.

### RESUMEN

En este trabajo hemos obtenido, mediante la aplicación de una sencilla fórmula empírica, un modelo de predicción de ruido ambiental urbano que predice el nivel de ruido con gran aproximación. A partir de la obtención de un nivel de fondo de ruido ambiental característico de la ciudad, y aplicándole posteriormente un factor de corrección por eventos anómalos, se estima con gran precisión el valor del  $L_{Aeq}$ . Además el uso del nivel percentil  $L_{A50}$  como descriptor del ruido generado por el tráfico rodado aparece como muy conveniente, ya que muestra el mayor nivel de correlación con el caudal de vehículos circulante.

### INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Desde septiembre del año 2004 se viene realizando en la ciudad de Granada<sup>1</sup> la elaboración de un mapa de ruido, de acuerdo con la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio sobre evaluación y gestión del ruido ambiental [1], que va a servir para evaluar y analizar la situación acústica de la ciudad. Esto demuestra como la preocupación por la contaminación sonora ha crecido de forma importante estos últimos años. Un factor de peso en esta generación de ruido ambiental, en las aglomeraciones urbanas, lo constituye el caudal de tráfico rodado circulante.

Como consecuencia, desde hace varios años están surgiendo una gran variedad de modelos matemáticos de predicción del ruido de tráfico rodado. El objetivo de este tipo de modelos es

---

<sup>1</sup> La ciudad de Granada con una población total en 2005 de 236.982 y un parque de vehículos estimado de aproximadamente 145.000 para el año 2004.

el de disponer de una herramienta que permita prever los niveles sonoros que producirá una nueva vía de circulación del tráfico rodado o bien una modificación de una vía existente. La comparación entre tales previsiones y los máximos niveles sonoros permitidos en la normativa de aplicación permitirán conocer de antemano el impacto acústico de la futura actuación y plantear, a nivel de proyecto, las medidas correctoras necesarias [2].

Con la utilización de este tipo de fórmulas matemáticas de predicción podemos establecer y caracterizar el clima acústico de la ciudad, de forma que podremos obtener un nivel de ruido ambiental base, el cual nos englobe el ruido ambiental ocasionado por el continuo caudal de vehículos circulante, característico de la ciudad. Por otro lado, como consecuencia del elevado nivel de correlación del  $L_{A50}$  con el caudal de vehículos circulante, mayor incluso que la relación entre el  $L_{Aeq}$  y este caudal [3], la utilización del nivel percentil  $L_{A50}$  como descriptor de ruido generado por tráfico rodado nos permitirá determinar con mayor precisión el nivel de ruido debido al caudal de vehículos circulante. Gracias a este tipo de herramientas se cumple uno de los principios de actuación ambiental más en boga actualmente, que es el de prevención, de forma que se podrán evitar impactos no deseados y medidas correctoras, que generalmente son caras y de menor eficacia.

## MATERIAL Y METODOLOGÍA

La presente investigación se ha basado en las medidas obtenidas durante parte de la realización del mapa de ruido de la ciudad de Granada, concretamente los datos se obtuvieron durante los meses de junio y julio del año 2005.

Para la obtención de las medidas de ruido ambiental que sufre la ciudad de Granada, así como para obtener los distintos descriptores del ruido de interés ( $L_{eq}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{90}$ , etc.) se usó un sonómetro tipo 1, en concreto el analizador modelo 2260 Observer con programa de análisis sonoro básico BZ7219. Además fue necesario realizar una serie de conteos de los caudales de vehículos circulantes por cada una de estas vías, para distintos períodos del día, de forma que pudiéramos obtener material de partida para poder contrastar estos datos de tráfico rodado con los distintos descriptores del ruido ambiental y así poder obtener un modelo lineal multivariante de predicción de descriptores del ruido ambiental para la ciudad de Granada. A la hora de estimar el caudal de vehículos se ha utilizado la división establecida por la Recomendación de la Comisión 2003/613/CE [4] (vehículos ligeros, pesados y motocicletas-ciclomotores)

Para la obtención de dichas medidas se eligieron diversas vías de la ciudad de Granada con características totalmente diferentes (fisonomía, tráfico rodado, ubicación, etc.), de forma que pudiéramos conseguir datos de situaciones muy diversas, y así englobar la mayor cantidad de situaciones ocurrientes en la ciudad. De esta forma, creemos que los datos obtenidos de las distintas variables a estudiar nos van a mostrar una situación de la ciudad mucho más real. Las vías elegidas fueron: C/ Gran Vía de Colón, C/ Reyes Católicos, C/ San Juan de Dios, C/ Recogidas, C/ Gran Capitán y C/ Severo Ochoa. La campaña de medidas fue realizada durante el período 29 de junio hasta 28 de julio. La realización de las medidas se ha realizado de acuerdo a la legislación vigente, **Decreto 326/2003**, de 25 de noviembre, de la Junta de Andalucía BOJA núm. 243 Sevilla, 18 de diciembre 2003 [5]. Se seleccionaron las franjas horarias más representativas a la hora de establecer un contraste entre las diversas situaciones de tráfico (08-09<sup>2</sup> horas; 10-11 horas; 14-15 horas; 22-23 horas y 00-01 horas).

## OBTENCIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE DESCRIPTORES DE RUIDO.

A partir de la disposición de datos obtenidos, creímos interesante obtener un modelo estadístico predictor de ruido ambiental para la ciudad de Granada. Gracias a que la toma de datos fue llevada sobre diversas vías de la ciudad, con diferentes características y condiciones, y cubriendo todos los períodos del día, consideramos que el modelo estadístico obtenido

---

<sup>2</sup> Este período de conteo solamente fue realizado durante los días laborables (lunes-viernes); durante los fines de semana no se realizaron conteos en esta franja horaria.

podría resultar lo suficientemente significativo, representativo y preciso para las condiciones existentes en una ciudad como la de Granada.

Para ello, como se comentó anteriormente, se realizaron medidas del caudal de vehículos circulante, diferenciando entre vehículos ligeros, pesados y motocicletas-ciclomotores, de una duración de 15 minutos. De modo que tendríamos para las distintas franjas horarias y con una periodicidad de 15 minutos, el valor de los distintos descriptores de ruido medidos ( $L_{Aeq}$ ,  $L_{AN}$ , etc), así como los correspondientes valores de caudal de vehículos ligeros, pesados y motocicletas-ciclomotores existentes. De esta forma mediante una regresión lineal multivariante podríamos obtener unos coeficientes que, aplicados a los valores de caudal de vehículos ligeros, pesados y motocicletas-ciclomotores, nos permitiría estimar un valor de  $Leq$ .

Se obtuvo una fórmula del tipo:

$$L_{Aeq} = NB + 10 \text{Log} \left[ (a \cdot Q_{vl}) + (b \cdot Q_{vp}) + (c \cdot Q_{mc}) \right]$$

donde:

NB = Nivel Base ó nivel de fondo obtenido (Este valor correspondería con el nivel de ruido ambiental medido en  $L_{Aeq}$ , que se produciría en el caso de circulación de 1 sólo vehículo).

a, b y c = Coeficientes para caudal de vehículos ligeros, pesados y motocicletas-ciclomotores, respectivamente.

$Q_{vl}$ ,  $Q_{vp}$  y  $Q_{mc}$  = Caudal de vehículos ligeros, pesados y motocicletas-ciclomotores, respectivamente.

Por otro lado, consideramos interesante obtener un nivel de ruido de fondo, que nos caracterizara de una forma precisa el ambiente acústico de la ciudad con un flujo constante de vehículos circulante y sin la aparición de eventos anómalos<sup>3</sup>. Estos eventos aparecen con relativa frecuencia en las aglomeraciones urbanas, pueden ser sirenas, ladridos de perros, gritos, etc., y tienen una influencia muy notable con respecto a los niveles de ruido ambiental. Para ello, se ha considerado la utilización del  $L_{90}$  como nivel de ruido de fondo, de forma que si a este nivel percentil le aplicamos un factor de corrección por elementos anómalos<sup>4</sup> [6] podamos obtener el valor del  $Leq$  existente.

Finalmente, estudiaremos la posible aplicación de otros descriptores de ruido ambiental para caracterizar el ruido generado por el tráfico rodado, ya que existen múltiples discrepancias con respecto a la utilización del  $Leq$  para este cometido [7].

El resultado final ha sido un modelo de predicción muy simple, donde las únicas variables a tomar son los distintos caudales de tráfico, de modo que su aplicación resulta muy simple. Pero no por resultar simple es impreciso, como podremos observar en los resultados obtenidos, ya que se trata de una fórmula empírica muy representativa de las condiciones de ruido ambiental de la ciudad de Granada, por tanto un modelo predictivo de ruido ambiental adaptado a la realidad de la ciudad de Granada.

Para la realización todas las operaciones de manejo y análisis de las medidas de ruido ambiental obtenidas se ha utilizado el software Evaluator Type 7820-7821 E versión 4.7.1. A su vez, para la realización de todas las operaciones estadísticas ha sido utilizado el paquete estadístico SPSS 13.0 para Windows.

---

<sup>3</sup> Se define evento anómalo como aquel minuto de medición en que ocurre un  $Leq$  que supera al menos 4 dBA la lectura del  $Leq$  global, una vez que a éste se le han descontado los 12 minutos de valor de  $Leq$  más elevado.

<sup>4</sup> Factor obtenido en función del caudal de vehículos por González, A. E. para la ciudad de Montevideo. Este factor de corrección tiene una relación inversa con respecto al caudal de tráfico medido.

## RESULTADOS

### Modelo De Predicción Del $L_{Aeq}$

Las características del modelo son:

- N = 312 valores.
- Correlación de Pearson:
  - $L_{Aeq}$ -Caudal vehículos ligeros = 0,556
  - $L_{Aeq}$ -Caudal vehículos pesados = 0,728
  - $L_{Aeq}$ -Caudal motocicletas-ciclomotores = 0,842
- $R^2$  del modelo = 0,763
- Coeficientes:
  - Constante = 55,280
  - Caudal vehículos ligeros = 0,235
  - Caudal vehículos pesados = 0,238
  - Caudal motocicletas-ciclomotores = 0,518
- El 5% de los casos por encima de  $2 \cdot \sigma$  (4,54 dBA).
- Valores pronosticados y residuos brutos:
  - Mínimo = 57,9773 con un residuo bruto de -6,46709
  - Máximo = 77,0437 con un residuo bruto de 11,07258
  - Medio = 69,4123 con un residuo bruto de 0
  - Desviación típica = 4,07358 con un residuo bruto de 2,27220
- Diferencia Media  $L_{Aeq}$  real- $L_{Aeq}$  estimado = 0,005 (el modelo subestima el valor real en 0,005 dBA).
- Ecuación del modelo:

$$L_{Aeq} = 55,280 + 10 \cdot \text{Log} \left[ (0,235 \cdot Q_{vl}) + (0,238 \cdot Q_{vp}) + (0,518 \cdot Q_{mc}) \right]$$

donde:

$Q_{vl}$  = Caudal de vehículos ligeros.

$Q_{vp}$  = Caudal de vehículos pesados.

$Q_{mc}$  = Caudal de motocicletas y ciclomotores.

### Modelo De Predicción De Nivel De Ruido De Fondo

El parámetro establecido para obtener un nivel de ruido de fondo ha sido el  $L_{A90}$ . Se ha obtenido un modelo lineal multivariante de predicción del  $L_{A90}$  con las siguientes características:

- N = 312 valores.
- Correlación de Pearson:
  - $L_{A90}$ -Caudal vehículos ligeros = 0,610
  - $L_{A90}$ -Caudal vehículos pesados = 0,753
  - $L_{A90}$ -Caudal motocicletas-ciclomotores = 0,901
- $R^2$  del modelo = 0,842
- Coeficientes:
  - Constante = 48,446
  - Caudal vehículos ligeros = 0,203
  - Caudal vehículos pesados = 0,216
  - Caudal motocicletas-ciclomotores = 0,689
- El 5,8% de los casos por encima de  $2 \cdot \sigma$  (4,31 dBA).
- Valores pronosticados y residuos brutos:
  - Mínimo = 50,7779 con un residuo bruto de -8,50450
  - Máximo = 73,2726 con un residuo bruto de 6,37659
  - Medio = 63,6596 con un residuo bruto de 0
  - Desviación típica = 4,98523 con un residuo bruto de 2,15621
- Diferencia media  $L_{A90}$  real- $L_{A90}$  estimado = 0,010 (subestima el valor real en 0,010 dBA).
- Ecuación del Modelo:

$$L_{fondo} = 48,446 + 10 \cdot \text{Log}[(0,203 \cdot Q_{vl}) + (0,216 \cdot Q_{vp}) + (0,689 \cdot Q_{mc})]$$

donde:

$Q_{vl}$  = Caudal de vehículos ligeros.

$Q_{vp}$  = Caudal de vehículos pesados.

$Q_{mc}$  = Caudal de motocicletas y ciclomotores.

El establecimiento de este nivel de ruido de fondo nos va a permitir obtener el valor de ruido ambiental existente en condiciones de un continuo flujo de vehículos circulante, característico de la ciudad, sin la presencia de elementos anómalos. Por tanto, este continuo caudal circulante característico de la ciudad nos va a proporcionar un nivel de ruido ambiental de fondo, descrito por el percentil  $L_{A90}$ .

Para obtener el nivel continuo equivalente de ruido ambiental ( $L_{Aeq}$ ), no tenemos más que aplicar a este nivel de fondo un factor de corrección por elementos anómalos. Este factor de corrección es:

$$C_{anómalos} = 23,226 \cdot Q_{total}^{-0,3811}$$

donde:

$Q_{total}$  = Caudal total de vehículos circulante.

La expresión quedaría:

$$L_{Aeq} = L_{fondo} + C_{anómalos}$$

$$L_{Aeq} = 48,446 + 10 \cdot \text{Log}[(0,203 \cdot Q_{vl}) + (0,216 \cdot Q_{vp}) + (0,689 \cdot Q_{mc})] + (23,226 \cdot Q_{total})^{-0,3811}$$

Los resultados obtenidos son:

- El 10,9% de los casos por encima de  $2 \cdot \sigma$  (4,31 dBA). Y el 10,6% de los casos por encima de 4,5 dBA.
- Diferencia media  $Leq$  real- $Leq$  estimado = 1,21 (subestima el valor real en 1,21 dBA).
- 

### **$L_{A50}$ Como Descriptor De Ruido Ambiental. Modelo Lineal Multivariante**

Como consecuencia del elevado nivel de correlación existente entre el caudal de vehículos circulante y el percentil  $L_{A50}$ , consideramos que sería de gran interés utilizar este parámetro, como descriptor del ruido ambiental generado el tráfico. Este nivel percentil  $L_{A50}$  tiene una relación con el caudal de tráfico mucho más intensa que el nivel continuo equivalente,  $L_{Aeq}$ , por lo que, el índice que mejor interpretaría el ruido generado por el tráfico sería el  $L_{A50}$  y no el  $L_{Aeq}$ . Se ha obtenido un modelo lineal multivariante de predicción del  $L_{A50}$  con las siguientes características:

- $N = 312$  valores.
- Correlación de Pearson:
  - $L_{A50}$ -Caudal vehículos ligeros = 0,659
  - $L_{A50}$ -Caudal vehículos pesados = 0,779
  - $L_{A50}$ -Caudal motocicletas-ciclomotores = 0,922
- $R^2$  del modelo = 0,898
- Coeficientes:
  - Constante = 52,410
  - Caudal vehículos ligeros = 0,272
  - Caudal vehículos pesados = 0,231

- Caudal motocicletas-ciclomotores = 0,585
- El 4,4% de los casos por encima de  $2 \cdot \sigma$  (3,18 dBA). Y el 1,3% de los casos por encima de 4,5 dBA.
- Valores pronosticados y residuos brutos:
  - Mínimo = 55,5258 con un residuo bruto de -5,58404
  - Máximo = 76,5151 con un residuo bruto de 6,29699
  - Medio = 67,5414 con un residuo bruto de 0
  - Desviación típica = 4,71403 con un residuo bruto de 1,59250
- Diferencia media  $L_{A50}$  real- $L_{A50}$  estimado = 0,005 (subestima el valor real en 0,005 dBA).
- Ecuación del Modelo:

$$L_{A50} = 52,410 + 10 \cdot \text{Log} \left[ (0,272 \cdot Q_{vl}) + (0,231 \cdot Q_{vp}) + (0,585 \cdot Q_{mc}) \right]$$

donde:

$Q_{vl}$  = Caudal de vehículos ligeros.

$Q_{vp}$  = Caudal de vehículos pesados.

$Q_{mc}$  = Caudal de motocicletas y ciclomotores.

Por otro lado, si queremos transformar el valor del  $L_{A50}$  a  $L_{Aeq}$ , podemos hacerlo a partir de la expresión:

$$L_{Aeq} = 4,037 + (0,958 \cdot L_{A50})$$

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

- El 6,5% de los casos por encima de 4,5 dBA.
- Diferencia media  $L_{eq}$  real- $L_{eq}$  estimado = 0,012 (subestima el valor real en 0,012 dBA).

## CONCLUSIONES

Se consiguen estimar los valores de los descriptores de ruido ambiental con un margen de error muy reducido. Obtención de un nivel de ruido de fondo, equivalente al  $L_{A90}$ , correspondiente al ruido producido por el continuo flujo de vehículos circulante característico de la ciudad. Se establece la conveniencia de utilizar el descriptor  $L_{A50}$  como mejor parámetro para estimar el ruido generado por el tráfico rodado.

## REFERENCIAS

- [1] Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental. *Diario Oficial nº L 189 de 18/07/2002 p. 0012-0026.*
- [2] Arana, M.; Martínez de Vígala, A.; Aleixandre, A.; San Martín, M.L.; Vela, A., "Modelos de Predicción del Ruido de Tráfico Rodado. Comparación de Diferentes Standards Europeos". TecniAcústica Madrid (2000). Ref. Pacs: 43.50.Ba.
- [3] Antonio J. Torija; Diego P. Ruiz; Otilia Herrera; Susana Serrano, "Estudio de la Relación entre el  $L_{Aeq}$  y los Niveles Percentiles para la Descripción del Ruido Ambiental". Ref. Pacs: 43.50.Rq.
- [4] Recomendación de la Comisión 2003/613/CE, de 6 de agosto de 2003, relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes. *Diario Oficial nº L 212 de 22/08/2003 p. 0049-0064.*
- [5] Decreto 326/2003 de la Junta de Andalucía, de 25 de noviembre de 2003, Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica. *BOJA nº 243 de 18 de diciembre de 2003. Corrección de errores en BOJA de 28/06/2004.*

- [6] González, A. E.; Gaja Díaz, E.; Jorysz, A.; Torres, G., “Desarrollo de un Modelo Predictivo de Ruido Urbano Adaptado a la Realidad de la Ciudad de Montevideo, Uruguay”. TecniAcústica Madrid (2000). Ref. Pacs: 43.50.Ba.
- [7] Velis, A.; Basso, G.; Armas, A.; Bontti, H.; Méndez, A., “Validez del Leq como Indicador del Ruido de Tránsito”. Cuarta Jornada Regional sobre Ruido Urbano Montevideo (2001).