



## **SIMULACIÓN EN 3D DEL RUIDO DE TRÁFICO**

PACS: 43.50.Rq

Cardona J., Romeu J., Capdevila R., Sánchez A.  
Laboratorio de Ingeniería Acústica y Mecánica, LEAM. Universitat Politècnica de Catalunya.  
C/ Colom, 11  
08222 Terrassa. España  
Tel: 00 34 937 398 718  
Fax: 00 34 937 398 022  
E-mail: joan.cardona@upc.es

### **ABSTRACT**

In this work a true 3D traffic noise prediction software is presented, when most of software use false three dimensional geometry. These softwares seems to simplify data introduction, but some limitations on the applications. For example, usually there are problems to simulate horizontal barriers placed over a traffic lane.

This study, which has been implemented in urban motorway, creates a model to simulate present acoustic conditions, which is validated through experimental measurements. After that, a corrective measures study to attenuate traffic noise has been carried out.

### **RESUMEN**

En este trabajo se presenta una aplicación con un programa de simulación para la predicción del ruido de tráfico en 3D real, cuando la mayoría de los programas informáticos utilizan una falsa geometría de tres dimensiones. Éstos parecen simplificar la introducción de datos, pero presentan ciertas limitaciones ejecutivas como, por ejemplo, la de simular barreras horizontales localizadas sobre las vías de circulación.

El estudio analiza una autopista urbana y crea un modelo que simula las condiciones acústicas actuales, siendo éste validado mediante medidas experimentales. Posteriormente, se realiza un estudio de medidas correctoras para atenuar el ruido producido en la vía.

### **1.- INTRODUCCIÓN**

Existen diferentes programas para la simulación de ruido de tráfico, trabajando todos ellos en una línea muy similar. La precisión de estos modelos normalmente es satisfactoria, considerando el criterio de que el error medio sea menor de 2 dBA (1). Pero la mayoría de estos programas tienen limitaciones como, por ejemplo, la simulación de barreras horizontales localizadas sobre las vías de circulación.

En este trabajo, se presenta un estudio de ruido de tráfico realizado con un programa comercial (Raynoise), que acepta cualquier tipo de geometría, por compleja que sea. El problema que supone la utilización de este programa, es que uno de los datos de entrada es el nivel de

potencia sonora de las fuentes de ruido, dato que debe ser calculado a parte. Para ello, se utiliza un procedimiento que adopta el método CERTU-NMPB (2,3). Una de las razones por las que se utiliza este método, es que es un método recomendado por la propuesta de la *Directiva sobre ruido ambiental* de la Unión Europea (4). Sin embargo, y con la finalidad de obtener una mayor precisión, el método se ha particularizado con el cálculo del espectro por bandas de octava, en función de la tipología de calle (5).

## 2.- NIVEL DE POTENCIA ACÚSTICA

Cada uno de los carriles de circulación se caracteriza como una fuente sonora lineal, determinándose el nivel de potencia sonora por bandas de octava mediante el modelo CERTU-NMPB, de predicción de ruido de tráfico, que determina un nivel de presión sonora a una distancia de referencia respecto a la vía de circulación –isófona de referencia-. Los parámetros que tiene en cuenta son: tipo de vehículos, velocidad, tipo de tráfico y perfil longitudinal de la vía.

A partir de los datos de entrada, se obtiene la emisión sonora,  $E_s$ , que se define como el nivel de presión sonora,  $L_{Aeq}$ , en la isófona de referencia debido al paso de un vehículo por hora. Para determinar el nivel de presión sonora generado por el paso de  $Q$  vehículos por hora, se utiliza:

$$L_{Aeq} = E_s + 10 \cdot \log Q \quad [1]$$

Y el nivel de potencia sonora ponderado A,  $L_{wA}$ , por metro lineal se obtiene a partir de:

$$(L_{wA})_m = L_{Aeq} + 20 \quad [2]$$

Sin embargo, para la simulación es necesario el nivel de potencia sonora por bandas de octava. Para ello, se podría utilizar el espectro de tráfico normalizado (2,3), pero comportaría la introducción de cierto error. Es por ello que se hace una estimación del espectro típico de la calle en cuestión, mediante medidas experimentales *in situ*.

Las medidas experimentales servirán para determinar el *Factor de forma*,  $F(x)$  (donde  $x$  es la banda de octava considerada), que se define como la diferencia entre el nivel de presión sonora total ponderado A,  $L_{pA}$ , i el nivel de presión sonora,  $L_p$ , de cada banda. El nivel de potencia sonora de las fuentes por bandas de octava, se obtiene aplicando la mencionada relación a la expresión [2].

Debe tenerse en cuenta una corrección debido a las condiciones ambientales, ya que las medidas experimentales están afectadas por éstas. Esta corrección se aplica al *Factor de forma*, incrementándolo, y viene dada por el valor de la absorción atmosférica por bandas de octava, determinada mediante [3]:

$$A_{atm} = \frac{\alpha \cdot d}{1000} \quad [3]$$

donde

$\alpha$  es la atenuación del aire  
 $d$  es la distancia entre la fuente y el receptor

Los valores de  $\alpha$ , que dependen de la temperatura y de la humedad relativa, vienen recogidos en la ISO 9613.

Así, el *Factor de forma*,  $F(x)$ , se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$F_{(1/8)} = L'_{p,Total} [dBA] - L'_{p,(1/8)} [dB] \quad [4]$$

donde

$$L'_{p,(\frac{1}{8})} = L_{p,(\frac{1}{8})} + A_{atm} \quad [5]$$

$$L'_{p,Total} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{L'_{p,(\frac{1}{8})_i}/10} \quad [6]$$

donde

$L_{p,(\frac{1}{8})}$  es el nivel de presión sonora por bandas de octava medido experimentalmente  
 $A_{atm}$  es la absorción atmosférica

### 3.- CONDICIONES DE CONTORNO

El caso estudiado es un tramo urbano en el que transcurre una autopista de 6 carriles (tres para cada sentido) por la parte central, además de dos carriles más por banda, situados a ambos lados de la calle. El tráfico total es superior a 140.000 vehículos por día, de los cuales el 10% son vehículos pesados. La velocidad media considerada son 120 km/h, para el caso de la autopista, y 50 km/h para el caso de las calzadas laterales. Se considera que el perfil es plano, ya que la pendiente es inferior al 2%. El tramo descrito se puede ver en la Figura 1.



Figura 1. Calle estudiada. Autopista urbana con perfil en U.

Las medidas del nivel de presión sonora se realizaron en diferentes puntos y a diferente altura, Figura 2, con la doble finalidad de obtener el factor de forma y, posteriormente, validar los resultados de las simulaciones.



Figura 2. Puntos de medida *in situ*

A partir de estas medidas, y procediendo según lo indicado en el apartado anterior, se obtiene el *Factor de forma* para esta calle, Tabla 1.

Tabla 1. Factor de forma por bandas de octava

Frecuencia [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
F	-4,6	-6,5	-7,3	-6,4	-2,2	-7,4	-18,2	-26,4

Para la simulación mediante el programa Raynoise, los datos de partida son: geometría, situación y magnitud de las fuentes sonoras, y líneas de difracción asociadas a las esquinas de los edificios. La Figura 3 muestra lo comentado.

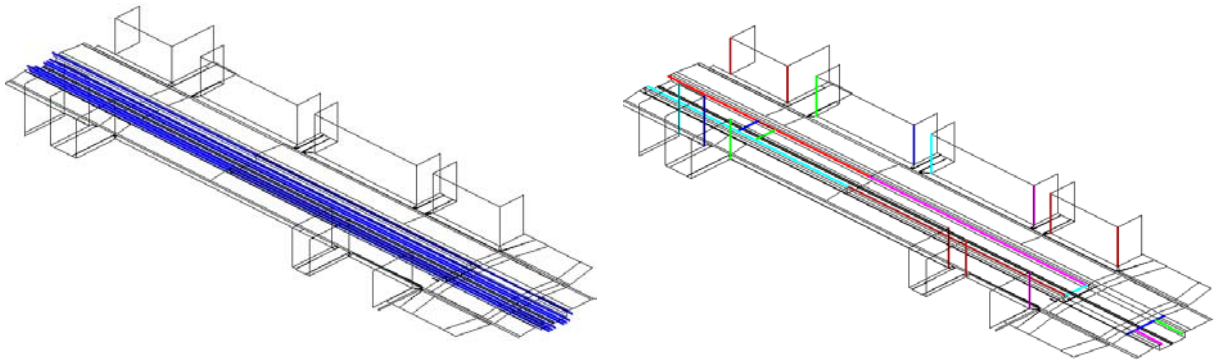


Figura 3. Geometría del modelo, con las fuentes sonoras (izqda.) y las líneas de difracción (derecha)

Además de estos datos de partida, también deben definirse los coeficientes de absorción de los materiales que conforman la geometría, y las condiciones atmosféricas medias del entorno.

#### 4.- RESULTADOS

En primer lugar, se simularon las condiciones sonoras actuales, representando el nivel de presión sonora ponderado A,  $L_{Aeq}$ , a nivel de fachada en una escala de colores, Figura 4.

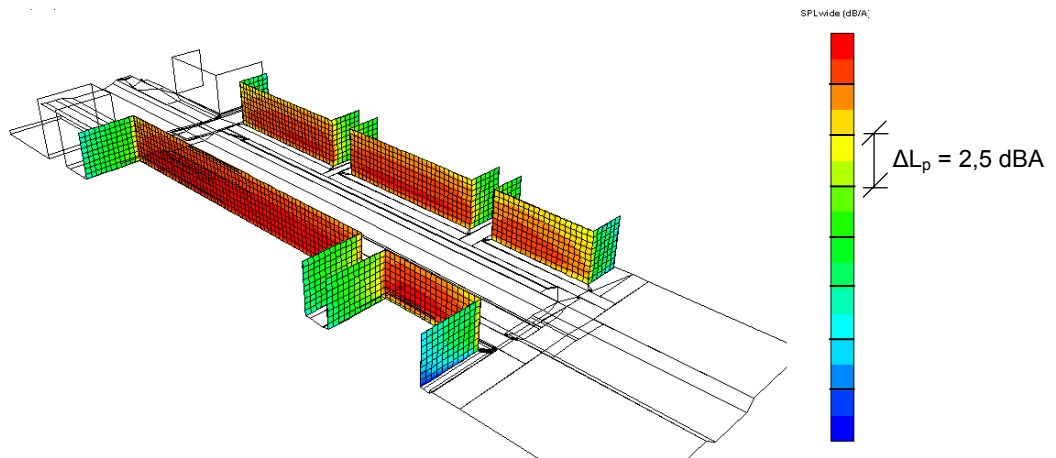


Figura 4. Nivel de presión sonora en las fachadas de los edificios

Tras la simulación de las condiciones actuales, se compararon estos resultados con las medidas experimentales. Los resultados de las simulaciones resultaron algo superiores a los valores medidos, aunque el error promedio (ver Figura 5) es, en cualquier caso, menor de 1 dBA, por lo que el modelo se considera calibrado.

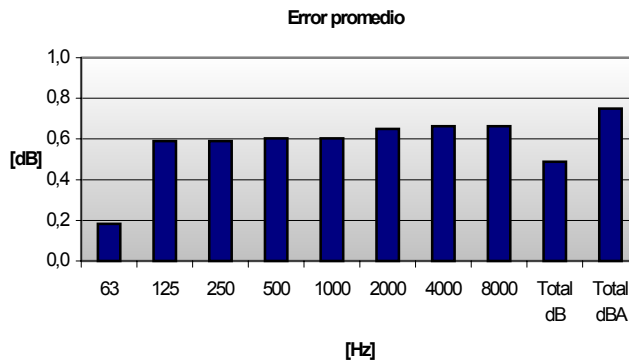


Figura 5. Error medio, comparando los resultados de la simulación y las medidas experimentales

Una vez calibrado el modelo, es posible ensayar cualquier posible solución encaminada a reducir el nivel de presión sonora a nivel de fachadas. La Figura 6 muestra una propuesta ensayada, en la que destaca el cambio del perfil transversal de la calle.

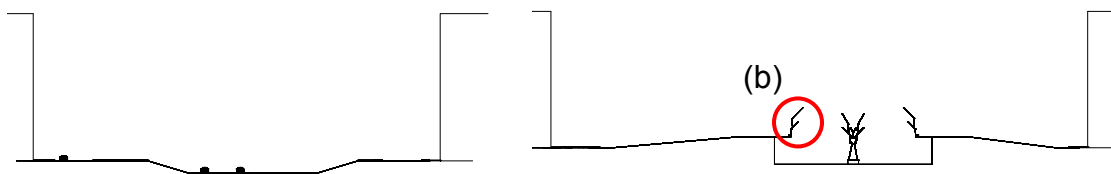


Figura 6. Perfiles actual (izqda.) y propuesto (derecha) para la Gran Vía

Con el nuevo perfil, las calzadas laterales se sitúan sobre la vía central (autopista), actuando de esta forma como barreras horizontales. Además, para aumentar la atenuación se colocan barreras verticales (b) situadas en los extremos de las calzadas laterales. Este es un ejemplo de geometría que no puede ser estudiada con programas de simulación de falso 3D, ya que éstos no permiten simular carriles de circulación situados por encima de otros carriles, como ocurre en este caso.

En la Figura 7 que sigue, se pueden ver los niveles de presión sonora obtenidos mediante simulación, de otra forma diferente a la que presenta la Figura 4.

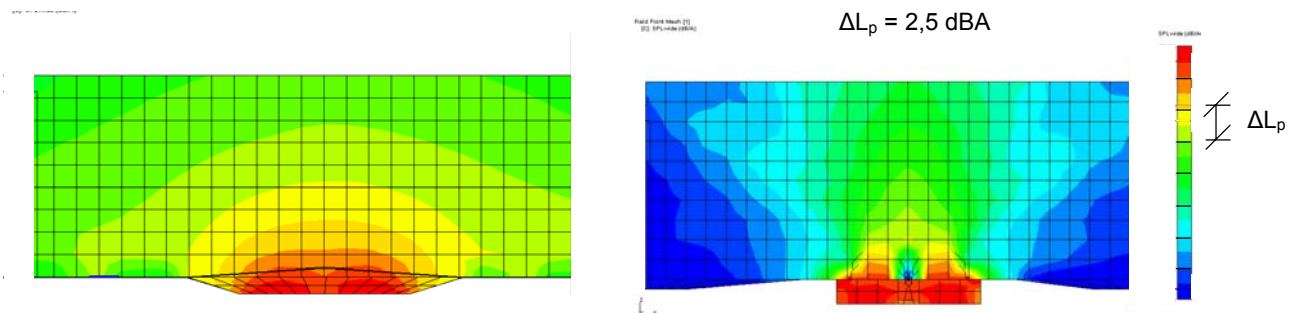


Figura 7. Distribución del nivel de presión sonora. Perfil actual (izqda.) y perfil propuesto (derecha)

Sobre esta última geometría, se ensayaron diferentes alternativas. Una de ellas contemplaba la utilización de materiales absorbentes sobre las superficies de las paredes próximas a la autopista, y sobre las de las barreras verticales, con la finalidad de reducir la reverberación que se produce en el interior de la autopista, hecho que provocaba una disminución de la

atenuación en fachada. Los resultados obtenidos con la adición de materiales absorbentes fueron los que muestra la Figura 8.

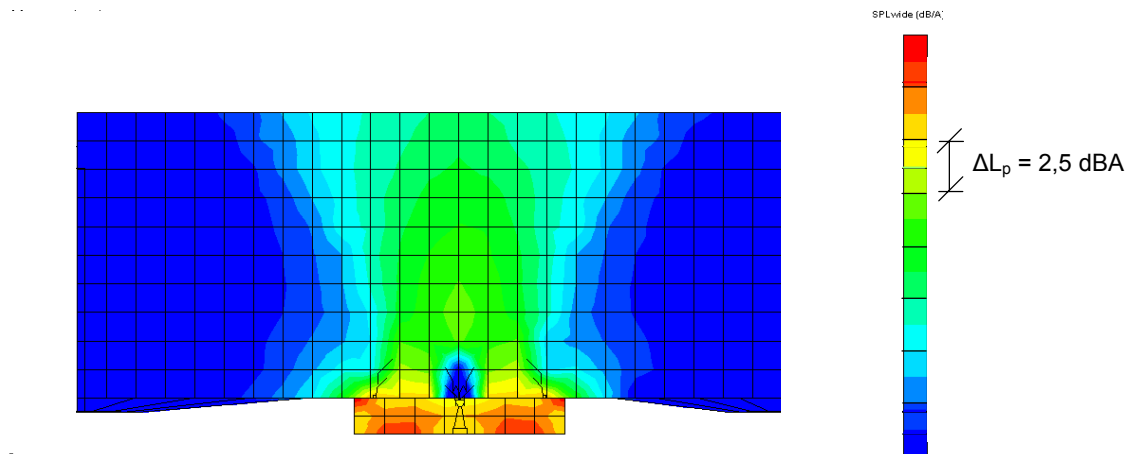


Figura 8. Distribución del nivel de presión sonora con la adición de materiales absorbentes

La Tabla 3 recoge la comparativa numérica de los resultados obtenidos para las dos configuraciones comentadas, es decir, con y sin materiales absorbentes.

Tabla 3. Atenuación en la fachada con la adición de materiales absorbentes

Piso		2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
Atenuación [dBA]	Sin absorbente	12,5	11,3	11,0	10,8	10,4	9,7	9,0	8,3	6,8
	Con absorbente	13,3	13,6	13,5	13,2	13	12,9	12,8	12,6	11,9

Como se observa, la adición de material absorbente provoca un aumento significativo de la atenuación, sobre todo en lo que respecta a los pisos más altos.

## 5.- CONCLUSIONES

La utilización de programas de simulación que utilicen un modelo 3D real, permite el estudio de geometrías más complejas que con otros programas no podrían ser estudiadas.

El principal problema que presenta el programa utilizado, es que como dato de partida necesita la potencia sonora de las fuentes expresada en bandas de octava, hecho que provoca que se deba calcular el espectro de potencia sonora (por bandas de octava) del flujo de tráfico. Para ello, se ha utilizado el método CERTU-NMPB, así como el *Factor de forma*, que han dado resultados muy ajustados a las medidas experimentales realizadas. Pero se puede utilizar cualquier procedimiento, dependiendo de las normas de cada país.

## REFERENCIAS

- (1) F. Besnard, H. Lefèvre, V. Aouboff, Validation and evolution of the road traffic noise prediction model NMPB-96- Part 1: Comparison between calculation and measurement results, Proc. Internoise 2001.
- (2) CERTU, Guide du bruit des transports terrestres. Ministere des Transports. París 1980.
- (3) CERTU-CSTB-LCPC-SETRA, Noise of road infrastructures, 1997.
- (4) Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council relating to the Assessment and Management of Environmental Noise. 2001.

- (5) Romeu J., Jiménez S., Muñoz E., Capdevila R., Salueña X., Determination of traffic noise level using sound power level of traffic flow. Application to reduction studies, Proc. Transport Noise and Vibration, 1998.