



ESTUDIO COMPARATIVO DE MODELOS PREDICTIVOS DE RUIDO PARA TRÁFICO RODADO

PACS: 43.50.Rq

J. González; M. Machimbarrena; J.I. Sánchez
Dpto de Física. ETS Arquitectura
Universidad de Valladolid
Avda Salamanca s/n
47014 Valladolid. España
E-mail: juliog@opt.uva.es

ABSTRACT

The purpose of this paper is to improve the noise prediction model based in the number of vehicles, speed... by taking into account other significant parameters related to the urban environment of the considered point. The experimental data used to fit the model have been obtained when performing the Valladolid city noise map. In this case measurements took place at 490 points placed at the knots of a 250 m grid.

RESUMEN

El objetivo fundamental que perseguimos, con este estudio, es tratar de optimizar el modelo de predicción del nivel de ruido en función del número de vehículos, teniendo en cuenta sus características, y de las situaciones específicas de tipo urbanístico del entorno del punto considerado. Los datos que se estudian son los obtenidos al efectuar el mapa de ruidos de la ciudad de Valladolid donde se efectuaron medidas en más de 490 puntos siguiendo el método de la cuadrícula.

INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años uno de los factores que afectan de forma sustancial a la calidad de los ambientes, tanto de interiores como de los espacios exteriores, es el nivel de ruido excesivamente elevado. La preocupación por esta forma de contaminación va adquiriendo en la actualidad la relevancia que el problema requiere, sobre todo en los núcleos urbanos. Para abordar con eficacia esta problemática se hacen estudios y se promulgan disposiciones legales en la línea de vigilar, predecir, controlar y corregir dentro de lo posible las actividades para disminuir los niveles de ruido. La medida más importante a considerar es tratar de incidir sobre las fuentes de ruido. En el caso de las ciudades la fuente principal de ruido es el tráfico de los vehículos según se puso de manifiesto en múltiples estudios realizados al respecto. Una de las líneas que se sigue en estos estudios es plantear modelos matemáticos que relacionen los niveles de ruido con la fuente, en este caso el flujo del tráfico.

El objetivo fundamental que se persigue con estos modelos es conocer el nivel de ruidos que existirá en puntos próximos a los viales partiendo de saber el número de vehículos que circulan diferenciándolos por sus emisiones y de las características del urbanísticas del entorno del punto. En el presente trabajo exponemos los valores obtenidos al efectuar el mapa de ruidos

en la ciudad de Valladolid en el año 2002. Este trabajo de realización del mapa de ruidos fue subvencionado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León y lo llevaron a cabo la Universidad de Valladolid en colaboración con las empresas Iberacústica, Ingeniería Acústica de Valladolid y CGR de Burgos.

METODOLOGÍA DE MUESTREO

Para efectuar el mapa de ruidos se realizaron medidas en 490 puntos de la ciudad de Valladolid seleccionados tomando como criterio el trazado de cuadrículas con distancias entre líneas de 250m. En cada punto de medida, con un tiempo de muestreo de 10 minutos, se midieron varios parámetros acústicos (L_{eq} , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{max} , L_{min}) en días laborables y festivos, por el día y por la noche en dos ocasiones diferentes. Para efectuar el estudio de la modelización se seleccionó el parámetro L_{eq} . Paralelamente se han tomado medidas, junto al L_{eq} , de las características físicas del lugar de medida y de las condiciones de tráfico. Los equipos de medida utilizados en la campaña fueron SYMPHONIE de MVI-Technologies y el Investigator (mod 2260) de Bruel and Kjaer.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Diferentes autores y administraciones han venido realizando en los últimos treinta años modelos que ajusten los datos teóricos obtenidos a los experimentales medidos "in situ". Todos se basan en establecer la dependencia que tiene el ruido medido en la ciudad con el tráfico rodado, por lo que desarrollan fórmulas que ponen en relación el L_{eq} con la medida directa de aforos de vehículos a escala logarítmica.

El núcleo fundamental de los modelos es de la forma: $L_{eq}(1h) = A + B$; donde A hace referencia a las características de las emisiones y B a las características físicas o urbanísticas del entorno. El sumando A está compuesto por un término independiente que hace alusión a la emisión de un solo vehículo ligero, el logaritmo del número de vehículos, diferenciando la tipología de los vehículos, y otras contribuciones derivadas de los propios vehículos como es velocidad, estado del vehículo, etc. En el sumando B incluimos las contribuciones añadidas por efecto de las condiciones del entorno de medida como son presencia de obstáculos en las cercanías que originen reflexiones (edificios), composición del suelo (firme), presencia de cruces o semáforos en las inmediaciones, pendiente de la calzada, distancia del punto de medida al eje de la calzada, longitud de la calzada, etc. El término B es entonces de la forma $B = (?L_{dis} + ?L_{vel} + ?L_{suel} + ?L_{grad} + ?L_{refle} + ?L_{traf} + ?L_{sección} + ?L_{pantall} + \dots)$ donde los distintos incrementos, que pueden ser positivos o negativos, se refieren a las correcciones por:

? L_{dis} = (La distancia al punto de medida)

? L_{vel} = (Velocidad)

? L_{suel} = (Pavimento)

? L_{grad} = (Pendiente de la calzada)

? L_{refle} = (Reflexiones en los obstáculos del entorno (edificios))

? L_{traf} = (Condiciones límite de tráfico lento)

? $L_{sección}$ = (Sección de calzada considerada (largo de la calzada))

? $L_{pantall}$ = (Difracción sobre pantallas y por efecto de absorción de la atmósfera).

La diferencia fundamental de los modelos estriba, principalmente, en la forma de expresar la contribución de los vehículos manteniéndose los términos que hacen referencia a las demás contribuciones aunque con valores distintos para cada modelo. De esta forma exponemos, de forma abreviada, las expresiones desarrolladas de algunos modelos:

Modelo alemán

$L_{eq}(1h) = 37,3 + 10\log[Mx(1+0,082xP)] + (B)$ con M = nº de vehículos en una hora y P = porcentaje de vehículos pesados por hora.

Modelo Inglés

$L_{10} = L_{\text{básico}} + (B)$. Donde en $L_{\text{básico}}$ se incluye el término independiente y el número de vehículos. Siendo $L_{10\text{básico}}(1h) = 42,2 + 10\log q$ con $q = n^\circ$ de vehículos en una hora. En este caso el parámetro utilizado es el L_{10} .

Modelo Suizo

$L_{\text{Aeq}(1h)} = 42 + 10\log\{[1+(v/50)^3][1+20Px(1-v/150)]\} + 10\log I + (B)$. Siendo P el porcentaje de vehículos pesados; I la intensidad horaria de vehículos

Modelo Austriaco

$L_{\text{eq}(1h)} = 32 + 10\log(\text{MSV}_L) + (B)$. Con MSV_L es el aforo de vehículos por hora

Modelo Nórdico

$L_{\text{Aeq}} = L_{\text{Aeq}(10m)} + (B)$ Siendo $L_{\text{Aeq}(10m)}$ el nivel de referencia tomado a 10 metros del eje de la vía.

Modelo Francés

El modelo francés, conocido por las siglas CETUR, tiene en cuenta la geometría de la calle dividiéndose los viarios en calle encajada (con perfil en U) o calle con una sola acera edificada (perfil en L). En su forma más simple sería:

$$L_{\text{eq}} = 20 + 10 \log (Q_{vl} + EQ_{vp}) + 20 \log V - 12 \log (d+l_c/3) + 10 \log (?/180)$$

Donde: Q_{vl} y Q_{vp} son los aforos de vehículos ligeros y pesados; E factor de equivalencia entre vehículos ligeros y pesados y depende de la pendiente de la vía y del tipo de calle, en U o en L, de que se trate; V velocidad (km/h); d distancia al borde de la carretera; l_c anchura de la carretera; ? ángulo de visión

Modelo italo – alemán

$L_{\text{eq}} = ? + 10 \log (N_L + ? N_W) + (B)$; donde ? es el Nivel Sonoro Medio producido por un solo vehículo aislado en el intervalo de tiempo considerado y ? es un coeficiente de ponderación que considera el nivel más elevado que producen los vehículos pesados; N_L es el aforo de vehículos ligeros, considerando como tales los turismos y los comerciales de peso inferior a 4,8 toneladas; N_W es el aforo de vehículos pesados, comprendiendo en ellos los de más de 4,8 toneladas, los de transporte público y las motocicletas de elevada emisión sonora.

EL MODELO A APLICAR EN VALLADOLID

El modelo utilizado en Valladolid es una adaptación del modelo italo-alemán y su expresión es entonces:

$$L_{\text{eq}} = ? + 10 \log (N_L + ? N_W) + 10 \log (d_o/d) + ?L_V + ?L_S + ?L_G + ?L_{VB} + ?L_F + ?L_B$$

Donde los distintos términos son los indicados anteriormente pero modificados algunos de los valores propuestos como consecuencia de la menor emisión de los vehículos respecto a hace unos años. De esta forma se ha tomado para ? el valor 31,2dB(A) y para ? el valor de 6,1. También se han modificado los valores del término de velocidad por considerar que las emisiones de los vehículos son distintas. Sin embargo se han mantenido los valores de los demás términos por entender que, si bien se han producido variaciones en los firmes y en los materiales de construcción, tal variación no es muy significativa en cuanto su comportamiento o ya se contemplaba el uso de estos nuevos materiales en la tabla de valores que se proponía. En la tabla 1 exponemos el resumen de valores tomados para los distintos términos.

De esta forma la expresión del modelo es:

$$Leq = 31,2 + 10 \log (N_L + 6,1 N_W) + 10 \log (25/d) + ?L_V + ?L_S + ?L_G + ?L_{VB} + ?L_F + ?L_B$$

| V(km/h) | ΔL_v | Firme | ΔL_s | Pen. (%) | ΔL_G | Cond del tráfico | ΔL_{VB} | Reflexiones en los edificios |
|-------------|--------------|----------------|--------------|------------|--------------|----------------------|-----------------|---|
| Menos de 30 | -2 | | | | | | | |
| De 30 á 50 | 0 | Asfalto liso | -0,5 | 5 | 0 | | | |
| >50 | 4 | Asfalto rugoso | 0,0 | | | Velocidad <30km/h | -1, 5 | Fachada próxima $\Delta L_F = 2,5$ |
| >70 | 5 | Hormigón | 1,5 | 6 | +0,6 | Prox. de un semáforo | +1,0 | Fachada lado opuesto $\Delta L_B = 1,5$ |
| >90 | 6 | Adoquinado | 4,0 | Por unidad | +0,6 | | | |

Tabla 1.- Valores de los términos incluidos en el modelo.

Muestra para la obtención del modelo

Dado que se pretende establecer una relación causa-efecto entre el flujo de vehículos y el nivel de ruido existente en un punto determinada es necesario seleccionar los puntos en los que previsiblemente las emisiones de los vehículos sean la fuente fundamental de ruido. Por ello de las 490 estaciones donde se efectuó la medida obteniendo para cada uno de los puntos datos diurnos, nocturnos, en días laborables y en festivos en dos ocasiones, sin embargo solo se tomaron algunas de las estaciones y para el caso de días laborables por el día en las que el número de vehículos fuera significativo y de esta forma se reduce a 150 el número de estaciones. Si tenemos en cuenta, además, que los datos son tomados en la calle y que, por tanto, la medida puede ser influenciada por algunos factores ocasionales o coyunturales como voces, gritos, sonidos de campanas, presencia de animales (perros), etc, etc, etc, una vez seleccionadas las estaciones ateniéndose al número de vehículos se hizo un chequeo de los datos desechando los casos en los que se presentaba algún tipo de influencia que denominamos extraña. Al final nos quedamos con una muestra de 129 estaciones, es decir 129 datos del Leq , que entendemos es todavía un número suficientemente significativo. Por otra parte, como generalmente los modelos se aplican para dar el valor del Leq de una hora y nosotros hicimos medidas con un tiempo de muestreo de 10 minutos y el conteo de vehículos se efectuó en esos 10 minutos y, por tanto, a la hora de aplicar el modelo, se multiplicó por 6 el número de vehículos obtenidos en el conteo.

AJUSTE DEL MODELO

Para efectuar el ajuste, además de la medida del Leq , en cada punto de medida se tomaron datos relativos a los límites de velocidad, pendiente de la calzada, composición del firme, situación respecto de los semáforos o cruces próximos y la disposición de los edificios en el entorno. El esquema seguido en el ajuste del modelo es el representado en la figura 1.

Con los 129 datos, hemos representado en abscisas los datos calculados y en ordenadas los medidos dando la nube de puntos que se indican en la figura 2. La recta que ajusta estos datos viene dada por la expresión:

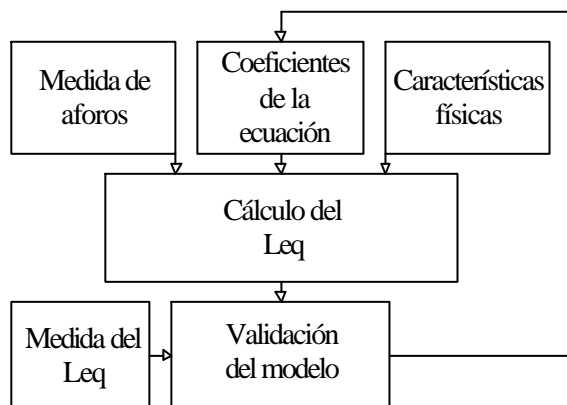


Fig. 1.- Esquema de toma de datos y validación del modelo.

$$Leq_{\text{Calculado}} = 5,37 + 0,929 Leq_{\text{Medido}}$$

Es decir, la recta determinada por el método de los mínimos cuadrados nos da una ordenada en el origen de 5,37 y una pendiente de 0,929, con un coeficiente de correlación de 0,9987

para 129 puntos lo que supone un nivel de significación muy elevado. Si el modelo diera una respuesta totalmente fiel de los resultados, la ordenada en el origen de la recta sería nula y la pendiente la unidad. Si bien los valores obtenidos para los parámetros de la recta no son los ideales, se aproximan mucho y por tanto el modelo responde con bastante significado a los datos experimentales o medidos.

APLICACIÓN A OTROS MODELOS

Con el ánimo de comparar los resultados obtenidos con otros modelos, en las gráficas de la figura 3 representamos los valores obtenidos, para los mismos datos tomados en el modelo español, indicando en la parte superior el modelo de que se trata y en la parte inferior los valores de los coeficientes de correlación "r", la ordenada en el origen "a" de la recta ajustada y la pendiente "b". Dado que el modelo inglés utiliza el parámetro L_{10} en vez del L_{eq} , no hemos realizado los cálculos. De igual forma hemos realizado una adaptación del modelo francés tomando una única ecuación para los dos tipos de calles, en U y en L, y sumando un valor distinto en el término L_{refle} que se añade por la presencia de edificios. El modelo nórdico no lo tratamos por referirse al L_{eq} de 24h y no de una hora como es nuestro caso.

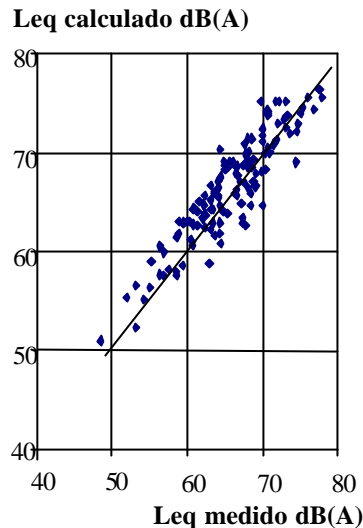
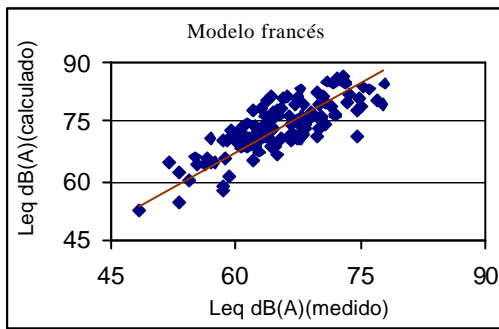


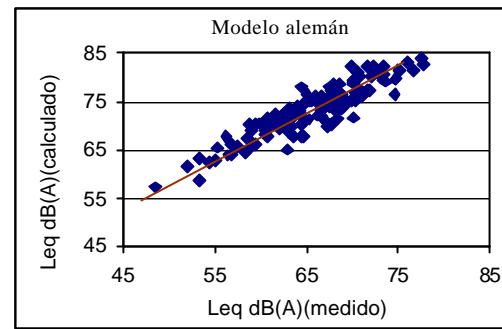
Fig. 2.- Representación gráfica de los valores de L_{eq} dB(A) medidos y calculados.

Según puede apreciarse en las gráficas, los modelos francés y alemán dan una respuesta muy aproximada a los datos medidos mientras que los valores obtenidos a partir del modelo suizo son sustancialmente diferentes de los valores medidos, incluso parece apuntarse que la nube de puntos se disgrega en dos grupos de diferenciados. El modelo austriaco, si bien no responde a los datos medidos, con una aproximación semejante al caso de los modelos francés y alemán, parece, sin embargo, que se acomoda con cierto significado y que, tal vez la diferencia respecto de los otros modelos esté en el peso que se le asigne al término de velocidad o que esté más ligado a la diferente forma de conducir de los austriacos respecto de los españoles.

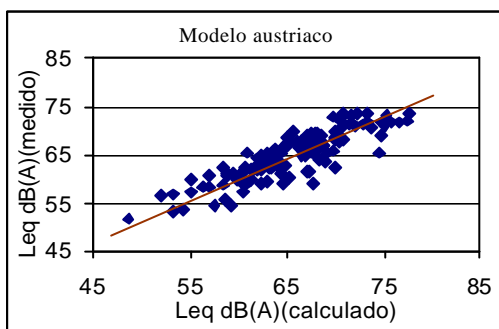
A modo de resumen cabe indicar que tanto el modelo español como el alemán y el francés son instrumentos útiles para predecir el nivel de ruido en una ciudad media española a partir de contar el número de vehículos y de considerar las situaciones particulares de cada punto de medida. También hemos observado que, como era de esperar estos modelos pierden su virtualidad cuando se pretenden aplicar a puntos donde el número de vehículos es pequeño y por tanto puede ocurrir que la fuente principal de ruidos sea otra distinta a los vehículos en tránsito o al menos haya otras significativas en el entorno.



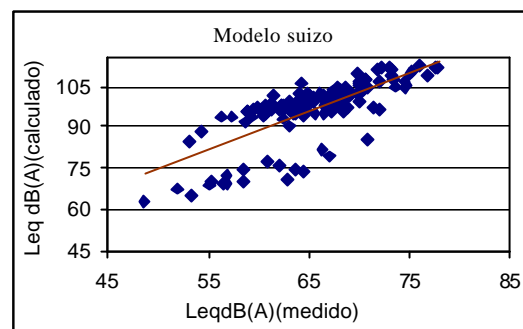
| | | |
|-------|-----|------|
| r | a | b |
| 0,997 | 7,5 | 1,01 |



| | | |
|-------|-----|------|
| r | a | b |
| 0,998 | 7,8 | 0,99 |



| | | |
|-------|-----|------|
| r | a | b |
| 0,998 | 7,2 | 0,88 |



| | | |
|-------|------|------|
| r | a | b |
| 0,994 | 0,02 | 1,47 |

Fig. 3.- Representación gráfica de los valores de Leq dB(A) medidos y calculados por medio del modelo para los casos francés, alemán austriaco y suizo.

Bibliografía

Harris. Handbook of Noise Control. 2nd. Edition, McGraw Hill. 1979.

Müller, M. Verkehrslärmprognose bei Stadtstrasse. Unveröffentlichter Bericht des F.A. 4762 des Bundesverkehrsministers. Bonn, 1978.

Brambilla, G. et al. Valutazione e previsione dell'inquinamento acustico urbano. Mappa del rumore di Roma. Istituto O.M. Corbino. Roma, 1984.

J.I. Sánchez y J. González "Evolución de la emisión de ruido por vehículos a partir de un modelo matemático". Jornadas Nacionales de Acústica Tecnicústica Barcelona 96.

J.I. Sánchez y J. González "Modelo matemático para la medida del Leq en zonas urbanas de Chile". Jornadas Nacionales de Acústica Tecnicústica Barcelona 96.