



MODELIZACIÓN SONORA DEL TRÁFICO NOCTURNO. ALGORITMO DE PREDICCIÓN

PACS: 43.50.Lj

Peral Orts, Ramón; Campillo Davó, Nuria; Velasco Sánchez, Emilio.
Universidad Miguel Hernández de Elche
Av. Universidad s/n
Elche, España.
Tel: 966 658 410
Fax: 966 658 979
E-mail: ramon.peral@umh.es

ABSTRACT

Noise prediction models are very common tools for noise control and assessment. For that reason, acoustic researches and technical staff are working to improve it. In 2005, "La Generalitat Valenciana" conceded to the *Laboratory of Acoustic and Vibration Engineering* resources to work in a project calls "*Modelo de predicción de ruido de tráfico nocturno basado en la direccionalidad sonora de los vehículos*" with the reference GV05/100 and as a consequence, we are developing a noise prediction model for night traffic conditions and considering the road vehicle noise directivity.

RESUMEN

Los modelos de predicción de ruido son herramientas muy extendidas en los procesos de evaluación y control sonoro. Por ello, trabajar para mejorarlas es una labor que atañe a investigadores y técnicos dedicados a la Ingeniería Acústica. Desde el Laboratorio de Ingeniería Acústica y Vibraciones de la Universidad Miguel Hernández de Elche y gracias a los fondos concedidos por la Generalitat Valenciana para proyectos de investigación científica y desarrollo tecnológico en el año 2005, para el trabajo "*Modelo de predicción de ruido de tráfico nocturno basado en la direccionalidad sonora de los vehículos*" con referencia GV05/100, se está trabajando para desarrollar un modelo de predicción de ruido para condiciones de tráfico nocturno y basado en la directividad sonora de los vehículos rodados.

INTRODUCCIÓN

Los algoritmos de predicción sonora son en la actualidad una importante herramienta para la confección de mapas de ruido y para la evaluación de impactos acústicos de futuras actuaciones tales como carreteras o vías ferroviarias. Esta utilidad, obliga a estos modelos a contar con niveles de precisión elevados que no falseen los resultados y puedan ser tomados como válidos en el entorno que se aplican.

Los principales modelos de predicción de ruido de tráfico (Estándares nacionales y otros modelos de reconocido prestigio Azzurro[1]), proponen algoritmos generalistas que ajustan su precisión a los estados más comunes de trabajo (tráfico elevado, con velocidades medias y varios carriles de circulación). Por este motivo, no resultan del todo efectivos para casos

concretos y no tan habituales como vías de servicio, calles de cascos antiguos o viales aislados en horario nocturno.

ANTECEDENTES

Se entiende por modelo predictivo, la representación simplificada de una realidad compleja, que puede responder a un esquema teórico, y que se elabora para estudiar su comportamiento y anunciar o conjeturar lo que en determinadas condiciones ha de suceder *Gonzalez[2]*.

A la hora de seleccionar un modelo de predicción de ruido de tráfico que se ajusta a las necesidades de un caso concreto, deberá tenerse en cuenta:

- Características de la fuente de ruido. Podremos distinguir entre fuentes fijas, móviles, puntuales, lineales direccionales.
- Características del entorno. Presencia de obstáculos, efecto trinchera...
- Características del receptor. Altura y distancia del elemento afectado o sensible de ser afectado por la alteración sonora.

En lo relativo a ruido de tráfico y dado que las bases generales a las que responde el fenómeno de propagación han sido ampliamente estudiadas, los modelos que suelen aplicarse se basan en análisis teóricos con diferente grado de complejidad. Si la fuente emisora que se considera es un vehículo que se desplaza con velocidad uniforme, entonces conociendo el tipo de vehículo, la velocidad a la que circula y la distancia a la que se encuentra el receptor, se puede predecir el nivel sonoro recibido por dicho observador, debido a la fuente puntual que se estudia. La forma teórica general de la ecuación que rige el fenómeno es de fácil deducción, aunque luego deberán encontrarse numéricamente los mejores coeficientes para ajustarla a partir de ciertas consideraciones sobre los datos experimentales, siempre procurando que los diferentes términos del modelo tengan un significado físico fácilmente comprensible.

Dentro de los factores que tienen que ver con la emisión de ruido de tránsito, debe considerarse por lo menos el número total de vehículos que circulan y la composición del tráfico, aunque también inciden otros factores como la velocidad de circulación.

En cuanto a la propagación, una de las variables primordiales es la distancia del emisor al receptor, aunque también inciden el ancho de vía y aceras, el tipo de pavimento, la altura aproximada de edificación a cada lado de la calle, la presencia o no de semáforos o pasos de cebra en las proximidades del punto de medición o la pendiente aproximada de la calzada.

DESARROLLO TEÓRICO

Los algoritmos destinados para la predicción sonora de un determinado suceso o actividad, suelen partir de un desarrollo teórico de las ecuaciones básicas de la acústica. En el caso que nos ocupa, el modelo fruto de la investigación llevada a cabo, parte de la propia definición de nivel de presión sonora y proporciona como resultado el índice definido por la legislación actual como L_{night} [DIRECTIVA 2002/49/CEE](Nivel de presión sonora nocturno para una hora).

En los siguientes apartados se describe el desarrollo teórico seguido para alcanzar el algoritmo resultante, así como las hipótesis y estimaciones tenidas en cuenta en el proceso. Este hecho, resulta crucial a la hora de definir las condiciones en las cuales el modelo resultará efectivo, así como los datos de partida y la precisión de los mismos para estimar el grado de efectividad del algoritmo resultante.

Cabe destacar que aquellos desarrollos intermedios realizados y publicados por algún autor, se encuentran debidamente referenciados, instando al lector a dirigirse a la fuente original para poder obtener la visión completa del proceso seguido.

Uno de los aspectos que va a caracterizar el algoritmo propuesto, es la validez del mismo en condiciones de tráfico poco denso. Este aspecto varía de forma significativa la consideración inicial de la fuente de ruido que realizan otros modelos analizados. El tráfico denso o continuo, si se analiza su comportamiento en un punto determinado, muestra la misma fisonomía que

una fuente de ruido lineal. Por otro lado, el vehículo rodado, será modelizado como una fuente de ruido puntual e independiente del resto de elementos sonoros, resto de vehículos, que a su vez serán considerados como elementos aislados. Esta hipótesis difiere de la asumida por otros autores para sus modelos *Cvetkovic*[3] *Delany*[4], los cuales consideran la línea de tráfico como una fuente de ruido lineal.

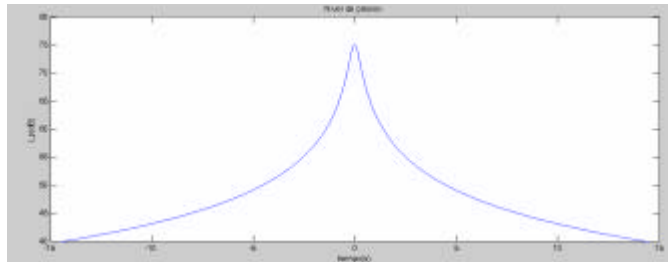


Figura 1: Nivel sonoro producido por el paso de una fuente sonora puntual omnidireccional a velocidad constante.

Las hipótesis tenidas en cuenta para este desarrollo son:

- La fuente de ruido, si bien no tiene porqué ser direccional, se le supondrá una velocidad constante y por lo tanto una potencia sonora invariable durante su influencia sobre el elemento receptor. Autores como *Licitra*[5][6] presentan una ecuación que vincula la potencia sonora con la velocidad de circulación: $L_{w, fuente\ puntual} = f(velocidad)$
- La línea que describe la carretera será considerada como una línea recta, en la misma rasante que el punto de recepción sonora. La distancia entre el receptor y la línea de tráfico, se trazará perpendicularmente a la línea central del eje de la calzada.
- Tanto la fuente de ruido como el elemento receptor se consideran en un ambiente difuso o abierto, en el cual la superficie con propiedades reflectantes será el suelo (distancia de al menos tres metros con un elemento reflectante).

DESARROLLO TEÓRICO FUENTE PUNTUAL EN MOVIMIENTO

Con todas estas consideraciones, y partiendo de la propia definición de intensidad sonora, podremos conocer la relación entre la potencia sonora de una fuente y la presión resultante de la misma:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{P^2}{\rho \cdot c} \quad W = \frac{P^2 S}{\rho \cdot c} \quad (1)$$

Siendo W la potencia sonora, S la superficie de emisión de la fuente, P la presión sonora y $\rho \cdot c$ la densidad del aire y la velocidad del sonido en este medio (impedancia).

Considerando que la fuente de ruido puntual tiene un factor de directividad determinada, $DF = radiación\ direccional\ de\ la\ fuente\ de\ ruido$, y considerando que la presión, la potencia y la distancia r dependen del tiempo, queda la siguiente relación:

$$p^2(t) = \frac{DF(\mathbf{q}, \mathbf{j}) W(t) \rho c}{2\pi r^2(t)} \quad (2)$$

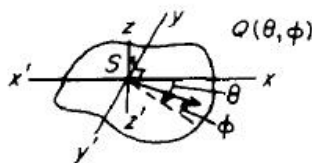


Figura 2: Definición del factor de directividad. *Favre*[7]

Al pasar a forma logarítmica obtenemos el siguiente resultado para el nivel de potencia y presión sonoras:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} = 10 \log \frac{P^2 \cdot S}{r \cdot c \cdot W_0} \left[\frac{P_0}{P_0} \right]^2 \quad (3)$$

Aplicando las propiedades del logaritmo, llegamos a la expresión:

$$L_W = 20 \log \frac{P}{P_0} + 10 \log S + 10 \log \frac{P_0^2}{r \cdot c \cdot W_0} \quad (4)$$

Sustituyendo los valores de referencia, la expresión queda de la siguiente forma en función del tiempo:

$$L_p(t) = L_W(t) - 20 \log r(t) + 10 \log DF(\mathbf{q}, \mathbf{j}) - 8dB \quad (5)$$

Trabajando en el plano y suponiendo que el eje de máxima radiación se encuentra en el mismo, el factor de direccionalidad dependerá sólo de un ángulo (?), que también dependerá del tiempo:

$$L_p(t) = L_W(t) - 20 \log r(t) + 10 \log DF(\mathbf{q}(t)) - 8dB \quad (6)$$

Suponiendo el valor de presión sonora obtenido a una distancia d a lo largo del eje de máxima radiación de la fuente (por lo tanto valor máximo de presión sonora) y aplicando la ecuación de la definición de presión sonora, se obtiene:

$$p^2(t) = p_d^2 DF(t) \frac{d^2}{r^2(t)} = p_d^2 DF(t) \frac{d^2}{V^2 t^2 + d^2} \quad (7)$$

Donde V es la velocidad de la fuente puntual (considerada constante), pasando la forma logarítmica se tendrá:

$$L_p(t) = (L_p)_d + 10 \log_{10}(DF(t)) - 10 \log_{10} \left(1 + \left(\frac{t}{(d/v)} \right)^2 \right) \quad (8)$$

Tomando la ecuación del nivel equivalente de energía sonora para un periodo de tiempo $T = (t_1-t_2)$ y combinando con la ecuación 7, e integrando queda de la siguiente forma:

$$\overline{p}^2 = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_d^2 DF(t) \frac{d^2}{V^2 t^2 + d^2} = \frac{d^2/V^2}{T} p_d^2 \int_{t_1}^{t_2} DF(t) \frac{1}{t^2 + d^2} \quad (9)$$

El resultado de esta integral dependerá de la forma que adopte $DF(t)$, y que hasta el momento no se conoce con certeza. Favre[7] resuelve esta ecuación para dos supuestos, fuente omnidireccional ($DF(t)=1$) y dipolo ($DF(t)=\cos 2(?)$).

Sin necesidad de resolver la integral, puesto que no conocemos el factor de direccionalidad, se puede apreciar cómo pasando parte de su resultado empleando el logaritmo, la ecuación queda:

$$L_{eq,T} = (L_p)_d + 10 \log_{10} \left(\frac{(d/v)}{T} \right) + 10 \log_{10}(DF_i) \quad (10)$$

Siendo DF_i , el resultado de la integral una vez modelizado el factor de directividad sonora para vehículos. Considérese $T=1hora$, y se obtendrá el nivel continuo equivalente (L_{eq}) producido por la fuente de ruido a su paso:

$$L_{eq}(1-hora) = (L_p)_d + 10 \log t - 35,56 + 10 \log(DF_i)dB \quad (11)$$

Para un flujo de tráfico discontinuo con un caudal de vehículos Q con las mismas características sonoras, el valor resultante de nivel continuo equivalente será el mismo que el de un vehículo, más un término de diez veces el logaritmo del caudal de vehículos Favre[8].

$$L_{eq}(1-hora) = (L_p)_d + 10 \log(d/V) + 10 \log Q - 35.56 + 10 \log(DF_i)dB \quad (12)$$

Empleando las dos ecuaciones obtenidas del desarrollo realizado por Favre[8], para el factor de directividad sin determinar, el nivel horario equivalente queda de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} L_{eq}(1-hora) &= L_w - 10 \log d - 10 \log V + 10 \log Q + \dots \\ \dots &+ 10 \log DF_{max} - 35.5 + 10 \log(DF_i)dB \end{aligned} \quad (13)$$

El factor de direccionalidad condicionará de forma significativa el resultado del algoritmo. En la actualidad se está trabajando en este aspecto y los primeros resultados apuntan a que debido a este termino de la ecuación los niveles sonoros se pueden ver alterados en torno a 3 dBA.

En todo este desarrollo hay un factor que no se ha tendido en cuenta a la hora de aplicar este modelo a condiciones de tráfico reales: el ruido de fondo. Efectivamente, el vehículo o conjunto de vehículos discretos que circulan por la vía modelizada, son considerados las únicas fuentes de ruido, pero el ambiente en el que se encuentra la vía llevará de forma inherente un factor de ruido añadido.

A continuación, se propone integrar el factor de fondo como nivel constante durante los 60 minutos de consideración sonora, retomando la ecuación 2:

$$p^2(t) = \frac{DF(\mathbf{q}, \mathbf{j})W(t)rc}{2pr^2(t)} + p_f \quad (14)$$

Como resultado de este nuevo factor en la consideración sonora de este supuesto, el nuevo nivel sonoro horario tendrá la siguiente forma:

$$L_{eq}(1-hora) = 10 \log_{10} [10^{0.1L_{ps}} + 10^{0.1L_{pf}}] \quad (15)$$

Siendo:

$$\begin{aligned} L_{ps} &= L_w - 10 \log d - 10 \log V + 10 \log Q + \dots \\ &+ 10 \log DF_{max} - 35.5 + 10 \log(DF_i)dB \end{aligned} \quad (16)$$

Y L_{pf} el ruido de fondo estimado en la zona.

Esta nueva situación precisa de una correcta estimación de este factor, puesto que en condiciones de tráfico "muy poco fluido" ($Q < 200$ vehículos/hora) este término tendrá una importancia relativamente significativa.

- Ambiente silencioso: No se aprecian otras fuentes de ruido significativas, próximas a la fuente principal, ni se contempla la posibilidad de agentes anómalos con asiduidad.
 $L_{fondo} = 35$ dBA
- Ambiente sonoro tenue: La existencia de fuentes de ruido de relativa importancia sonora a mucha distancia produce un nivel sonoro continuo de poca intensidad sonora que podrá influir en el resultado final obtenido de la predicción.

- $L_{\text{fondo}} = 40 \text{ dBA}$
- Ambiente sonoro ruidoso: La existencia de fuentes de ruido de relativa importancia sonora a poca distancia produce un nivel sonoro continuo de poca intensidad sonora que podrá influir significativamente en el resultado final de obtenido de la predicción.
 - $L_{\text{fondo}} = 45 \text{ dBA}$
- Ambiente sonoro muy ruidoso: en las proximidades del punto simulado encontramos fuentes de ruido importantes que se encontrarán funcionando durante el periodo de simulación
 - $L_{\text{fondo}} = 50 \text{ dBA}$

Es importante resaltar que para determinadas aplicaciones de este modelo, el nivel de ruido de fondo se puede medir in-situ, sirviendo el valor obtenido en condiciones estándar como valor de ruido de fondo para el modelo en cuestión. Como se puede suponer, este factor es de vital importancia para el ajuste final del modelo.

CONCLUSIONES

Como conclusiones de lo expuesto en este documento, se puede destacar:

- Una revisión bibliográfica exhaustiva detecta la necesidad de disponer de modelos más precisos aplicables a condiciones de tráfico concretas, es el caso del tráfico nocturno.
- La directividad sonora es un factor importante, que no ha sido tenido en cuenta en la mayoría de los modelos existentes y que puede condicionar significativamente su resultado, sobre todo si consideramos a los vehículos como fuentes puntuales.
- La verificación del modelo se está desarrollando en la actualidad, por medio de monitorizados realizados en varias zonas que cumplen con las características deseadas. Los primeros resultados obtenidos muestran un ajuste del modelo altamente satisfactorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AZZURRO, A.; ERCOLI, L.;NAMUZ, F. Una revisión de modelos predictivos de ruido urbano. Acústica 2000, Tecni-acústica, Madrid, 2000.
- [2] GONZÁLEZ, A. Contaminación sonora en ambiente urbano: Optimización del tiempo de muestreo para la ciudad de Montevideo. Tesis doctoral, Montevideo, 2000.
- [3] CVETKOVIC, D. ;PRAŠCEVIC, M. ;STOJANOVIC V. Naiss - Model for traffic noise prediction. Nis, Yugoslavia, 1997.
- [4] DELANY, M. E.; HARLAND, D.G. ; HOOD, A.A. ; SCHOLES, W. The prediction of noise levels L10 due to traffic. Journal Sound Vib. 48 (3), pp 305 – 352, 1976.
- [5] LICITRA, G. ; CANESSA, S. ; CERCHIAI, M. SimNoise: A New Low Traffic Flow Road Noise Estimation by a Statistical Approach”, Forum Acustica 99, Berlin, Alemania, 1999.
- [6] LICITRA, G. ; CANESSA, S. ; CERCHIAI, M.; BOCCINI, L. Urban traffic noise prediction during night period by a Monte Carlo method” Euro-Noise, Munich, Alemania 1998.
- [7] FAVRE, B. M. Noise emission of road vehicles: Evaluation of some simple models. Journal of Sound and Vibration, Volume 91, Issue 4, p. 571-582.
- [8] FAVRE, B.M. Factors Affecting Traffic Noise and Methods of Prediction. In Transportation. Noise Reference Book. Butterworths. 1987. Londres.