

## Contribución al estudio del modelo de ruidos para tráfico rodado.

J. González<sup>(1)</sup> ; T. Lorenzana<sup>(2)</sup>; M. Machimbarrena<sup>(1)</sup>; A. Tarrero<sup>(3)</sup> ; M.A: Martín<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Dto de Física (ETS Arquitectura). U. de Valladolid. Avda Salamanca s/n. 47014- Valladolid. España.  
[juliog@opt.uva.es](mailto:juliog@opt.uva.es)

<sup>(2)</sup> Dto de Física (EU de Arquitectura Técnica); U. de Coruña. España

<sup>(3)</sup> Dto de Física (EU Politécnica). U. de Valladolid. España.

**RESUMEN:** Desde hace algún tiempo varios de los grupos de investigación de todo mundo tienen como objetivo de sus trabajos conocer los niveles de ruido en los distintos espacios urbanísticos y en particular en las ciudades por los niveles de ruido que soporta la población en estos núcleos urbanos. Una de las líneas que se vienen desarrollando es encontrar modelos predictivos de los niveles a partir de las fuentes. Esta forma de enfocar el tema adquiere especial relevancia a partir de la promulgación de la DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 (sobre evaluación y gestión del ruido ambiental) y de las normativas de los distintos estados de la U.E. que la trasponen los contenidos de la Directiva a la legislación de cada estado miembro. En el trabajo que presentamos nuestro objetivo principal es determinar, a partir de medidas experimentales, los valores de diferentes términos que figuran en los distintos modelos pensados para el ruido de tráfico. Existen diferentes expresiones de este modelo y nosotros tomaremos como punto de partida el que generalmente es usado en España que se aproxima mucho al modelo italiano y al alemán y también al francés con alguna diferencia de matiz. Los valores de partida son los obtenidos en la realización del mapa de ruidos de Valladolid 2001-2002.

**ABSTRACT:** Many research groups are concerned since long ago about the noise level that citizens have to support in urban environments. One research field is concerned with elaborating prediction models using as input noise sources data. This research field has become more important since the approval of the European Parliament Directive 2002/49/CE in June 2002 relative to evaluation and treatment of environmental noise. In our paper we intend to determine, using measurements in the field as data source, the adequate values for different parameters typically shown in predictive traffic noise models. Although there are several different urban prediction models based in traffic density, we will use as starting point the model mostly used in Spain, which is not too different to the Italian and German models, or even the French model. Input experimental data were measured in Valladolid between November 2001 and March 2002.

### 1. Introducción

En la DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental se especifica que será necesario elaborar mapas de ruido para diferentes situaciones como son grandes aglomeraciones, grandes ejes viarios y ferroviarios, así como en aeropuertos y establece que se deban determinar los niveles de ruido, midiéndolos y/o calculándolos para conocer los valores de los índices  $L_{DEN}$  y  $L_{NIGHT}$  fundamentalmente. Para su determinación, a partir de cálculos, es necesario aplicar modelos adecuados y contrastados mediante medidas y hasta que se especifique el que se adoptará definitivamente se recomienda utilizar el conocido como modelo francés que viene expresado en la norma correspondiente y en [1] que es la conocida

como guía del ruido de CETUR. En esta guía aparecen un modelos para la determinación de los niveles sonoros originados por el tráfico rodado viario y por el tráfico de los trenes. En lo relativo al tráfico de vehículos por los viales el modelo se basa en conocer la emisión de las diferentes tipologías de vehículos individualmente y las características específicas de la propagación como es tipo de suelo, presencia de obstáculos, influencia de las condiciones meteorológicas, etc. De esta forma, conociendo estos parámetros se puede evaluar el nivel de ruidos en un punto situado a una distancia  $d$  del eje del vial. Uno de los parámetros especialmente relevante en el modelo es el que hace referencia a la emisión de los vehículos de forma individualizada para las distintas tipologías que circulan (vehículos ligeros, pesados, motocicletas, etc). El modelo, a grandes rasgos, consta de dos términos A y B. En el término A aparece lo relativo a los vehículos (tipo de vehículo, emisión, velocidad, etc) y en el término B lo específico del entorno del punto considerado (conformación del suelo, existencia de barreras, perfiles de los edificios, etc). En [2] ya se hace alusión a este tema pero aquí nuestro objetivo es determinar el término independiente “ $\alpha$ ” que figura en el modelo.

## 2. Breve descripción teórica del modelo

En este modelo se pretende obtener el nivel de ruidos en un punto a partir de conocer las características de emisión de los vehículos que circulan y de las condiciones del entorno, tanto a nivel de suelo como atmosféricas. El parámetro que se toma para evaluar el nivel de ruido suele ser el nivel continuo equivalente, en dB(A), de una hora ( $L_{eqA}(1h)$ ). De esta forma su expresión muy simplificada es:

$$\text{Nivel } L_{eqA} = A + B \quad (1)$$

$$A = \alpha + 10\log(N_L + \beta N_P + \gamma N_{Se} + \delta N_M + \varepsilon N_C + \eta N_{Sir}) \quad (2)$$

siendo  $N_L$ ;  $N_P$ ;  $N_{Se}$ ;  $N_M$ ;  $N_C$ ;  $N_{Sir}$  respectivamente el número de vehículos Ligeros, Pesados, Semipesados, Motocicletas, Ciclomotores y Sirenas que pasan por las proximidades del punto en una hora.

–  $\alpha$  está relacionado con la emisión de un vehículo ligero.

-  $\beta$  ;  $\gamma$  ;  $\delta$  ;  $\varepsilon$  ;  $\eta$  son, respectivamente el número equivalente de los otros vehículos comparados con un vehículo ligero. De esta forma, por ejemplo,  $\beta$  es el número de veces que, en emisión de ruido, equivale un vehículo pesado a uno ligero.

Nuestro objetivo principal es tratar de evaluar los coeficientes  $\alpha$  ;  $\beta$  ;  $\gamma$  ;  $\delta$  ;  $\varepsilon$  ;  $\eta$

En el término B se incluyen los efectos derivados de las características del entorno urbanístico y de la atmósfera que nosotros no vamos a considerar en este trabajo por no ser necesario.

En la ecuación (2)  $A = \alpha$  cuando  $N_L = 1$  y  $N_P = N_{Se} = N_M = N_C = N_{Sir} = 0$  y por tanto  $\alpha$  es el nivel de ruidos originado por un vehículo a su paso por las proximidades del punto considerado o punto de medida. Cuando solo pasa un vehículo pesado es  $A = \alpha + 10\log\beta$  y por tanto, haciendo operaciones tenemos que  $\beta = 10^{(A-\alpha)/10}$ . De igual forma los valores de  $\gamma$  ;  $\delta$  ;  $\varepsilon$  ;

$\eta$  tendrán las expresiones  $\gamma = 10^{(A-\alpha)/10}$  ;  $\delta = 10^{(A-\alpha)/10}$  ;  $\varepsilon = 10^{(A-\alpha)/10}$  ;  $\eta = 10^{(A-\alpha)/10}$  siendo A, en cada caso, el valor del nivel continuo equivalente originado por el paso de un vehículo, de la categoría correspondiente, en el punto de medida.

### 3. Determinación experimental de $\alpha$ .

Siguiendo el documento de CETUR la expresión de  $\alpha$  en el punto de medida la obtenemos de la forma siguiente. En el dibujo de la figura 1 se representa esquemáticamente un vial por el que circula un vehículo ligero y un punto Q situado a distancia d sobre la perpendicular al vial.

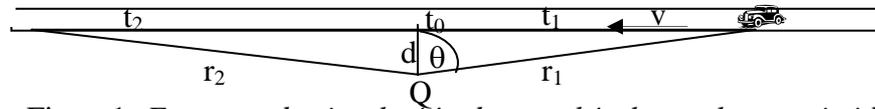


Figura1- Esquema de circulación de un vehículo por las proximidades de un punto P.

Denominamos  $t_0$  al instante en que el vehículo pasa por la perpendicular al vial por Q, o sea pasa por delante del punto. El tiempo  $t_1$  es el que tarda el vehículo en recorrer la distancia desde el instante en que le “oye” el sonómetro hasta que pasa por el frente y  $t_2$  es el tiempo que transcurre desde que pasa por delante hasta que desaparece por la izquierda o si se quiere hasta que deja de oírle el sonómetro. Suponiendo que el vehículo es un punto, la presión acústica en Q estando el punto a una distancia r viene dado por  $p^2 = (W\rho_0c)/(2\pi r^2)^{(1)}$ . De aquí deducimos que la presión eficaz para un intervalo de tiempo T es:

$$P_{\text{eff}}^2 = (1/T) \int_{0 \rightarrow T} (W\rho_0c)/(2\pi r^2) dt = [(W\rho_0c)(\theta)] / [(2\pi)T(dv)] \quad (3)$$

siendo  $\theta$  el ángulo bajo el que el observador situado en Q divisa al móvil. Según nuestro desarrollo la presión eficaz extendida al tiempo en que el aparato de medida oye al vehículo ocurre que  $T = t_1 + t_2$ . T

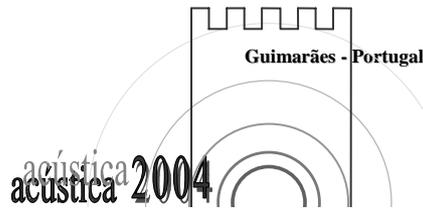
La expresión (3) se puede obtener en función de la presión máxima  $p_{\text{max}}$  medida en el instante en que el móvil pasa por el punto enfrente del punto Q, de la forma :

$$P_{\text{eff}}^2 = [(W\rho_0c)(\theta)] / [(2\pi)T(dv)] = p_{\text{max}}^2 d\theta / Tv \Rightarrow$$

$$L_{\text{eqA}(T)} = 10\log(P_{\text{eff}}^2/p_0^2) = L_{p_{\text{max}}} - 10\log(T) + 10\log(d/v) + 10\log(\theta) \quad (4)$$

De esta forma podemos determinar el valor del  $L_{\text{eq}}$  correspondiente a un vehículo ligero para el intervalo de tiempo que nos interese en función del nivel de presión sonora  $L_{p_{\text{max}}}$  medido por el aparato. Dado que las medidas que nosotros hemos realizado son en periodos de 10 minutos nos interesará el  $L_{\text{eq}}(10')$  y para comparar el modelo con los valores obtenidos en otras campañas de medida calcularemos también el nivel continuo equivalente de 1 hora,  $L_{\text{eq}}(1h)$ .

(1) En el denominador aparece 2 en vez de 4 por considerar que el suelo es reflectante y por tanto la intensidad se reparte en media esfera.



### 3.1 Campaña de medidas

A partir de la ecuación (4) determinamos el  $L_{eq}$  correspondiente a un vehículo conociendo la distancia a la calzada “d”, la velocidad del vehículo, el ángulo bajo el que se observa el final del vial en las dos direcciones y midiendo el nivel de presión sonora máximo al paso de un vehículo.

Los datos son tomados del mapa de ruidos de Valladolid realizado entre noviembre de 2001 y noviembre de 2002. En la realización del mapa [3] se realizaron medidas en 490 puntos dos veces en periodo diurno y nocturno en días laborables y festivos con un tiempo de muestreo de 10 minutos y se midieron los parámetros acústicos ( $L_{eq}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{min}$ ). También se anotaba la situación del punto en cuanto a su distancia al eje de la calzada y se indicaba la distancia a la que estaban los edificios más próximos tanto en la acera de medida como en la opuesta, así como la velocidad aproximada de los vehículos. Otro parámetro que anotábamos, siempre que ello fuera posible, era el nivel máximo producido cuando pasaba un solo vehículo. De igual forma se tomaba nota del número de vehículos que pasaron en los 10 minutos de medida diferenciando seis categorías: Ligeros (<350kg), Pesados(>750kg), Semipesados(350<vehículo<750 en kg), Motocicletas, Ciclomotores, vehículos con sirena funcionando.

Los datos de velocidad se tomaban según la apreciación personal del observador y por tanto no se pueden tomar como exactos pero tienen la ventaja de ser datos reales de circulación habitual sin interferencias o preparaciones que no se ajustarían totalmente a la situación verdadera si intentáramos realizar experiencias específicas de velocidad con un vehículo concreto y preparado para este fin. El número de datos obtenidos en las medidas para los  $L_{pmax}$  de las distintas categorías de vehículos se expone en la tabla 1.

Tabla 1- Número de valores de los niveles  $L_{pmax}$  dB(A) por categorías

Tipo de vehículo	L	P	S	M	C	Sir
Nº de valores		430				
	2928		258	168	185	11

Según se aprecia en esta tabla se han anotado un número de valores bastante elevado. Téngase en cuenta que se anotaba el valor siempre que pasara un solo vehículo y esto puede suceder en varias ocasiones durante el tiempo de medida. Y si tenemos en cuenta que se hizo la medida en cada punto en 8 ocasiones, el número de valores que hemos podido observar es alto sobre todo para los vehículos ligeros.

En cada punto de medida la velocidad aproximada la anotamos por intervalos de 10 empezando por el valor 30 km/h y llegando a valores de 120 km/h. Los valores de velocidad menores de 30 los agrupábamos todos en el intervalo  $v < 30$  km/h. La velocidad que asignamos a cada intervalo como valor central era la media aritmética y para velocidades inferiores a 30 el valor tomado fue 25 km/h.

En la tabla 2 exponemos los valores medios, máximo y mínimo de los valores máximos, medios y mínimos encontrados en los distintos puntos, así como de los valores de la

desviación típica.

Tabla 2-*Estadística de valores de los  $L_{pmax}$*

Ligeros											
Valores máximos			Valores mínimos			Valores medios			Desviación típica		
Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio
90,8	74,6	76,0	75,5	62,3	68,6	72,4	55,0	72,4	8,5	0,0	2,3
Pesados											
Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio
93,8	79,3	81,3	93,5	0,0	61,0	91,0	60,9	79,4	8,9	0,0	1,5
Semipesados											
Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio
90,8	61,6	76,6	90,2	60,1	73,8	90,2	61,6	75,2	7,6	0,0	1,2
Motocicletas											
Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio
100,7	55,7	78,1	94,9	55,7	75,6	94,9	55,7	76,9	12,6	0,0	1,1
Ciclomotores											
Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio
96	53	74,6	96	53	72,8	96	53	73,0	8,6	0	1,0
Sirenas											
Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio	Máx	Min	Medio
106	70,4	91,24	106	70,4	89,6	106	70,4	90,42	8,2	0	0,82

### 3. 2 Cálculo del $L_{eqA}$

Partiendo de la ecuación (4) y de la tabla 2 hemos determinado los valores de los niveles equivalentes de un vehículo para los intervalos 600s (10') y para 3600s (1h). Hemos tomado para  $\theta$  el valor  $\pi$  radianes.

$$L_{eqA(600)} = L_{pmax} - 10\log(600) + 10\log(d/v) + 10\log(\pi) \quad (5)$$

$$L_{eqA(3600)} = L_{pmax} - 10\log(3600) + 10\log(d/v) + 10\log(\pi) \quad (6)$$

Cuando apliquemos estas ecuaciones para el caso de vehículos ligeros los valores obtenidos son los valores de  $\alpha$  que llevamos al modelo dependiendo del intervalo para el que hagamos el cálculo, 10 minutos ó una hora. De igual forma aplicando estas ecuaciones al caso de los vehículos pesados el valor obtenido es  $\alpha + 10\log\beta$  y de aquí deducimos el valor de  $\beta$ . Haciendo lo mismo con las otras categorías de vehículos encontraremos los valores de los otros coeficientes  $\gamma$  ;  $\delta$  ;  $\varepsilon$  ;  $\eta$ .

### 3.3 Valores de $\alpha$

Dado que el número de valores de  $\alpha$  calculados es grande presentamos los resultados por

valores medios acompañados de algún valor que nos indique la dispersión.

Con todos los valores de los  $L_{pmax}$  anotados para todas las categorías, hemos hecho la media aritmética de los obtenidos en cada punto, para cada categoría. Téngase en cuenta que algunos de los puntos no circulaban vehículos como parques, urbanizaciones, núcleos industriales, etc y en otros casos no se ha podido anotar el valor. teniendo entonces 334 valores correspondientes a los 334 puntos del mapa donde hemos anotado valores. De esta forma, en el caso de vehículos ligeros el total de 2928 valores fueron obtenidos 334 puntos y por tanto tenemos 334 valores medios. De igual forma para el caso de las demás categorías hemos tomado valores en 175 puntos para los vehículos pesados, 131 para los semipesados, 105 para las motocicletas, 110 para los ciclomotores y 10 para las sirenas móviles.

Para el cálculo de  $\alpha$  hemos tomado los 334 valores correspondientes a vehículos ligeros, haciendo la media aritmética de estos valores y seleccionando los casos en que la diferencia entre el valor y la media era inferior a la desviación estandar de los valores, 5 unidades. El número total de valores medios seleccionados son 251 y el valor final que hemos tomado es la media de estos valores dando como resultado que  $\alpha(3600) = 33,1$  dB(A).

El cálculo efectuado de  $\alpha$  se realizó tomando como intervalo de integración 3600 segundos según la ecuación (6). Un cálculo similar se realizó aplicando la ecuación (5) que nos da la expresión de  $\alpha$  para 600 segundos obteniendo el valor  $\alpha = 40,9$  dB(A)

### 3.4 Valores de los otros coeficientes

Realizando los mismos cálculos para las otras categorías encontramos los valores  $L_{eqA}$  que se exponen en la tabla 3, segunda columna, en la que aparecen también el número de valores medios seleccionados, tercera columna, y los valores de los coeficientes  $\beta$  ;  $\gamma$  ;  $\delta$  ;  $\epsilon$  ;  $\eta$  calculados a partir de las relaciones deducidas anteriormente, que para el caso, por ejemplo, de vehículos pesados es  $\beta = 10^{(A-\alpha)/10}$ , donde A es, en esta expresión, el nivel  $L_{eqA}$  dB(A) para un vehículo pesado.

Según estos valores un vehículo pesado equivale en emisión de ruido a 2,1 vehículos ligeros y un vehículo semipesado proporciona un ruido menor que uno ligero en promedio. Es particularmente sorprendente el caso de las motocicletas que solo equivalen 1,6 vehículos ligeros, pues es conocido lo molestas que resultan

Tabla 3 -Valores de  $\alpha$ ,  $\beta$ ;  $\gamma$ ;  $\delta$ ;  $\epsilon$ ;  $\eta$

Categoría	Leq dB(A)	Nº val	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\epsilon$	$\eta$
Ligeros	33,1	251	33,1					
	40,9	251	40,9					
Pesados	40,7	113		2,1				
	48,5	113		2,1				
Semipesados	31,3	89			0,8			
	38,9	89			0,8			
Motocicleta	37,9	65				1,6		
	45,7	65				1,6		
Ciclomotores	34,3	62					1,1	
	42,1	62					1,1	
Sirenas	54,5	2						8,5
	62,3	2						8,5

al ciudadano. Destaca por su valor tan elevado el caso de las sirenas que equivalen a 8,5 vehículos ligeros.

#### 4. Expresión del modelo

El término A de la expresión, para el modelo de ruidos de tráfico, quedaría entonces de la forma:

$A = 33,1 + 10\log (N_L + 2,1N_P + 0,8N_{Se} + 1,6N_M + 1,1N_C + 8,5N_{Sir})$  para la determinación del  $L_{eqA}$  de 1h y

$A = 40,9 + 10\log (N_L + 2,1N_P + 0,8N_{Se} + 1,6N_M + 1,1N_C + 8,5N_{Sir})$  para el caso del  $L_{eqA}$  de 10 minutos siendo  $N_L$ ;  $N_P$ ;  $N_{Se}$ ;  $N_M$ ;  $N_C$ ;  $N_{Sir}$  respectivamente el número de vehículos ligeros, pesados, semipesados, motocicletas, ciclomotores y sirenas que pasan por las proximidades del punto de medida durante 1 hora en el primer caso y durante 10 minutos en el segundo.

Aplicando este modelo a los datos obtenidos en el mapa de ruidos de Valladolid [2] encontramos que la representación de los valores calculados frente a los valores medidos son

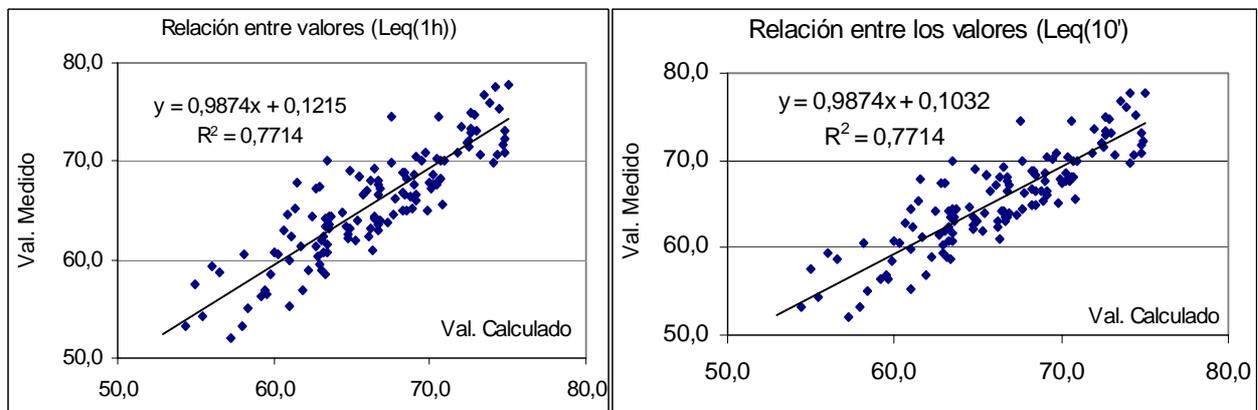


Figura 2- Representación de los valores  $L_{eqA}$  medidos frente a los calculados para los intervalos 1h y 10'.

las gráficas de la figura 2.

#### CONCLUSIONES MÁS SIGNIFICATIVAS

A partir de las gráficas de la figura 2 podemos considerar que el modelo aplicado aporta unos valores con una significación muy elevada a los valores experimentales dado que se obtiene una pendiente muy próxima a la unidad y una ordenada en el origen muy pequeña. Por lo tanto la conclusión fundamental es que a partir del modelo podemos obtener valores muy próximos a los medidos.



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado a partir de los datos obtenidos en el mapa de ruidos de Valladolid que fue subvencionado por la Consejería de Medioambiente de la Junta de Castilla y León.

## REFERENCIAS

- [1] Ministère de L'Environnement et du Cadre de Vie. *Guide du Bruit des Transports Terrestres (Previsión des Niveaux sonores)*. Francia
- [2] J. González; M. Machimbarrena; J.I. Sánchez. Estudio comparativo de modelos predictivos de ruido para tráfico rodado. *34º Congreso Nacional de Acústica, Encuentro Ibérico de Acústica, EAA Symposium. Tecniacústica 2003*. Bilbao (España), noviembre 2003.
- [3] J. González; M. Machimbarrena; J.I. Sánchez. Mapa de ruidos de Valladolid 2001-2002 . Mapa de ruidos de valladolid 2002. *34º Congreso Nacional de Acústica, Encuentro Ibérico de Acústica, EAA Symposium. Tecniacústica 2003*. Bilbao (España), noviembre 2003.