

## **SIMULACIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO URBANO PARA LA CIUDAD DE TERRASSA**

PACS: 43.50. Lj

Salueña X., Romeu J., Jiménez S., Capdevila R, Nápoles A, Andrea R.

Laboratorio de Mecánica e Ingeniería Acústica.

ETS de Ingenieros Industriales de Terrassa. U.P.C.

Colom 11

08922 Terrassa. Spain

Tel.: 937 398 145

Fax: 937 398 101

E-mail: [saluena@em.upc.es](mailto:saluena@em.upc.es)

### **ABSTRACT**

In this paper We try to adapt an existent general formulas for traffic noise simulation, CETUR method, to others more specificas for a city in concrete. We have achieve an study of diurnal and nocturnal equivalent level in some points on the streets of different types at the city and another along some significative streets for evaluate variables as type of traffic, cross section influence ...

We have distinguish main factors of the city and We have insert in a formulas validate more later. Finally We have incorporate these in a GIS program.

### **RESUMEN**

En este artículo se pretende adaptar unas fórmulas generales ya existentes para la simulación del ruido de tráfico, CETUR, por otras más específicas para una ciudad en concreto.

Se ha realizado un estudio del nivel equivalente diurno y nocturno en algunos puntos de calles de diferente tipología de la ciudad y a continuación un estudio a lo largo de varias calles significativas para evaluar variables como el tipo de circulación, influencia del perfil ...

Se han distinguido los factores propios de la ciudad y se han introducido en unas fórmulas posteriormente validadas. Finalmente se han incorporado en un programa SIG.

### **INTRODUCCIÓN**

La simulación del ruido de tráfico mediante fórmulas es una herramienta que permite abaratar los costos de actualización de los mapas acústicos de una ciudad<sup>1</sup>. Aunque según mi entender, una herramienta de simulación debe ser además de sencilla y de bajo costo, fiable, por lo que debe validarse previamente mediante mediciones de niveles de ruido en cada ciudad en concreto. En la actualidad el método de evaluación recomendado según la legislación europea para países miembros sin métodos nacionales o para los que quieren cambiarlo es el método nacional de cálculo francés "NMPB", publicado en el "Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6" y en la norma francesa "XPS 31-133". Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, esos documentos se remiten a "Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980".

Si bien este método (detallado) en lo que refiere a la ciudad de Terrassa se aproxima bastante, en algunas ocasiones los valores estimados se desvían más de 5 dBA de los valores medidos experimentalmente. Es evidente que cada ciudad tiene sus rasgos característicos por lo que las fórmulas generalistas para evaluar el ruido de tráfico deben modificarse para cada ciudad en concreto. Un problema que se plantea en los programas de simulación de ruido de tráfico comerciales es que son cerrados, lo que no permite la modificación de dichas fórmulas. En el departamento de mecánica de la Escuela de Ingenieros Industriales de Terrassa llevamos varios años estudiando y desarrollando un sistema abierto que permita adaptar las fórmulas del CETUR para ciudades concretas combinando una hoja de cálculo con un programa de tecnología SIG. El campo de trabajo es por el momento la ciudad de Terrassa.

## ALCANCE DEL PROYECTO

- En este proyecto se realiza el estudio para circulación acelerada, decelerada, pulsativa y continua.
- Se han estudiado diferentes factores geográficos de las calles.
- El estudio se plantea desde diferentes periodos del día: diurno y nocturno. Se estudia por separado y se plantean las diferencias.
- Se ha realizado el estudio para el interior de Terrassa y no para los alrededores. No se ha tenido en cuenta el estudio de polígonos industriales, paradas de autobús, de tren ...
- No se han considerado los diferentes tipos de asfalto.
- No se han considerado la estacionalidad, fines de semana ni diferente climatologías.
- No se han considerado diferentes tipos de protecciones acústicas como barreras ...

## MEDICIONES EXPERIMENTALES

Para la validación de las fórmulas de previsión de ruido de tráfico se han realizado mediciones de larga y corta duración, con varios sonómetros integradores Brüel&Kjaer tipo I, según la normativa ISO 1996 2: 1987. Las medidas de 24 horas se han utilizado para establecer el intervalo de tiempo óptimos para realizar las medidas de corta duración, es decir, donde los niveles de medición se corresponden aproximadamente con el nivel equivalente medio diurno ( 9:00 a 13:00 h) y con el nivel equivalente medio nocturno ( 24:00 a 2:00 h). Se realizaron también medidas semanales para determinar los días válidos para realizar las medidas de corta duración (De Lunes a Jueves).

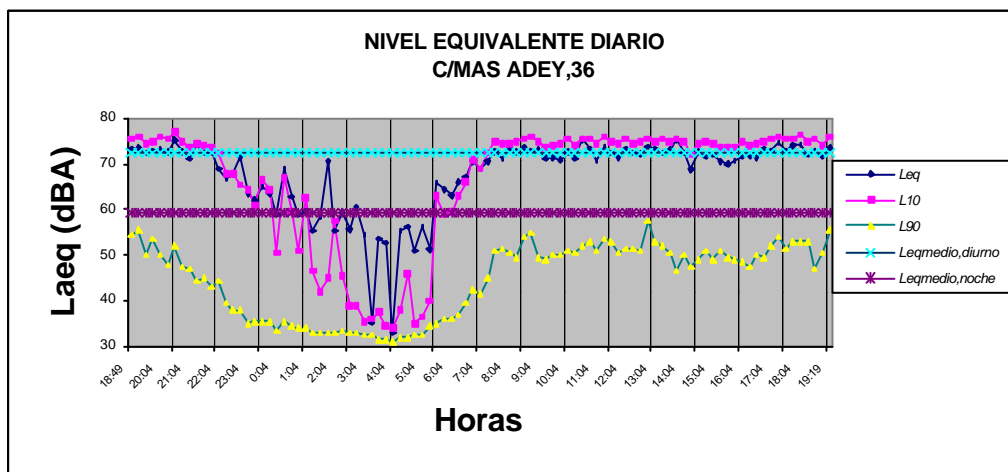


Figura 1. Comparación de los niveles equivalentes de 15 minutos y el nivel equivalente medio diurno y nocturno en un día laborable para una calle determinada de la ciudad de Terrassa.

Las medidas de corta duración se han realizado para diferentes tramos, con circulación acelerada, decelerada, pulsativa y continua, para 15 calles diferentes con un total de 145 mediciones diurnas y 114 mediciones nocturnas. Las calles elegidas representan las diferentes tipologías existentes en la ciudad en función del trazado y funcionalidad.

La circulación media diaria (IMD) de cada tramo se tomaron a partir de las mediciones con sondas de tráfico realizadas por la unidad de tráfico del ayuntamiento de Terrassa.

## MODIFICACIONES DE LAS FÓRMULAS DEL CETUR PARA LA CIUDAD DE TERRASSA

Debido a la imprecisión de las fórmulas “simplificadas” del CETUR<sup>2</sup> se han modificado sólo las fórmulas “detalladas” adaptando los ábacos a fórmulas más informatizables. Se han distinguido entre fórmulas para perfiles en U y en L. para niveles equivalentes de día y de noche.

### a. Estimación del número de vehículos

La estimación del número de vehículos la realizaremos a partir del IMD y del porcentaje de vehículos contados durante la medición de nivel equivalente.

$$\begin{array}{ll}
 \text{Día} & \text{Noche} \\
 Q_{vl} = \frac{IMD}{15} \cdot \% vl = \frac{IMD}{15} \cdot (1 - \% vp - \% m) & Q_{vl} = \frac{IMD}{9} \cdot \% vl = \frac{IMD}{9} \cdot (1 - \% vp - \% m) \\
 Q_{vp} = \frac{IMD}{15} \cdot \% vp & Q_{vp} = \frac{IMD}{9} \cdot \% vp \\
 Q_m = \frac{IMD}{15} \cdot \% m & Q_m = \frac{IMD}{9} \cdot \% m
 \end{array}$$

Donde: IMD: intensidad media diaria de vehículos, % vl: Porcentaje de vehículos ligeros, % vp: Porcentaje de vehículos pesados, % m: Porcentaje de motocicletas y ciclomotores.

### b. Se distinguen las fórmulas para perfiles transversales de las calles en U y en L.

#### b.1 Perfil en U

La fórmula inicial de partida (CETUR) en una vía en U es:

$$L_{eqA} = E + 10 \log Q_{vl} + 23 - 10 \log \lrcorner - A$$

Donde: E: nivel de emisión sonora de vehículos, Q: caudal de vehículos, v: velocidad media de los vehículos,  $\lrcorner$ : anchura de la vía en metros, A: Pérdida por absorción

Para una calle en U en el centro urbano y basándonos en revistas especializadas se puede considerar que las pérdidas por absorción son de 1 dB(A) por lo que la fórmula resulta:

$$L_{eqA} = E + 10 \log Q_{vl} + 22 - 10 \log \lrcorner$$

*Nivel sonoro equivalente para los vehículos ligeros, pesados y motocicletas y ciclomotores.*

$$L_{eqvl} = E_{vl} + 10 \log Q_{vl} + 22 - 10 \log \lrcorner$$

$$L_{eqvp} = E_{vp} + 10 \log Q_{vp} + 22 - 10 \log \lrcorner$$

$$L_{eqm} = E_m + 10 \log Q_m + 22 - 10 \log \lrcorner$$

#### b. 2 Perfil en L o J

La fórmula para una vía en L será ya sea nivel diurno como nocturno suponiendo que no hay ningún obstáculo entre el micrófono y los vehículos:

$$L_{eqA} = E + 10 \log Q + 20 - 12 \log (d + l_c / 3)$$

Donde: E: nivel de emisión sonora de vehículos, Q: caudal de vehículos, d: Distancia desde el micrófono al borde de la calzada,  $l_c$ : Anchura de la calzada.

Nivel sonoro equivalente para los vehículos ligeros, pesados y motocicletas y ciclomotores.

$$L_{eqvl} = E_{vl} + 10 \log Q_{vl} + 20 - 12 \log (d + l_c / 3)$$

$$L_{eqvp} = E_{vp} + 10 \log Q_{vp} + 20 - 12 \log (d + l_c / 3)$$

$$L_{eqm} = E_m + 10 \log Q_m + 20 - 12 \log (d + l_c / 3)$$

### b. 3 Nivel equivalente total diario o nocturno para perfiles de calle en U, L o J

$$L_{eq\ total} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{eqvl}}{10}} + 10^{\frac{L_{eqvp}}{10}} + 10^{\frac{L_{eqm}}{10}} \right) + L_{sc} + L_{cr}$$

Donde  $L_{sc}$  = Influencia de la circulación en sentido contrario de la misma vía.

$L_{cr}$  = Influencia de la circulación de los cruces con otras vías.

### c. Equivalencia acústica entre vehículos ligeros y pesados.

Según el método del CETUR, para un porcentaje de desnivel inferior a 2% se considerará que la cantidad de vehículos pesados que pasan por hora provocara el mismo ruido que la cantidad de vehículos ligeros multiplicado por 10. Pero en bajada esta proporción no se conserva y prácticamente la diferencia radica en el rozamiento de las ruedas con el suelo. En el caso de los camiones este rozamiento es bastante superior al de los vehículos ligeros. En cuanto al régimen del motor se podría decir que son parecidos aunque si la pendiente es excesiva, si que habrá diferencias ya que el camión deberá poner una marcha más corta.

EQUIVALENCIA ACÚSTICA ENTRE VEHÍCULOS LIGEROS Y PESADOS.							
	% de rampa inferior a -7	% de rampa entre 2 y -7	% de rampa inferior a 2	% de rampa igual a 3	% de rampa igual a 4	% de rampa igual a 5	% de rampa superior o igual a 6
Equivalencia ( $E_{vp}$ )	10	5	10	13	16	18	20

### d. Consideración de las motocicletas y ciclomotores como vehículos propios.

Se ha deducido que la relación existente entre la emisión sonora de las motocicletas y ciclomotores con la emisión sonora de los vehículos ligeros es de 0,8.

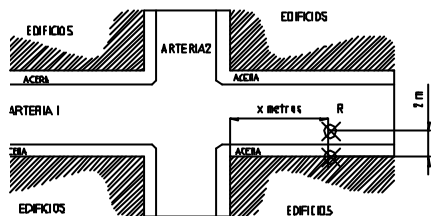
$$E_{\text{motocicletas y ciclomotores}} = 0.8 * E_{\text{vehículos ligeros}}$$

Por lo que varían las gráficas de emisión sonora en función del tipo de circulación. Así mismo cambiará el coeficiente de relación entre vehículos ligeros y motocicletas

EQUIVALENCIA ACÚSTICA ENTRE VEHÍCULOS LIGEROS Y MOTOCICLETAS Y CICLOMOTORES.							
	% de rampa inferior a -7	% de rampa entre 2 y - 7	% de rampa inferior a 2	% de rampa igual a 3	% de rampa igual a 4	% de rampa igual a 5	% de rampa superior o igual a 6
Equivalencia ( $E_m$ )	10/3	5/3	10/3	13/3	16/3	6	20/3

### e. Influencia del sentido contrario y el cruce

En tramos en que hay cruces o circulación en sentido contrario debe sumarse esta influencia. Para hallar la influencia de sentido contrario Lsc y de cruce Lcr calcular:



$$L_{12} = L_2 - \Delta L$$

$$\Delta L = 3 + 0,10 x$$

$$L_{cr} = L_1 + [L_2 - (3 + 0,10x)]$$

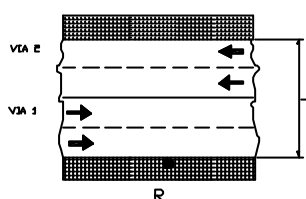
Donde: L1 es el nivel estimado debido a la arteria 1  
L2 es el nivel estimado debido a la arteria 2

$$L_{12} = L_2 - \Delta L$$

$$\Delta L = 3 + 0,10 (L/2)$$

$$L_{sc} = L_1 + [L_2 - (3 + 0,10(L/2))]$$

Donde: L1 es el nivel estimado debido a la vía 1  
L2 es el nivel estimado debido a la vía 2



## RESULTADOS

La mayoría de los resultados obtenidos (222 estimaciones) se aproximan en  $\pm 3$  dBA a las medidas reales siendo sólo ( 9 estimaciones) mayores a  $\pm 4$  dBA de los 259 puntos medidos. Los resultados son más ajustados que aplicando las fórmulas del CETUR. A continuación se expone un ejemplo de una calle de Terrassa con los valores reales, estimados por el CETUR y calculados con el método del CETUR modificado.

Método detallado: C/Abat Marçet							
Nº MEDIDAS	Punto	LAeq15	Leq total estimado según el método detallado sin modificaciones	Diferencia entre Leq medido y el estimado sin modificaciones	Leq total estimado según el método detallado con modificaciones	Diferencia entre Leq medido y el estimado con modificaciones	
1	AB1	73,7	70,81	2,9	72,87	0,8	
2	AB1	73,7	73,89	-0,2	74,53	-0,8	
3	AB2	73,1	71,90	1,2	73,13	0,0	
4	AB2	75,5	71,08	4,4	72,77	2,7	
5	AB3	76,2	71,84	4,4	73,01	3,2	
6	AB3	74,8	70,79	4,0	72,53	2,3	
7	AB4	74,9	71,27	3,6	72,52	2,4	
8	AB4	75,0	70,53	4,5	72,19	2,8	
9	AB5	73,7	71,86	1,8	73,11	0,6	
10	AB5	72,3	72,23	0,1	73,22	-0,9	
11	AB6	73,0	72,68	0,3	73,15	-0,2	
12	AB6	72,1	67,19	4,9	70,95	1,1	

A continuación se muestran en el mapa aéreo de Terrassa, insertado en un programa SIG, los mapas temáticos de los niveles equivalentes reales y estimados por el método del Cetur

modificado, diurnos y nocturnos. Puede apreciarse la semejanza entre ambos, aunque los rangos de representación son de 3 dBA en vez de los 5 dBA que indica la norma ISO 1996 2: 1987.

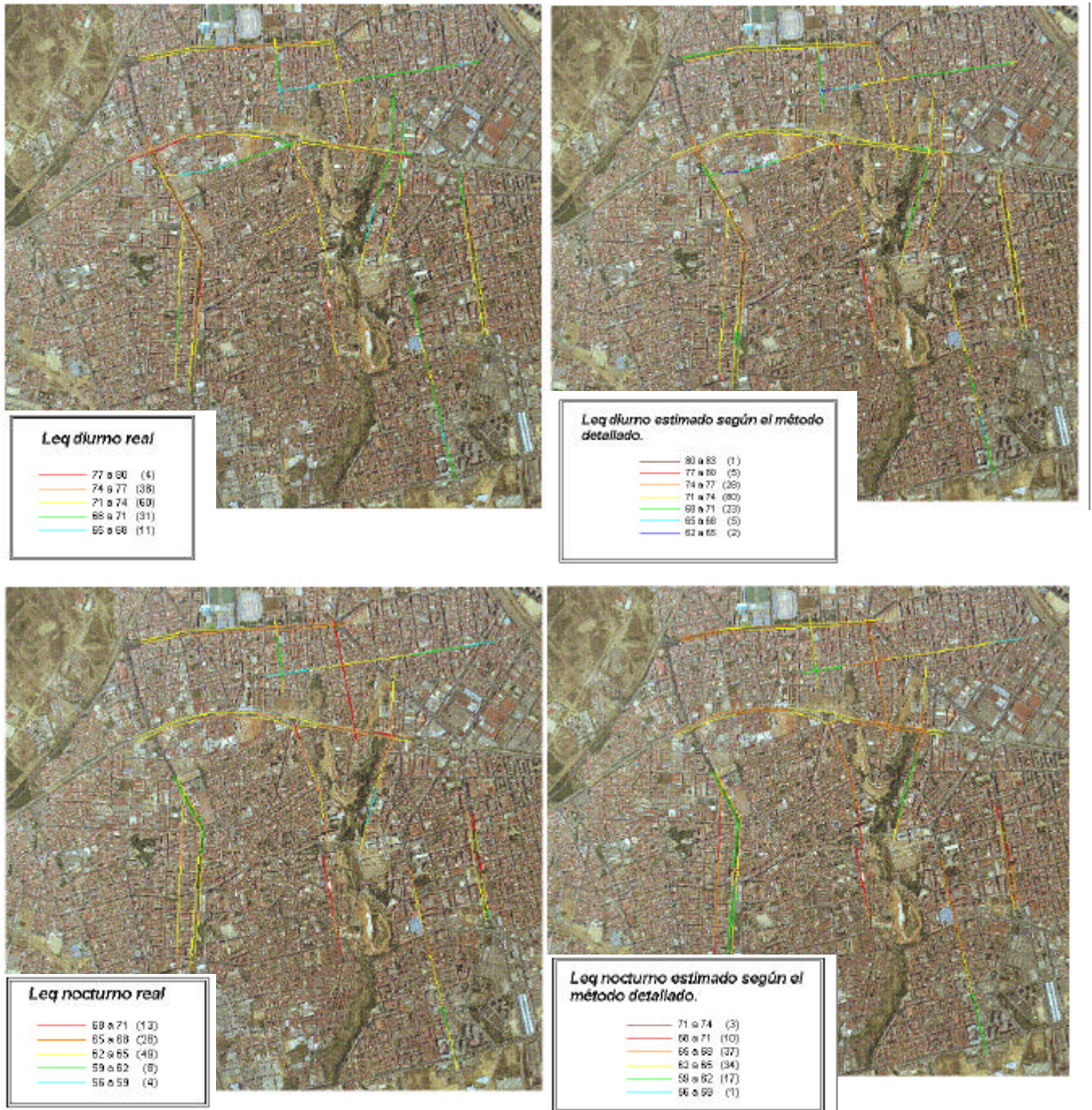


Figura 2. Comparación entre niveles equivalentes día y noche reales y estimados sobre la vista aérea de Terrassa. El número entre paréntesis corresponde al número de tramos comprendidos en cada rango.

## CONCLUSIONES

Debido a los rasgos característicos de cada ciudad es recomendable modificar las fórmulas de predicción generalistas. En este artículo se han citado las modificaciones aplicadas a las fórmulas del CETUR para la ciudad de Terrassa.

## BIBLIOGRAFÍA

- 
1. Salueña X. Et al, "Ruido de tráfico en la ciudad de Terrassa" Tecniacústica 98. Lisboa (1998)
  2. CETUR, Guide du bruit des Transports terrestres. Previsions des niveaux sonores. Ministere des transports. Direction Générale des Transports Intérieurs. Paris (1980)