

MÉTODO DE ESTIMACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO DEL TRÁFICO POR CARRETERA. APLICACIÓN A LA PROVINCIA DE LLEIDA

Calderó, E.; Astals, F.; Gassó, S.^(p)

Abstract

This communication presents a method for assessing the acoustic impacts of road traffic in interurban routes, and its application to the particular case of the province of Lleida.

The quality acoustic distances has been calculated by the CETUR method. It has been computed with a daily resolution, in each one of the road sections in which there are available measures on daily average traffic (DAT). It has been calculate the range from which the sonorous levels perceived are inferior to the values fixed by regulations, both diurnal and nocturnal conditions.

These models require detailed information on DAT, percentage of heavy duty vehicles, type of engine, vehicles speed, type of road, etc. These values have been introduced from the (DAT) measures and the statistical information of the vehicular park composition.

Application of the acoustic emission model allow analyzing the acoustic quality in different sections from the studied routes, based on different associated parameters from the (DAT), as well as from the sensitivity of the zone. The geographical representation of the obtained emissions gives a territorial vision of the acoustic impact in the interurban routes, and it is possible to be used as tool of support to the decision making.

Keywords: Environmental impact, Road traffic, Acoustic impact, Make decision

Resumen

Esta comunicación presenta un método para la determinación de los impactos acústicos debidos al tráfico en vías interurbanas y su aplicación al caso particular de la provincia de Lleida.

Las distancias de calidad acústica se han determinado utilizando el método CETUR. Con una resolución temporal diaria, en cada uno de los tramos de vía en los que se dispone de estaciones de aforo, se ha calculado la distancia a partir de la cual los niveles sonoros son inferiores a los valores fijados por la normativa, tanto para condiciones diurnas como nocturnas.

Estos modelos requieren información detallada sobre la IMD, porcentaje de pesados, tipos de motores, la velocidad de vehículos, tipo vía, etc. Estos valores se han podido introducir a partir de los aforos y de la información estadística de los parques de vehículos.

La aplicación del modelo de emisiones acústicas permite analizar la calidad acústica en diferentes tramos de las vías estudiadas, en función de diferentes parámetros asociados a la IMD, así como a la sensibilidad de la zona. La representación espacial de las emisiones da una visión territorial del impacto acústico en las vías interurbanas y se puede utilizar como herramienta de soporte a la toma de decisiones.

Palabras clave: Impacto Ambiental, Tráfico Rodado, Impacto Acústico, Toma de Decisiones

1. Introducción

El ruido es uno de los principales problemas de contaminación ambiental que afecta al conjunto de la población, tanto en el entorno urbano como interurbano, ya que procede de diversas fuentes y sus emisiones a la atmósfera son difíciles de controlar. Entre los diferentes focos emisores de ruido el producido por el tránsito ha sufrido un incremento continuo y exponencial en los últimos años, a pesar de los esfuerzos invertidos para su minimización. Estudios recientes realizados en diferentes países [1] han determinado que el transporte es el responsable de un 85% de las emisiones acústicas (véase Figura 1).

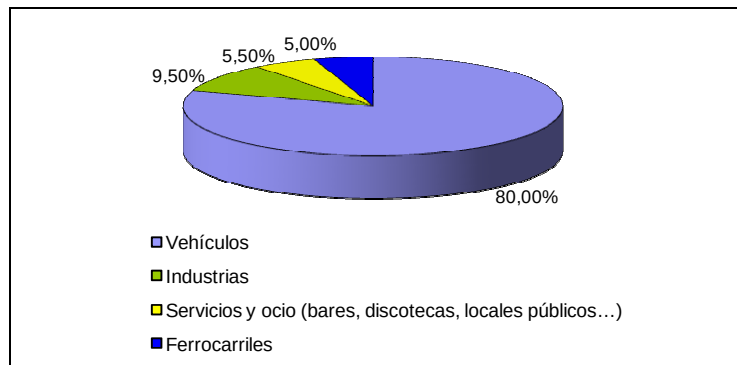


Figura 1 Distribución de las fuentes de emisión de ruido

La Comisión Europea ha estimado que, en España, más del 30% de la población está expuesta a niveles de ruido por tráfico superiores a los aceptables (65 dB(A)), mientras que un 60% estaría expuesta a un nivel molesto (entre 55 y 65 dB(A)).

El ruido producido por el tráfico rodado es un fenómeno complejo debido esencialmente a los efectos sensoriales que produce sobre los seres humanos, así como por la dificultad de obtener medidas físicas del mismo.

Su intensidad varía con la distancia que separa la fuente emisora del receptor y del entorno ambiental por el que se propaga. En el caso del transporte por carretera las fuentes emisoras de ruido son múltiples: los neumáticos, el motor, los sistemas de admisión y escape, el freno y la propia aerodinámica del vehículo. La propagación de este ruido depende de la interacción entre los vehículos (tipos, número y velocidad), de la estructura de la vía (diseño, construcción y materiales), del medio próximo al sistema vía-entorno, de sus componentes y receptores, de las características de los edificios, del número de habitantes etc [2].

De aquí la importancia de disponer de métodos de cálculo, como el que se propone en esta comunicación, que permitan analizar la calidad acústica de las infraestructuras viarias y plantear alternativas de gestión en la planificación de nuevas infraestructuras (en función de la IMD prevista, proximidad de población, condiciones de la infraestructura, etc.) que permitan minimizar los niveles del impacto acústico causados por esta fuente emisora [3].

1.1. El ruido y la infraestructura viaria

El ruido resultante a una determinada distancia de la infraestructura viaria depende de múltiples factores, que se pueden clasificar en tres grupos [4]: 1) tráfico, 2) trazado y diseño de la vía y 3) entorno de la vía.

El *tráfico* incluye los siguientes parámetros:

- La intensidad del tráfico. Número de vehículos que circulan por una sección de una vía determinada por unidad de tiempo. Es un parámetro muy importante, ya que la duplicación del número de vehículos, manteniendo el resto de condiciones constantes, se traduce en un incremento de 3 dB.
- Velocidad media del tráfico. Velocidad que es sobrepasada por 50% de los vehículos.
- Espectro normalizado del ruido de tráfico. Es importante para evaluar la contribución de determinadas fuentes, pero los objetivos se presentan siempre en términos de de ruido global.
- Composición del tráfico. Porcentaje de vehículos ligeros respecto a pesados, ya que tienen estos últimos tienen niveles sonoros sensiblemente superiores. Para considerar este fenómeno se habla del factor de equivalencia acústica.

La influencia del *trazado y diseño de la vía* considera los siguientes aspectos:

- La sección transversal de la vía, ya que el entorno inmediato de la vía influye en la propagación del ruido.
- El perfil longitudinal. Las vías en rampa son más ruidosas.
- La amplitud de la vía. La anchura de los carriles tiene influencia en la propagación del sonido, sobre todo a distancias cortas.
- El tipo de pavimento. En términos generales, los pavimentos porosos producen una reducción de unos 3 dB respecto a los normales, mientras que los de elevada adherencia provocan un crecimiento de 3 dB.

En el *entorno* de la vía los parámetros considerados son:

- La distancia. Es de unos 3 dB cuando se dobla el intervalo.
- La absorción del aire. Es poco importante, del orden de 1 dB.
- La temperatura y el viento. Ambos pueden provocar variaciones de hasta 5 dB.
- El efecto del suelo. Se debe diferenciar entre suelos refractantes y suelos absorbentes. Debido a que la medida del grado de atenuación es muy difícil, se trabaja con curvas experimentales.
- La topografía y los obstáculos. Cada obstáculo (vegetación, barreras, etc.) es una situación concreta, que se debe analizar particularmente.

1.2. El ruido asociado al vehículo

La emisión sonora global del vehículo como fuente emisora viene determinada por la contribución de varios focos emisores, que se describen brevemente a continuación.

El *ruido de origen mecánico* que se origina por el motor y por los elementos mecánicos que constituyen el vehículo. Los ruidos del grupo motor dependen del tipo de motor, del número de revoluciones, de la velocidad y del nivel de mantenimiento (eficacia del tubo de escape).

El *ruido de rodadura* que se produce por la adherencia y deslizamiento de los neumáticos sobre la calzada. Se ha comprobado, experimentalmente, que los factores que más inciden en el ruido de los neumáticos son el tipo y dimensiones de éstos, la velocidad del vehículo, la textura y grado de conservación de la calzada y estado del pavimento (incrementa cuando está mojado). Este tipo de ruido se localiza a nivel de la calzada ya que ésta puede absorberlo parcialmente. A partir de 50 km/h empieza a predominar el ruido ocasionado por la rodadura del vehículo sobre el mecánico [5].

El *ruido aerodinámico* se genera por la fricción del aire con el vehículo, y adquiere significancia a partir de velocidades elevadas. Aunque las técnicas modernas de diseño aerodinámico de las carrocerías de los vehículos han conseguido mejoras notables de este impacto con coeficientes de penetración cada vez más bajos.

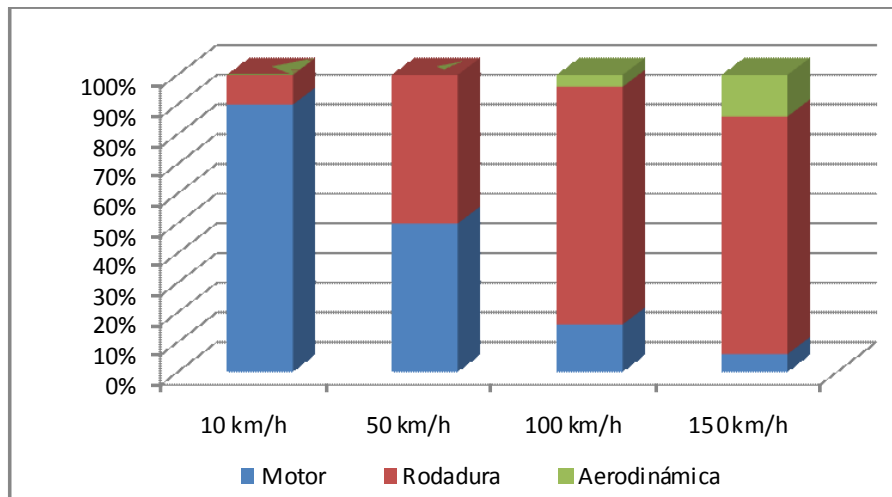


Figura 2 Contribución en función de la velocidad de los focos emisores del vehículo

En la Figura 2 se observa que a velocidades inferiores a 50 km/h, velocidades de circulación en vías urbanas, predomina el el ruido del motor. A medida que aumenta la velocidad la contribución de la fricción pavimento-neumático es cada vez mayor. Finalmente, a partir de velocidades elevadas, la aerodinámica empieza a tener una contribución a las emisiones sonoras.

2. Método para la estimación del impacto acústico del tráfico

La metodología utilizada en este trabajo para la predicción de los niveles sonoros en vías interurbanas considera e integra las principales variables que inciden en la inmisión y propagación de ruido producido por el tráfico rodado [6].

Se basa en la metodología que adoptada por el Centro de Estudios de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), que se fundamenta en el análisis de los fenómenos físicos y consta de dos partes principales [7]:

1. Determinación de la potencia acústica emitida por los vehículos. Esta determinación se realiza sobre la base de leyes analíticas establecidas a partir de las cuales se han obtenido modelos empíricos de variación del nivel sonoro en función de los parámetros característicos de la circulación.
2. Cálculo de las condiciones de propagación de la onda acústica y, en particular, de las atenuaciones de esta onda en el transcurso de su propagación. Esta determinación se realiza a partir de leyes analíticas elementales que describen los principales efectos que afectan a una onda acústica en el momento de su propagación: disminución de intensidad sonora por alejamiento de la fuente, difracción, reflexión, absorción, efecto de suelos, etc.

El conocimiento de estos dos elementos permite estimar el nivel sonoro en un punto determinado.

Los ruidos muy variables, como es el caso del tráfico rodado, fluctúan de tal manera que es necesario promediar la energía sonora para poder expresarla en una sola cifra. El nivel de inmisión sonora equivalente es el parámetro utilizado para referirse al ruido variable generado por los vehículos en un determinado intervalo de tiempo, al nivel de presión sonora equivalente al de un ruido continuo. El nivel de inmisión sonora equivalente se expresa en decibelios tipo A (dB(A)), es una unidad de nivel sonoro que incorpora una función de peso que tiene en cuenta la sensibilidad del oído humano a las diferentes frecuencias.

En la metodología utilizada, para el cálculo del *nivel sonoro de inmisión equivalente* se ha aplicado la ecuación (1):

$$Leq = 20 + 10 \cdot \log(IMH_{VL} + E \cdot IMH_{VP}) + 20 \cdot \log V - 12 \cdot \log d \quad (1)$$

donde,

Leq : Nivel de inmisión sonoro equivalente (dB(A)).

IMH_{VL} : Intensidad media horaria de vehículos ligeros (vehículos/h).

IMH_{VP} : Intensidad media horaria de vehículos pesados (vehículos/h).

E : Factor de equivalencia acústica entre el ruido emitido por un vehículo ligero y uno pesado.

V : Velocidad media del vehículo (km/h).

d : Distancia desde el receptor al borde de la vía (m).

Si se dispone de valores de intensidad media diaria (IMD) del tráfico para los diferentes tipos de vehículos, IMH_{VL} e IMH_{VP} se pueden calcular mediante las ecuaciones (2) y (3) respectivamente, para periodos diurnos (entre las 7 y las 23 horas).

$$IMH_{VL,día} = \frac{IMD_{VL}}{17} \quad (2)$$

$$IMH_{VP,día} = \frac{IMD_{VP}}{17} \quad (3)$$

En el periodo nocturno se utilizan las ecuaciones (4) y (5)

$$IMH_{VL,noche} = 0,009 \cdot IMD_{VL} \quad (4)$$

$$IMH_{VP,noche} = 0,009 \cdot IMD_{VP} \quad (5)$$

El factor de equivalencia acústica (E) varía en función de la pendiente (r) y del tipo de vía interurbana, tal como se puede observar en la Tabla 1.

Tipo de vía	Factor de equivalencia acústica (E)				
	$r < 2\%$	$r = 3\%$	$r = 4\%$	$r = 5\%$	$r > 6\%$
Autopista y autovía	4	5	5	6	6
Carretera convencional	7	9	10	11	12

Tabla 1 Factor de Equivalencia Acústica en función de la pendiente y del tipo de vía

La distancia (d) a la que el receptor recibe la emisión acústica generada por la circulación de vehículos por una vía interurbana será un parámetro al cumplimiento de la normativa y al establecimiento de mapas de calidad acústica, asociados a las distancias de calidad acústica fijadas por la normativa para diferentes zonas en función de la sensibilidad de las mismas.

3. Aplicación a la provincia de Lleida

3.1. Red viaria de la provincia de Lleida

La red viaria de la provincia de Lleida tiene una longitud total de 2 888 km, de los cuales, 177 km corresponden a autopistas y autovías, 33 km a vías de doble calzada y 2 678 km a vías de calzada única.

El parque de vehículos de la provincia de Lleida para el año 2005 se muestra en la Tabla 2.

Tipo de vehículo	Nº de vehículos	Distribución (%)
Turismos	192 427	67,76
Camiones y furgonetas	57 223	20,15
Motocicletas/ciclomotores	18 427	6,49
Tractores industriales	3 920	1,38
Autocares	475	0,17
Otros	11 517	4,05
Total	283 989	100,00

Tabla 2 Parque de vehículos de Lleida (2005). Fuente, DGT, Anuario estadístico 2006

La IMD es el principal parámetro de movilidad necesario para determinar la emisión acústica diferenciando, si es posible, el tránsito de vehículos ligeros respecto al de vehículos pesados.

Según datos de la *Direcció General de Carreteres de la Generalitat de Catalunya*, del *Servei de Vies i Obres de la Diputació de Lleida* y de la *Unitat de Carreteres del Estado*, las vías de la demarcación de la Lleida han sufrido un constante aumento de la intensidad del tráfico en los últimos años, debido al incremento del parque de vehículos, mayoritariamente turismos, generado por la demanda de movilidad por motivos de estudio.

Los datos de IMD de la provincia de Lleida en el 2005, muestran que las principales vías con mayor IMD (entre 20 000 y 50 000 vehículos/d) son las que unen la demarcación de Lleida con Barcelona (la autopista AP-2 y la autovía A-2). También tienen una elevada IMD (entre 10 000 y 20 000 vehículos/d) varias carreteras nacionales y comarcales como la N-230 que une la ciudad de Lleida con la Vall d'Aran, la N-240 que une la ciudad con la demarcación de Tarragona y Huesca y la C-14 que también une la ciudad con La Seu d'Urgell y Andorra.

Por otra parte, la relación entre la IMD y la IML (Intensidad media de vehículos en días laborables) es un indicador que refleja la movilidad cotidiana y la distribución del tráfico a lo largo de la semana. Cuando la relación entre IML e IMD es inferior a uno, indica una movilidad de circulación de vehículos principalmente de fin de semana. Del total de tramos de las vías leridanas que disponen de esta información (básicamente estaciones permanentes y primarias), el tráfico en días laborables es un 58% superior al de los fines de semana, tal y como se puede observar **Figura 3**.

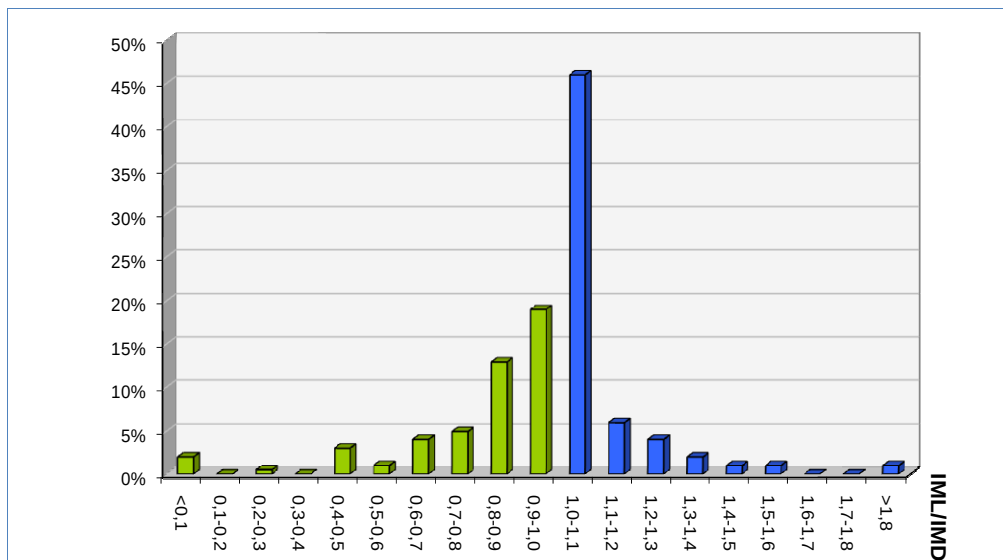


Figura 3 Relación IML y IMD de la demarcación de Lleida, 2005. Fuente: Servei Català de Trànsit

En referencia a los vehículos pesados (camiones, autocares y furgonetas), los ejes viarios que canalizan los flujos más elevados de este tipo de tráfico son la autopista AP-2 y la autovía A-2, que representan más del 20% del conjunto de la IMD. La mayor parte de las vías que unen la ciudad de Lleida con las principales ciudades o pueblos de la misma demarcación tienen una IMD entre un 10 y un 20 % de la IMD total.

3.2. Límites máximos de inmisión sonoros. Normativa

Para realizar un control y valoración acústica de las carreteras leteridanas, se han definido los límites máximos de inmisión sonoros fijados por la normativa y que se consideran legalmente tolerables para las personas.

La referencia, desde un punto de vista legislativo a nivel estatal, es la *Ley 37/2003*, de 17 de noviembre, *del Ruido* y el *RD1513/2005*, de 16 de diciembre, que la desarrolla y que trasponen al derecho español la *Directiva Europea 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*. A escala autonómica está la *Ley 16/2002*, de 28 de Junio, *de protección contra la contaminación acústica* de aplicación en todo el territorio de Cataluña, que es anterior a la aprobación de la *Ley del Ruido 37/2003*.

Para el establecimiento de la zonificación acústica, la *Ley 37/2003* del ruido establece 7 tipos de áreas de referencia, aunque da a las Comunidades Autónomas las competencias para fijar los tipos de áreas de sensibilidad acústica, que deben cumplir los criterios mínimos reglamentados por la ley estatal. En la reglamentación autonómica catalana (*Ley 16/2002*), se diferencian tres tipos de zonas acústicas, que para carreteras se resumen en la Tabla 3.

Zona de sensibilidad	Valores límite de inmisión L _{Ar} en dB(A)		Valores de atención L _{Ar} en dB(A)	
	Día	Noche	Día	Noche
A: alta	60	50	65	60
B: Moderada	65	55	68	63
C: Baja	70	60	75	70

Tabla 3 Valores límite de inmisión sonora en el ambiente exterior producida por los medios de transporte (Día: 7 a 23 h; Noche: 23 a 7 h)

En las vías donde la intensidad media de vehículos diaria es igual o superior a 25.000 vehículos, la normativa catalana, establece, los valores límite de inmisión en el ambiente exterior se incrementan en 5 dB(A). Aunque en el presente trabajo no se ha aplicado este incremento, a fin de obtener la distancia acústica mínima de una carretera a partir de la cual se podría considerar que el nivel de confort es adecuado.

3.3. Impacto acústico del tráfico en la provincia de Lleida

Según la metodología expuesta en el apartado 2, el nivel de inmisión sonoro equivalente en los diferentes tramos de red viaria de Lleida se ha calculado mediante la ecuación (1).

A partir de las ecuaciones (2), (3), (4) y (5) se han calculado las IMH de los vehículos ligeros y pesados, en periodo diurno y nocturno, de todas las vías interurbanas de la demarcación de Lleida con una IMD superior o igual a 8 219 vehículos/d. La normativa catalana establece que las administraciones titulares de infraestructuras han de elaborar cada cinco años mapas estratégicos de ruido de todos los grandes ejes viarios en los que el tráfico sobrepase los 8 219 vehículos diarios.

Para calcular el factor de equivalencia acústica E , al no disponer de datos de las pendientes de cada una de las carreteras de red viaria de Lleida, se ha utilizado el valor correspondiente a una pendiente más restrictiva ($r > 6\%$, véase Tabla 1).

La velocidad media diaria de los vehículos V , del conjunto de tramos de vías considerados en el estudio se ha obtenido a partir de datos suministrados por las diversas administraciones de las que depende la red viaria leridana a través del correspondiente Plan de Aforamiento.

Como ejemplo representativo de los resultados obtenidos se han seleccionado dos tramos de la carretera N-II. El primero situado a la altura de Lleida con la mayor IMD, y el segundo situado a la altura de Tàrrrega con la IMD más bajo, dentro del intervalo de estudio. Los datos de tráfico en estas dos zonas se pueden ver la Tabla 4.

Vía	N-II	N-II
Longitud del tramo (km)	0,404	0,142
pk-inicio	469,794	508,988
pk-final	461,198	509,13
IMD (vehículos/d)	47 233	8 961
% de pesados	44,06	44,00
IMDvl (vehículos/d)	26 422	5 018
IMDvp (vehículos/d)	20 811	3 943
Vvl (km/h)	76	82
Vvp (km/h)	57	82

Tabla 4 Datos de tráfico en diferentes tramos de la N-II

En la Tabla 5 se observa que los valores estimados de la distancias de calidad acústica en el tramo en el que la IMD es más elevada son un 30 % superiores a las distancias del tramos de IMD inferior. En el cálculo de esta distancia se ha tenido en cuenta el nivel sonoro equivalente establecido por la normativa en función de la zona de las tres zonas de sensibilidad [8].

Periodo	Zona de sensibilidad	Leq (dB(A))	Distancia (m/km) Tramo N-II _{L=0,404 km}	Distancia [m/km] Tramo N-II _{L=0,142 km}
Diurno	A	60	281,9	261,3
	B	65	108,0	82,9
	C	70	41,4	31,8
Nocturno	A	50	401,7	308,3
	B	55	153,9	118,1
	C	60	59,0	45,3

Tabla 5 Distancia de calidad acústica en las diferentes zonas de sensibilidad, en periodo diurno y nocturno, en los diferentes tramos de la carretera N-II

A través del mapa cartográfico de la demarcación de Lleida, se ha representado el intervalo de la distancia de calidad acústica diaria, en un periodo diurno (Figura 4) y nocturno (Figura 5), en la zona de sensibilidad alta (A), como resultado de las distancias acústicas determinadas a partir del método de cálculo propuesto. Se observa que en la autovía A-2, la autopista AP-2 y las principales carreteras de acceso a la ciudad de Lleida son las principales vías de la demarcación que tienen la mínima distancia de calidad acústica en la zona de sensibilidad alta (60 dB(A) en periodo diurno y 50 dB(A) en periodo nocturno) debido a la elevada intensidad de tráfico, tanto de vehículos ligeros como de vehículos pesados [8].

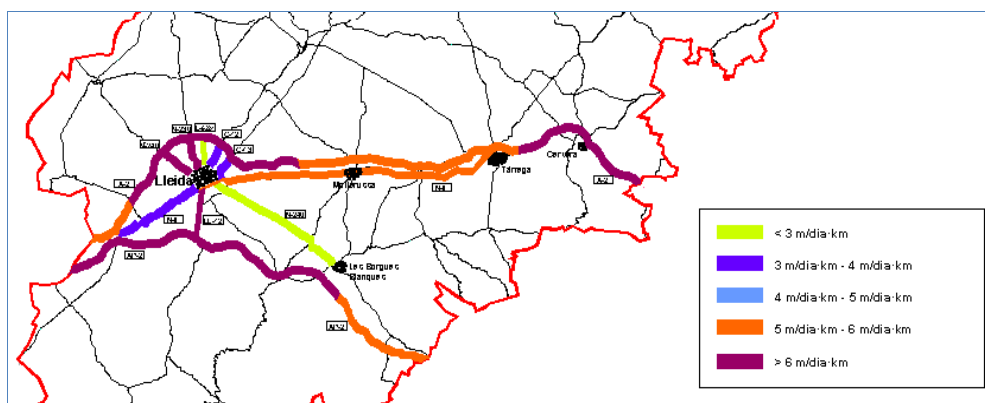


Figura 4 Distancia de calidad acústica en periodo diurno

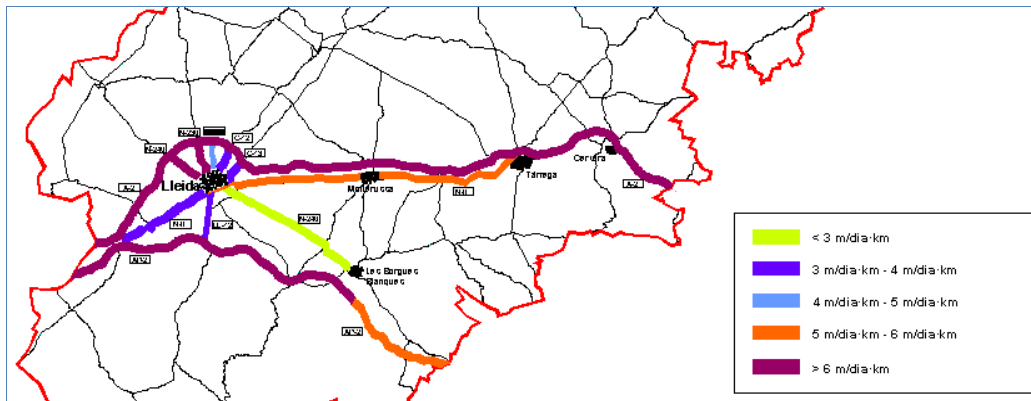


Figura 5 Distancia de calidad acústica en periodo nocturno

4. Conclusiones

En esta comunicación se ha presentado la metodología propuesta para la determinación de los impactos acústicos debidos al tráfico en vías interurbanas.

Esta metodología se fundamenta en la estimación del nivel de inmisión sonora equivalente, que es el parámetro utilizado para referirse al ruido variable generado por los vehículos en un determinado intervalo de tiempo, al nivel de presión sonora equivalente al de un ruido continuo. El nivel de inmisión sonora equivalente se expresa en decibelios tipo A (dB(A)), es una unidad de nivel sonoro que incorpora una función de peso que tiene en cuenta la sensibilidad del oído humano a las diferentes frecuencias.

Asimismo se presenta una aplicación al caso particular de la provincia de Lleida. Para ello ha sido necesario caracterizar las infraestructuras viarias de esta provincia, siendo la IMD el principal parámetro de movilidad necesario para determinar la emisión acústica. Además ha sido necesario diferenciar, dentro de lo posible, el tránsito de vehículos ligeros respecto al de vehículos pesados, así como las velocidades medias de los mismos.

Los resultados obtenidos muestran claramente la utilidad de la metodología desarrollada para la obtención de mapas de distancias de calidad acústica, que permiten realizar una valoración ambiental del actual estado de las carreteras (diagnóstico). También podrían servir como herramientas de soporte en la planificación de futuras infraestructuras.

Referencias

- [1] Directorate General for Energy And Transport (2005). *Energy & Transport in Figures, Transport*. European Union.
- [2] Crocker, M.J., (1997). *Encyclopedia of acoustics*. John Wiley & Sons, N.Y.
- [3] Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (1995). *Reducción del ruido en el entorno de las carreteras*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente - Dirección General de Carreteras.
- [4] Ballbé Ortí, A., (2004). *Immissió acústica de les carreteres catalanes. Establiment de la distància de qualitat com a paràmetre de control*. Treballs acadèmics UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. (<https://eprints.upc.es/pfc/handle/2099.1/3385>).
- [5] Ulf Sandber (2002). *Acoustic pollution due to tyre/road noise*. Jornadas internacionales sobre contaminación acústica en las ciudades, Madrid.

- [6] Working Group Assessment of Exposure to Noise (2006). *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*. European Commission.
- [7] CETUR (1980). *Guide Du Bruit Des Transports Terrestres. Previsions Des Niveaux Sonores*. Direction Générale des Transports Intérieurs, Ministère des Transports, Paris.
- [8] Calderó, E. (2007), *Estudi de l'impacte ambiental del transport a la demarcació de Lleida*, PFC, UPC, ETSEI Terrassa.

Correspondencia

Prof. Santiago Gassó Domingo
Departamento de Proyectos de Ingeniería
ETSEIAT-UPC
c/ Colom, 11, 08222 Terrassa (Barcelona)
Phone: +34 937 39 86 59
Fax: + 34 937 39 81 01
E-mail: santiago.gasso@upc.edu