

## CONSIDERACIONES ENERGÉTICAS PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO SONORO EN AMBIENTES URBANOS

PACS: 43.50.Qp

Solana Quirós P.E. (1); Picard López M. A. (1); Arizo Serrulla J.V. (2)  
Universidad Politécnica de Valencia

(1) Departamento de Física Aplicada. E.T.S. de I. Industriales

(2) Departamento de Transportes. E.T.S. de I. de Caminos, Canales y Puertos

Camino de Vera s/n. Apartado de Correos 22012

46022 Valencia. España

Tel: 34 963 877 524, 34 963 877 007 ext 75244

Fax: 34 963 879 529

E-mail: [jarizos@tra.upv.es](mailto:jarizos@tra.upv.es); [psolana@fis.upv.es](mailto:psolana@fis.upv.es); [mapicard@fis.upv.es](mailto:mapicard@fis.upv.es)

### ABSTRACT

In this study are utilised the tendencies in ways of transport and other sound sources for the evaluation of the acoustical impact. The total sound energy, the background noise, the exposition levels to the noise of singular events of the sources depending on the distance and the effective perceived noise level from the air traffic are considered. The classification in categories of the kind of sources, the daily sound energy and its potential impact enable us to establish algorithms to calculate the total daily acoustical energy in urban environments and their prediction.

### RESUMEN

Aceptando que está ampliamente comprobado que en medios urbanos densamente poblados, las principales fuentes son las debidas al transporte, este estudio, apoyándose en las propuestas elaboradas en la Unión Europea para la evaluación y gestión de la exposición al ruido ambiental, analiza las tendencias para la evaluación del impacto sonoro a través de la energía sonora total, el nivel de ruido de fondo, los niveles de exposición al ruido de sucesos aislados simples de las fuentes en función de la distancia y el nivel de ruido percibido efectivo en el caso del transporte aéreo. La clasificación de la tipología de las fuentes por categorías, su energía sonora diaria y su impacto potencial han permitido desarrollar algoritmos para el cálculo de la energía diaria total por categorías, tanto en tráfico urbano como interurbano, y su prognosis. Para esto último se añaden parámetros socioeconómicos que involucran a los modos de transporte, pasajeros-distancia, distancia-vehículo, vehículos "per cápita", movilidad,... La energía residual obtenida es función del catastro sónico, respecto al nivel de referencia ponderado  $A$ , la distancia de referencia, y teniendo en cuenta las pérdidas por atenuación y enmascaramiento, tiempo de operación, número de fuentes "per cápita", densidad, contribución horaria, etc. En el caso de los niveles de eventos simples, se contabilizan, el nivel de exposición al ruido y máximo ponderados  $A$ . Finalmente la evaluación del área impactada se realiza mediante índices de impacto sonoro para el transporte terrestre y el NEF para el aéreo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La evaluación y gestión de la exposición al ruido en la mayor parte de las comunidades urbanas se centra principalmente en el control de los niveles de ruido emitido por fuentes debidas al transporte, sin descartar ciertas actividades industriales y recreativas, y los niveles admisibles en el entorno. Para ello, la Directiva Europea establece estrategias básicas de actuación, tales como la armonización de los métodos de evaluación, la elaboración de mapas de ruido y el establecimiento de actuaciones que permitan alcanzar valores objetivo. En cuanto a la primera, llevaría a establecer métodos de evaluación e indicadores para las distintas fuentes con elevada correlación entre la dosis contaminante y su efecto. La segunda consistiría en la elaboración de los mapas mediante la agrupación de los métodos de evaluación y los datos obtenidos mediante los indicadores. Uno de estos indicadores sería la exposición de la población al ruido de tráfico para el cual deberá establecerse una metodología de cálculo adecuada. Las normas ISO 1996-1 y 2, pueden dar una orientación hacia la metodología a emplear. Por otro lado, la actualización de mapas de ruido y mapas que comparen la situación actual con posibles situaciones futuras debe realizarse mediante modelos predictores y análisis de tendencias socio-económicas y culturales. La Directiva Europea, aunque establece indicadores prioritarios, no descarta el empleo de parámetros adicionales, particularmente en casos especiales. En cualquier caso los responsables deben utilizar todos aquellos que permitan establecer pronósticos para corregir desviaciones de los objetivos con el fin de poder establecer estrategias políticas adecuadas. La literatura sobre la contaminación acústica ambiental es muy amplia y siempre se pueden encontrar en ella modos de actuación alternativos para una disminución sostenible del impacto producido por este tipo de contaminante.

### 1. PARÁMETROS DE ANÁLISIS DE TENDENCIAS

La elaboración de los mapas de ruido es un proceso claramente articulado en cuanto a métodos de evaluación, indicadores y planes de acción, no lo está tanto, sin embargo en cuanto a la prognosis. Las estrategias para la elaboración a medio o largo plazo de las situaciones sonoras futuras en ambientes urbanos o interurbanos, se fundamentan, desde luego, en el establecimiento de indicadores de molestia y modelos predictores para las diferentes fuentes de ruido, pero también en otros indicadores de ruido y, especialmente, en los indicadores de tendencias.

#### 1.1. Indicadores de molestia

Como indicadores principales del nivel de ruido en la ejecución de mapas la Directiva Europea propone, el nivel equivalente día-tarde-noche ( $L_{den}$ ),

$$L_{den} = 10 \log \left( 12 \times 10^{L_{day}/10} + 4 \times 10^{(L_{evening}+5)/10} + 8 \times 10^{(L_{night}+10)/10} \right) / 24$$

donde,  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  y  $L_{night}$ , son niveles ponderados A definidos en la norma ISO 1996 2:1987 y el indicador para periodo nocturno global ( $L_{night}$ ), definido en la misma norma, y determinado a lo largo de todos los periodos de 24 horas del año, por su amplia correlación con los casos de alteración del sueño (% HS).

#### 1.2. Modelos predictores

Los indicadores citados se evaluarán mediante métodos de cálculo o medición y se indican métodos provisionales, remitiéndose a las normas ISO, la ECAC.CEAC para los entornos de aeropuertos, la norma XPS francesa en tráfico rodado o la "standaard-Rekenmethode II" de los PPBB. Ciñéndonos al tráfico rodado en áreas urbanas, en el desarrollo de este estudio se ha empleado un modelo muy simple adecuado a volúmenes de tráfico elevados, (mayores de 1000 vehículos/hora), ya que para estos casos el tráfico puede ser tratado como fuente lineal, puesto

que la corriente de tráfico es percibida aproximadamente como una fuente cuasi estacionaria de ruido con algunas fluctuaciones debidas a la composición particular del tráfico en cada instante, hasta llegar a la saturación. En el modelo empleado para la evaluación del impacto sonoro de todos los tipos de calles, además de los parámetros habituales se han utilizado los siguientes, longitud de la vía, velocidad típica de vehículos, proporciones habituales del flujo de tráfico, pérdidas por enmascaramiento y franjas horarias. En vías multicarril de doble dirección se aplica un factor de corrección que permite calcular el impacto basándose en un carril único equivalente.

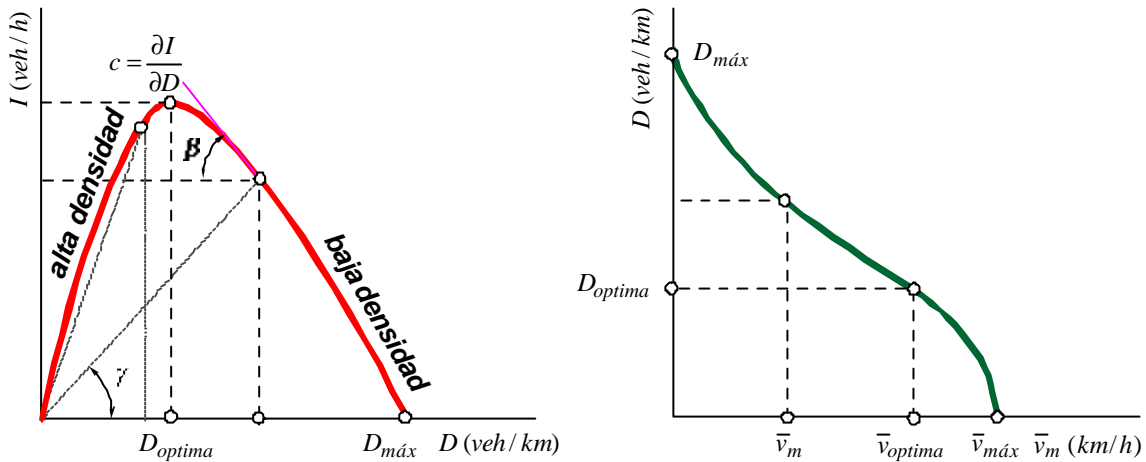


Fig. 1.- Relación entre la densidad, intensidad y velocidad en a vías urbanas.

### 1.3. Indicadores de ruido adicionales

Además de los indicadores mencionados se han utilizado indicadores especiales para considerar a fuentes sonoras particulares, entre las cuales se encuentran aquellas cuya emisión es reducida, tal es el caso de aeronaves, trenes, o ruidos con componentes tonales elevadas, de carácter impulsivo, etc. Entre estos indicadores se encuentran, el nivel de ruido residual ( $L_{A,90,T}$ ) o nivel de ruido de fondo, la energía sonora total del ruido, los niveles de exposición al ruido de sucesos aislados simples ( $L_{AE}$ ), nivel de ruido de un evento simple para las principales fuentes de ruido de transporte en función de la distancia,

$$L_{AE_i} = L_{AE_i}(n_i, t_i, L_{A_i}, d_i)$$

$n$  es el número de fuentes,  $t$  el tiempo medio de horas día,  $L_A$  el nivel,  $d$  la distancia de referencia para cada categoría  $i$ . El pronóstico de exposición al ruido ( $NEF$ ), que mide la exposición al ruido integrada en el tiempo sobre la superficie debido a las operaciones de los aviones (medida muy utilizada en Norteamérica), tiene en cuenta el ruido percibido efectivo ( $EPNL$ ) para un determinado tipo de avión, con una determinada trayectoria y el número de operaciones diurnas y nocturnas, penalizando estas últimas. Su expresión es,

$$NEF_{ij} = EPNL_{ij} + 10 \log (N_{d_{ij}} / 20 + N_{n_{ij}} / 12) - 75$$

donde,  $EPNL_{ij}$  nivel de ruido percibido efectivo,  $N_{d_{ij}}$  número de operaciones diurnas,  $N_{n_{ij}}$  número de operaciones nocturnas, para el tipo de avión  $i$  en la trayectoria  $j$ .

Conocida la energía sonora total media diaria para cada tipo de fuente, se obtiene la energía sonora total y el impacto potencial del ruido para cada categoría. Para ello se utilizan expresiones sencillas del tipo,  $L_{W_i} = L_{A,d,i} + 20 \log d_i + K_i$ , donde,  $L_{A,d,i}$  nivel ponderado  $A$  a distancia de

referencia  $d_i$  en metros,  $K_i$  constante. Para las estimaciones del nivel de ruido residual se emplea un modelo específico simple para ruido comunitario, que reemplaza las diversas fuentes discretas por una distribución de fuentes con densidad uniforme, en función de parámetros básicos.

$$L_{A,90,T} = f(L_{A,p,d_0}, d, a, r_F)$$

donde,  $L_{A,p,d}$  es el nivel de referencia ponderado  $A$  para cada fuente a  $d_0$ ,  $a$ , la corrección por atenuación debido a la directividad de la fuente y  $r_F$  la densidad superficial de fuentes. En este apartado se introducen los estimadores de tendencia. Por otro lado, la densidad de fuentes es estimada mediante,  $r_F = (\bar{P} n_{fp} w \bar{T}) / 24$ , donde,  $\bar{P}$  es la densidad media de población,  $n_{fp}$  número de fuentes por persona,  $w$  ponderación de empleo y  $\bar{T}$  número medio de horas operativas diarias. La aportación nocturna de los vehículos ligeros y furgonetas decrece sustancialmente, en tanto que la contribución de los vehículos pesados permanece prácticamente constante, incluso para el tráfico periférico e interurbano. Para ello se analizan las gráficas de composición del tráfico horario y diario urbano e interurbano y se realizan estudios de origen y destino, (elaboración de gráficas de distribución de tipos de viaje y distribución de viajes en áreas urbanas en función de del tipo de área atravesada) y la densidad de población y vehículos *per cápita* que variará, obviamente, de unas ciudades a otras, (normalmente existe cierta correlación con la población total y la antigüedad del área e estudio). El nivel de ruido residual en cualquier área generado por todas las formas de tráfico y por un amplio y variado número de fuentes estacionarias dispersas, es fundamental para evaluar la reacción de la comunidad sometida al ruido y tiene la particularidad de variar lentamente para las comunidades con modelos de planificación territorial estables.

### 1.3. Indicadores de tendencias

Los indicadores de tendencia, consistentes en parámetros estimadores socioeconómicos que utilizan los datos estadísticos de años precedentes, son importantes para las estimaciones de la tendencia de la energía sonora de los vehículos de transporte en tráfico urbano. Las relaciones, km-vehículo, (movilidad vehículos), km-pasajeros (movilidad pasajeros), media pasajeros-vehículo y estudios de origen y destino, normalizadas para población, tipo de vehículo y modo de transporte.

#### Matriculaciones de automóviles

##### Turismos

##### ventas en junio

1990	91.665
1991	82.726
1992	94.383
1993	74.449
1994	95.617
1995	101.490
1996	79.751
1997	93.867
1998	116.825
1999	146.819
2000	145.024
2001	151.325

##### acumulado enero-julio



##### Todoterreno

##### ventas en junio

2000	8.515
2001	6.935 (-18,6%)

##### acumulado enero-julio

2000	46.941
2001	40.370 (-14%)

Fig. 2.- Matriculaciones de vehículos nuevos. (Datos del informe anual de la Asociación Nacional de Fabricantes de Automóviles y Camiones, *Anfac*).

En cuanto al tráfico interurbano, será necesario conocer las tendencias, del tráfico de pasajeros *per capita*, del número de vehículos *per capita* y de los kilómetros recorridos por cada tipología de vehículo al año. Las estimaciones del número de vehículos se hace mediante la extrapolación de la tendencia en número de vehículos por persona teniendo en cuenta datos económicos y la variación de la tasa de crecimiento de población. Para otros tipos de fuentes se han efectuado estimaciones similares, ante la falta de datos, se ha supuesto que no variará sustancialmente el número medio de horas de uso diario. En la figura 2 se muestra un ejemplo simple de las múltiples estadísticas utilizadas que inmersas en otros datos y debidamente analizadas son de utilidad en el establecimiento de estimadores.

## 2. IMPACTO DEL RUIDO SOBRE LA POBLACIÓN

La combinación de los indicadores principales con las correspondientes relaciones dosis-efecto, ha servido para predecir la respuesta media de la población. Los efectos considerados en la evaluación del impacto del ruido sobre población, activa o pasiva son, el riesgo de daño en la audición, la interferencia en la comunicación hablada y, las alteraciones del sueño. Para ordenar las distintas fuentes en términos de riesgo de daño a la audición, la exposición al ruido por persona se ha transformado en un nivel de exposición equivalente ponderado  $A$  para 8 horas mediante,

$$L_{A,eq,8h} = L_A + 16.7 \log (T / 8)$$

donde,  $L_A$  es el nivel de ruido ponderado  $A$  y  $T$  el tiempo medio de exposición al ruido en horas. Esta típica expresión equivale a aumentar  $5 \text{ dB}$  al doblar el tiempo. Esta fórmula es empleada con frecuencia para definir la exposición al ruido permitida para los operarios.

El impacto de los sistemas de transporte sobre la comunicación hablada ha sido evaluada fundamentalmente en función de los efectos de interferencia sobre la comunicación. El criterio para esto último está especificado en términos de nivel de ruido de fondo como una función de la distancia de separación entre el que habla y el que escucha para prevenir una interferencia significativa en la comunicación hablada continua. El criterio considera la tendencia a elevar el nivel de voz cuando el nivel de ruido aumenta por encima de  $55 \text{ dBA}$ . Además, se ha empleado el mismo criterio para despreciar o no la interferencia en el habla, mediante datos estipulados de antemano, para un nivel normal de conversación, con el fin de estimar los niveles mínimos deseables sin alterar la privacidad en la comunicación. Así pues, se indica el nivel de ruido deseable para que una conversación privada deje de oírse por las personas adyacentes. Este nivel mínimo de ruido puede variar en función de la distancia entre fuente y receptor, aumentando las pérdidas de propagación entre cada pareja de hablante-oyente. El criterio para que exista privacidad en la conversación está basado en el establecimiento de un índice de articulación ( $AI$ ) menor de 0.05 para las trayectorias de comunicación no deseadas.

Para la percepción del ruido ambiental y la evaluación en zonas sensibles como, el interior vehículos de pasajeros, viviendas, centros escolares, entornos hospitalarios, parques públicos, se rige por los criterios ya mencionados completados por las limitaciones vigentes.

## 3. CONCLUSIONES

La expansión de los sistemas de transporte en áreas urbanas se espera que sigan las tendencias que relacionan los kilómetros *per capita* para varios tipos de vías y la población afectada, ya que los valores se mantienen constantes para un amplio rango de población. El análisis de los datos indica que, para grandes núcleos el aumento del número de kilómetros *per capita* se produce por igual para los diferentes tipos de vías. En grandes ciudades los indicadores que muestran la tendencia entre los kilómetros por vehículo y los índices de accesibilidad, al operar los sistemas

viarios en la proximidad de su capacidad, pueden adquirir cierta relevancia e indicar el correcto desarrollo urbano no solo en cuanto a la contaminación acústica. En este aspecto, en áreas urbanas, las proyecciones futuras muestran que el número de kilómetros de vías rápidas podría aumentar en proporción directa con el número de vehículos. Por otro lado, los datos indican que los vehículos son cada vez más silenciosos, lo que contrarresta, al menos parcialmente, los efectos anteriores. Uno de los aspectos que requerirá mayor atención será, aparte del establecimiento de los valores límite, el mejor conocimiento de las relaciones dosis-ruido, ya que por el momento, las aplicadas son excesivamente simples, (extrapoladas de la criterios actuales para la evaluación de impacto), y que pudieran no ser las más adecuadas en ciertas situaciones.

## REFERENCIAS

- [1] Abdel Alim, O., *Traffic noise level as a guide for town-planning*, Applied Acoustics, **16**, (1983), 139-146.
- [2] Anon., *Procedures for abatement of highway traffic noise and construction noise*, Code of Federal Regulations, (1982), Chap, 23, 1-9.
- [3] Brambilla, G., *Analisi di parametri acustici per la valutazione del rumore nell'abitacolo degli autoveicoli*, 5º Convegno Nazionale CNR PFT, vol 1 Part 2, Napoli, (21-23 Sept. 1988), 651-62.
- [4] Brown, A. L., Hall, A., Kyle-Little, J., *Response to a reduction in traffic noise exposure*, Journal of Sound and Vibration, **98**, (1985), 235-46.
- [5] Cannelli, G. B., Gluck, K., Sandobini, S., *A mathematical model for evaluation and prediction of the mean energy level of traffic noise in Italian towns*, Acustica, **53**, (1983), 31-6.
- [6] Fidell, S., Teffeteller, S., Horonjeff, R., Green, D. M., *Predicting annoyance from the detectability of low-level sounds*, Journal of the Acoustical Society of America, **66**, (1979), 1427-34.
- [7] Fidell, S., *Aircraft noise annoyance at three joint air carrier and general aviation airports*, J. Acoust. Soc. Am, **77**(3), (1985), 1054-1068.
- [8] Fields, J. M., *The effects of numbers of noise events on people's reactions to noise: An analysis of existing survey data*, J. Acoust. Soc. Am., **75**, (1984), 447-467.
- [9] Fitz-Simons, T., *The maximum likelihood to probabilistic modeling of air quality data*, U.S. Environmental protection, (1979).
- [10] García, A., *The prediction of traffic noise levels in urban areas*, International Conference on Noise Control Engineering, Munich, (1985).
- [11] Griffiths, I. D., Raw, G. J., *The effect of changes in aircraft noise exposure*, Journal of Sound and Vibration, **101**, (1985), 273-5.
- [12] Griffiths, I. D., Raw, G. J., *Community and individual response to changes in traffic noise exposure*, Journal of Sound and Vibration, **111**(2), (1986), 209-17.
- [13] Hall, F. L., *Community response to noise: its all the same?*, J. Acoust. Soc. Am., **76**(4), (1984), 1161-1167.
- [14] Jraiw, K. S., *Estimation and modelling of traffic noise in urban and suburban environments*, Proceedings of Institute of Acoustics, **8**(3), (1986), 267-74.
- [15] Jraiw, K. S., *Can noise generation from road transport be abated by desing and planning?*, Proceedings 10A, Acoustics, **87**(9), (1987).
- [16] Jraiw, K., *A computer model to assess and predict road transport noise in builtup areas*, Applied Acoustics, **21**, (1987), 147-162.
- [17] Kadhim S. Jraiw, *Prediction Techniques for Transport Noise leq in Built up Areas*, Inter-Noise 86, 733-737.
- [18] Langdon, F. J., Griffiths, D., *Subjective effects of traffic noise exposure II: Comparisons of noise indices, response scales, and the effects of changes in noise exposure*, Journal of Sound and Vibration, **83**, (1982), 171-82.
- [19] McNulty, G. J., *Impact of transportation noise in some new industrial countries*, Applied Acoustics, **21**, (1987), 81-87.
- [20] Skarlatos, D., *Noise probability density functions for poisson type traffic flow*, Applied Acoustics, **27**, (1989), 47-55.
- [21] Ullrich, S., *Influence de la vitesse des véhicules et du revêtement de la chaussée sur l'énergie sonore moyenne du bruit de circulation*, Acustica, **30**, (1974), 90-99.

