



Laboratori d'Enginyeria Acústica i Mecànica
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



Mapa estratégico de ruido de las infraestructuras ferroviarias gestionadas por Ferrocarril Metropolitano de Barcelona, SA.

	Nombre	Fecha
Realizado por	Ángel Sánchez	1-4-08
Aprobado por	Jordi Romeu	10-4-08

Ref.	R20 - 07/08
Revisión	0
Fecha	Abril 2008

Índice

1. Objeto	2
2. Marco legal	2
3. Descripción general del estudio	3
4. Metodología	4
5. Glosario	9
6. Resultados	9
7. Conclusiones	16
8. Plan de acción	17
9. Bibliografía	17

1. Objeto

El presente documento tiene por objeto cumplir la Directiva europea 2002/49/CE sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental y la Ley 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica referente a la elaboración de los Mapas estratégicos de ruido de las infraestructuras ferroviarias de titularidad de la Generalitat de Catalunya con una intensidad de tráfico superior a 60.000 trenes/año.

2. Marco legal

La elaboración y cartografiado de los mapas estratégicos básicos se tienen que hacer atendiendo a las especificaciones de la Directiva europea sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, complementadas con las especificaciones dictadas por el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda (DMAV).

La Directiva europea obliga a cartografiar las isófonas de 55, 60, 65, 70 y 75 dB(A) para el indicador L_{den} y las isófonas de 50, 55, 60, 65 y 70 dB(A) para el indicador L_n . El DMAV añade a éstos, el indicador L_d con el cálculo de las isófonas de 55, 60, 65, 70 y 75 dB(A).

La Ley 16/2002 de protección contra la contaminación acústica define:

- L_d el nivel sonoro equivalente en el intervalo que va desde las 7 hasta las 21 h (horario diurno).
- L_e el nivel sonoro equivalente en el intervalo que va desde las 21 hasta las 23 h (horario de tarde).
- L_n el nivel sonoro equivalente en el intervalo que va desde las 23 hasta las 7 h (horario nocturno).
- L_{den} como un índice de evaluación de la molestia global durante las 24 horas de la inmisión sonora. Se obtiene a partir de los índices anteriores de la manera siguiente:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(14 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 2 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right)$$

Este índice penaliza los niveles de tarde y nocturno con 5 y 10 dB respectivamente ya que en estos periodos la molestia provocada por el ruido es mayor.

3. Descripción general del estudio

En el caso concreto de las infraestructuras gestionadas por FMB, sólo se han encontrado dos tramos al aire libre y que den lugar, en consecuencia, a la propagación de ruido al ambiente, y se recogen en la tabla 3.1.

Línea	PK INICIAL	PK FINAL	TRAMO
1	115+960	116+529	Santa Eulàlia
5	112+567	112+787	Can Boixeres

Tabla 3.1 Tramos al aire libre gestionados por FMB

Sobre estos tramos se han calculado:

- Las distancias de las isófonas de los índices L_{den} , $L_{día}$, L_{tarde} y L_{noche} .
- Las superficies de afectación para el índice L_{den} .
- Los habitantes expuestos a los intervalos L_{den} de 55-59, 60-64, 70-74 y mayor de 75 dB(A) y L_{noche} de 50-54, 55-59, 60-64, 65-69 y superior a 70 dB(A).
- Las viviendas afectadas por valores superiores L_{den} 55, 65 y 75 dB(A).

Los resultados comprenden los archivos en formato SIG compatible donde se encuentran las isófonas representadas sobre la cartografía de la zona del contorno de los tramos y la presente memoria explicativa según el formato propuesto por el DMAV.

4. Metodología

4.1 Planteamiento

La realización de los mapas estratégicos de infraestructuras en Cataluña responde al cumplimiento con la Directiva 2002/49/CE. Por otro lado los mapas estratégicos tienen que ser una herramienta que permita la gestión del ruido de estas infraestructuras. Ante esta dualidad, se ha decidido dividir los estudios de infraestructuras de la que la Generalitat es titular en dos partes: la primera, en la que se quiere determinar la superficie y población expuesta, y, la segunda, donde se realizarán los estudios necesarios para aplicar medidas correctoras donde corresponda.

La segunda parte será de mucho más detalle que la primera, y se centrará sólo en aquellas zonas donde haya población afectada por el ruido de la infraestructura. Teniendo en cuenta esta segunda fase, la primera parte del estudio no se realiza con gran detalle por las dos razones siguientes:

- Los tramos que afecten a población se estudiarán con más detalle en la segunda fase. Esto incluye, cuando sea necesario, la simulación con cartografía a escala 1:2000 o superior.
- Se valora que el esfuerzo económico de determinar las isófonas con detalle de los tramos no poblados no compensa la hipotética diferencia de resultados.

Dado que la parte de infraestructura ferroviaria gestionada por FMB se reduce a los dos tramos mencionados, en este caso se ha creído conveniente realizar todo el estudio según lo previsto en la segunda fase, ya que la variación de esfuerzo entre uno y otro procedimiento, aplicado al caso de FMB, es prácticamente despreciable.

4.2 Herramientas y bases de datos utilizadas

Los instrumentos utilizados en el estudio han sido:

- Atlas Electrónico de Cataluña.
- Cartografía del Instituto Cartográfico de Cataluña a escala 1:5000

- Oficina Virtual del Catastro.
- Instituto de Estadística de Cataluña.
- Software de predicción del ruido ambiental software CADNA.

Para la elaboración de los mapas se definió un programa que se desarrolló en las fases siguientes:

Fase 1 Elaboración de la primera base de datos donde figuran:

- Denominación de la línea de ferrocarril.
- Descripción del tramo.
- Definición del tráfico en las diferentes franjas horarias consideradas.

Esta fase generó la primera serie cartográfica que contiene los tramos localizados.

Fase 2 Elaboración de la segunda base de datos donde figuran:

- Coordenadas UTM del inicio y final de cada tramo.
- Velocidad específica del tramo.

Fase 3 Elaboración de la tercera base de datos donde figuran:

- Distancia de las isófonas a la línea blanca de la carretera.
- Superficie total expuesta a los índices L_{den} i L_n de acuerdo con lo prescrito por el marco legal.

Fase 4 Elaboración de la cuarta base de datos donde figuran:

- Número de viviendas afectadas para los índices L_{den}
- Habitantes afectados para los índices L_{den} y L_{noche} .

4.3 Cálculo de las isófonas

El cálculo de las isófonas depende de un conjunto de parámetros que se listan y justifican a continuación:

Modelo de cálculo: las isófonas se han calculado utilizando el método de cálculo NMPB96 según prescripción del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya. El modelo incluye la afectación de las condiciones meteorológicas en la propagación del ruido de las infraestructuras, la geografía y composición del terreno y las condiciones de tráfico.

Condiciones ambientales: el modelo pide la introducción de un valor entre 0 y 100 en un diagrama circular segmentado cada 20°. El valor entre 0 y 100 representa el porcentaje de condiciones favorables a lo largo del año de propagación sonora en la dirección en cuestión. Estos valores, en el caso de Francia, se pueden obtener de un mapa de condiciones de propagación, realizado específicamente a efectos de cálculo del ruido de las infraestructuras. En caso de no disponer de un mapa de estas características, el modelo recomienda el análisis de datos de lugares próximos dentro de un intervalo de 3 años, si puede ser.

El modelo indica que la reducción de nivel sonoro en condiciones desfavorables con respecto a las condiciones homogéneas es más importante que el incremento causado por las condiciones favorables respecto de las homogéneas. En consecuencia, el mismo modelo considera que se tiende a sobreestimar los niveles sonoros con el uso de la variable de propagación favorable. De hecho, se indica que para receptores situados a menos de 250 m de la infraestructura no hay que considerar esta variable.

Teniendo en cuenta la falta de información de las condiciones meteorológicas en Cataluña, las observaciones que hace el mismo método de cálculo, y el hecho de que en la mayoría de casos, las isófonas más distantes no llegan a los 250 m., se han considerado finalmente las siguientes condiciones meteorológicas:

- Viento: ausente
- Temperatura: 15° C
- Humedad: 70%
- Condiciones de propagación: homogéneas

Datos de tráfico: los datos de tráfico horario diurno, de tarde y nocturno, así como la velocidad de circulación, provienen de la información suministrada por Ferrocarriles Metropolitanos de Barcelona.

Horarios: en la distribución del tráfico total en los horarios diurno, de tarde y nocturno, se ha tenido en cuenta el horario que establecen las indicaciones del DMAV: horario diurno desde las 7 a las 21 h, horario de tarde de las 21 a 23 h y horario nocturno de las 23 a 7 h.

Topografía: se ha considerado el terreno de acuerdo con la información suministrada por las curvas de nivel a escala 1:5000. Los edificios se han introducido con la altura correspondiente y también se han introducido en el modelo los obstáculos conocidos a la propagación sonora, como muros y similares. El terreno se ha considerado estándar según reconoce al propio modelo (coeficiente de absorción de 0,68).

Caracterización de la fuente sonora: el modelo dispone de una base de datos, pero los datos suministrados no se ajustan siempre bien a las tipologías de trenes catalanes. En consecuencia, se ha procedido a medir el nivel sonoro de un conjunto representativo de trenes a una cierta distancia. De esta forma, se puede obtener el nivel equivalente medio de paso de tren, asociado a un tiempo medio de paso. Con este dato se puede determinar la potencia acústica equivalente al paso de un tren. Conocida ésta, se extiende el cálculo al conjunto de toda la circulación en los diferentes intervalos horarios.

4.4 Cálculo de la población expuesta

Para la determinación de la población expuesta al ruido, primeramente se ha procedido a determinar los usos de cada una de las edificaciones afectadas para cada uno de los tramos considerados, separando los edificios residenciales de los que no lo son. Esta identificación se ha hecho a partir de la información presente en la Oficina Virtual del Catastro, y que es de consulta pública. El Catastro da, además, el número de viviendas por edificio, de manera que en este punto se conoce qué edificio es residencial y cuál no, y el número de viviendas que contiene.

A partir de estos datos, para aproximar la población expuesta a los diferentes niveles de ruido se ha consultado, por cada municipio afectado, el valor de la dimensión media de los hogares (en habitantes) a la base de datos del IDESCAT, que resulta ser de 3 habitantes/vivienda. Multiplicando este dato por el número de viviendas de cada edificio, se encuentra la población de cada edificio residencial. Éste no es, sin embargo, el dato de población afectada, ya que puede haber, en un mismo edificio, viviendas expuestas (fachada orientada a la vía) y no expuestas (diametralmente opuestas a las anteriores).

La estimación de la población expuesta se ha calculado ponderando el total de población de un edificio con la relación entre el perímetro de fachada expuesta y el total, según la relación siguiente:

$$P_e = P_t \frac{L_e}{L_t}$$

La figura 4.1 muestra un ejemplo de esta situación.

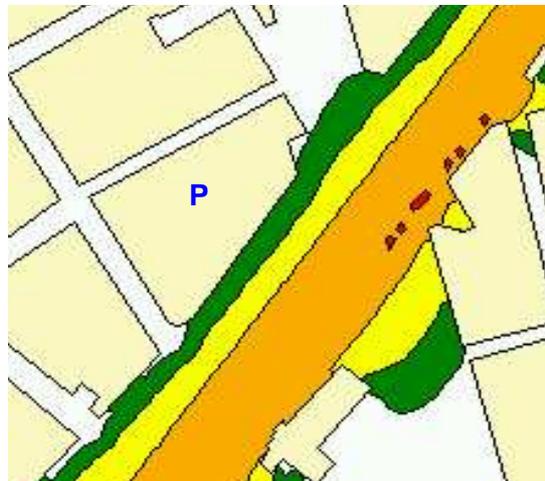


Fig. 4.1 Edificio (P) afectado por niveles sonoros dentro del rango considerado por la Directiva sólo en una de las fachadas. La población expuesta se calcula a partir de la relación de perímetro expuesto y perímetro total

5. Glosario

Para hacer comprensible y asequible a cualquiera el presente documento, se presenta un glosario con las explicaciones y definiciones de la terminología usada.

- ISÓFONA línea imaginaria que contiene puntos de igual nivel sonoro.
- L_{den} Indicador de ruido día-tarde-noche. Es el indicador asociado a la molestia global según la expresión siguiente:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{24} \left(14 \cdot 10^{\frac{L_{día}}{10}} + 2 \cdot 10^{\frac{L_{tarde}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{noche}+10}{10}} \right) \right]$$

- L_{noche} Indicador de ruido asociado a la alteración del sueño durante el periodo nocturno (de 23 h a 7 h).
- L_{tarde} Indicador de ruido asociado a la molestia durante el periodo de la tarde (de 21 h a 23 h).
- $L_{día}$ Indicador de ruido asociado a la molestia durante el periodo diurno (de 7 h a 21 h).
- INMISIÓN es la concentración de uno o más contaminantes en un punto determinado procedentes de diversos focos de emisión. En el caso de la inmisión acústica el contaminante es el ruido.

6. Resultados

Se muestran en este apartado los resultados obtenidos para los dos tramos de forma separada.

6.1 Línea 5

6.1.1 Descripción del entorno

El tramo que discurre al aire libre de la Línea 5 está comprendido entre los PK 112+567 y 112+787, próximo a la estación de Can Boixeres y dentro del término municipal de L'Hospitalet y de Esplugues. La zona que rodea al tramo estudiado está, básicamente, despoblada, ya que a la derecha (en sentido L'Hospitalet) de la vía se encuentra un terreno atravesado por la B-20 y a la izquierda se encuentran las instalaciones de mantenimiento de FMB. Existen un conjunto de viviendas del término municipal de L'Hospitalet, que están situadas ya sobre el tramo soterrado de la vía. Existe también un muro de tres metros de altura en el lado derecho de la vía.



Figura 6.1 Entorno del tramo de Can Boixeres

Los trenes que circulan son de la serie 5000, y la circulación, según las franjas horarias consideradas, se muestra en la tabla 6.1. El tipo de vía es de travesía de madera sobre balasto.

Periodo	Día	Tarde	Noche
Número de circulaciones	470	128	114

Tabla 6.1 Circulaciones en los dos sentidos en función del periodo horario

6.1.2 Mapas de afectación

Las figuras que se muestran dentro de este apartado muestran las zonas de afectación a los índices L_{den} y L_n según los rangos indicados por el marco legal considerado.

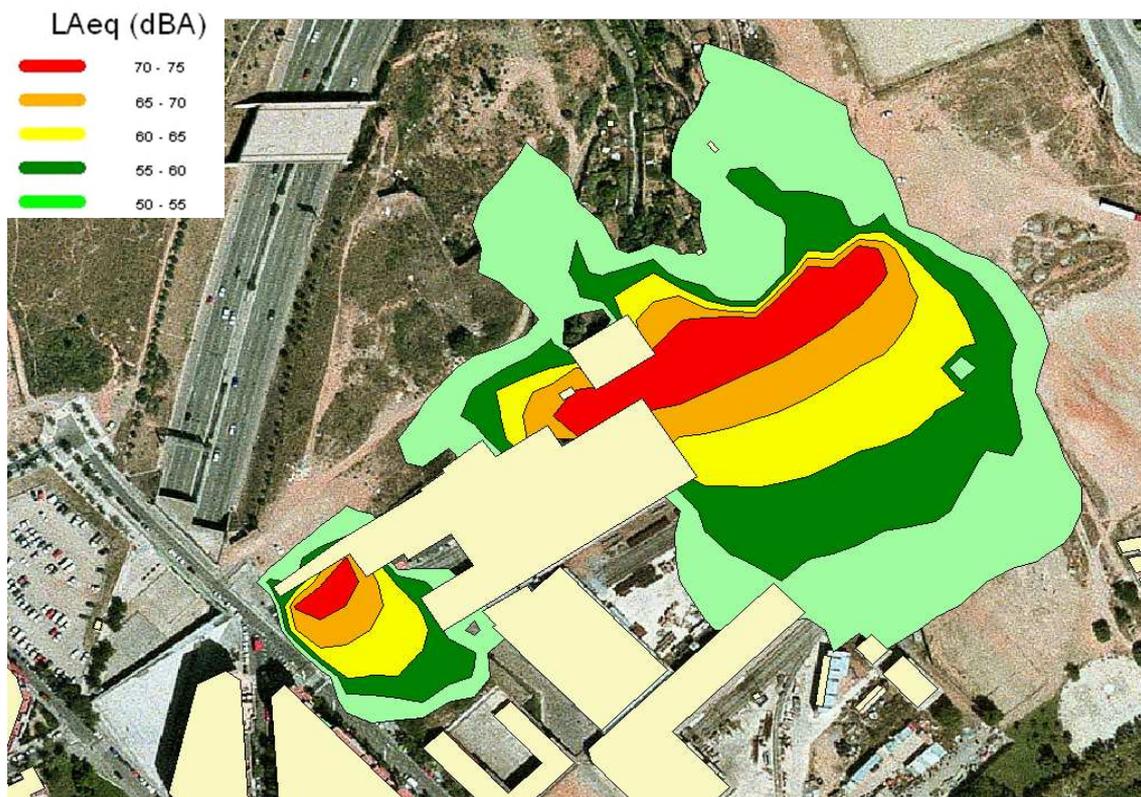


Fig. 6.2 Zona afectada según el índice L_{den} . Las figuras resaltadas en color amarillo son edificios. No hay ningún edificio residencial afectado por las isófonas

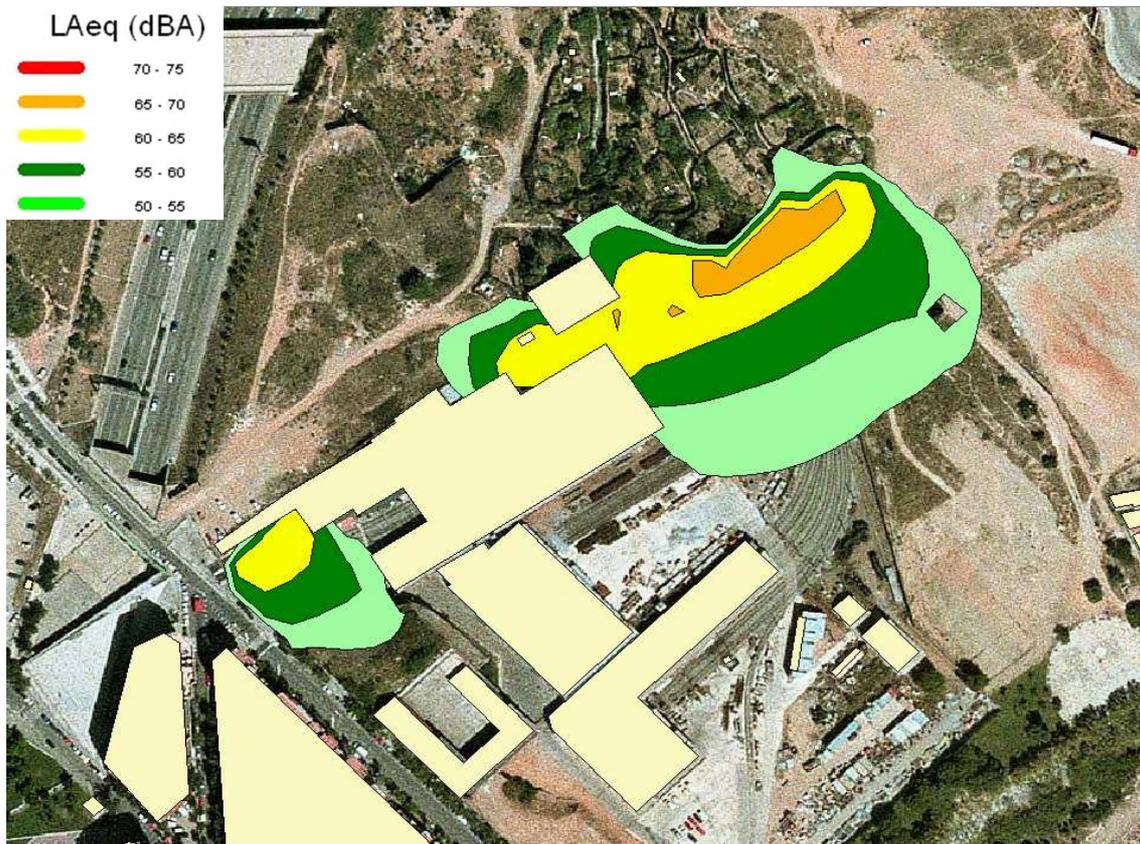


Fig. 6.3 Zona afectada según el índice L_n . Las figuras resaltadas en color amarillo son edificios. No hay ningún edificio residencial afectado por las isófonas

6.1.3 Población afectada

Como se puede ver en las figuras anteriores, en este tramo no se encuentra población residente afectada. La superficie afectada, en km^2 , por el parámetro L_{den} , según la Directiva 2002/49, se encuentra en la tabla 6.2.

L_{den}	Área (km^2)
> 55	0,057
> 65	0,026
> 75	0

Tabla 6.2 Superficie afectada

6.2 Línea 1

6.2.1 Descripción del entorno

El tramo que discurre al aire libre de la Línea 1 y está comprendido entre los PK 115+960 y 116+529, cerca de la estación de Santa Eulàlia y atravesando los términos municipales de L'Hospitalet y de Barcelona, la zona que rodea al tramo estudiado está totalmente urbanizada. En el lado derecho (sentido L'Hospitalet), entre las viviendas y la vía, se encuentra una playa de vías de ADIF, y, en el lado izquierdo, se encuentran las instalaciones de mantenimiento de FMB con una pequeña playa de vías. No hay ningún obstáculo importante entre la vía y los edificios residenciales aparte del edificio de mantenimiento de FMB. La mayoría de edificios son residenciales, pero se encuentran también dos escuelas (CEIP Provençana, C. Martín Codolar, 46-48-50 y CEIP Cavall Bernat, C. Badal, 11) y edificios destinados a otros usos (comerciales e industriales).



Figura 6.4 Entorno del tramo de Santa Eulàlia, con el tramo de vía identificado

Los trenes que circulan son de la serie 4000, y la circulación, según las franjas horarias consideradas, se muestra en la tabla 6.3. El tipo de superestructura es fijación Stedeff sobre placa de hormigón.

Periodo	Día	Tarde	Noche
Número de circulaciones	392	92	46

Tabla 6.3 Circulaciones en los dos sentidos en función del periodo horario

6.2.2 Mapas de afectación

Las figuras que se muestran dentro de este apartado muestran las zonas de afectación en los índices L_{den} y L_n según los rangos indicados por el marco legal considerado. Dado que hay escuelas en el entorno de la vía, se muestran también las isófonas correspondientes al parámetro L_{dia} , con el fin de poder ser comparado con el marco legal. En este caso, se encuentran bastantes edificios residenciales afectados, aunque solo queda afectada la fachada que está orientada a la vía. La población afectada se calculará, entonces, en función del perímetro afectado tal y como se indica en el apartado 4.4.

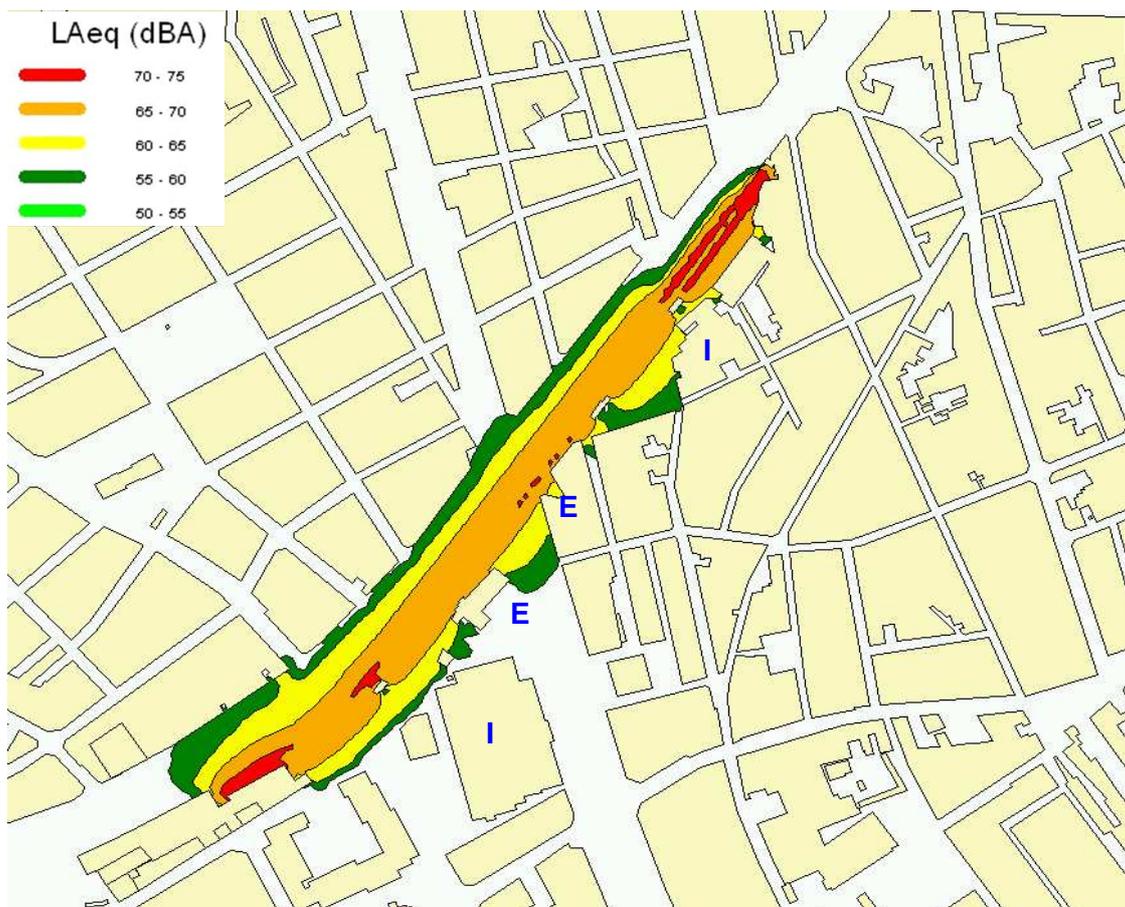


Fig. 6.5 Zona afectada según el índice L_{den} . Se identifican las escuelas afectadas (E) y edificios no residenciales (I). El resto son viviendas

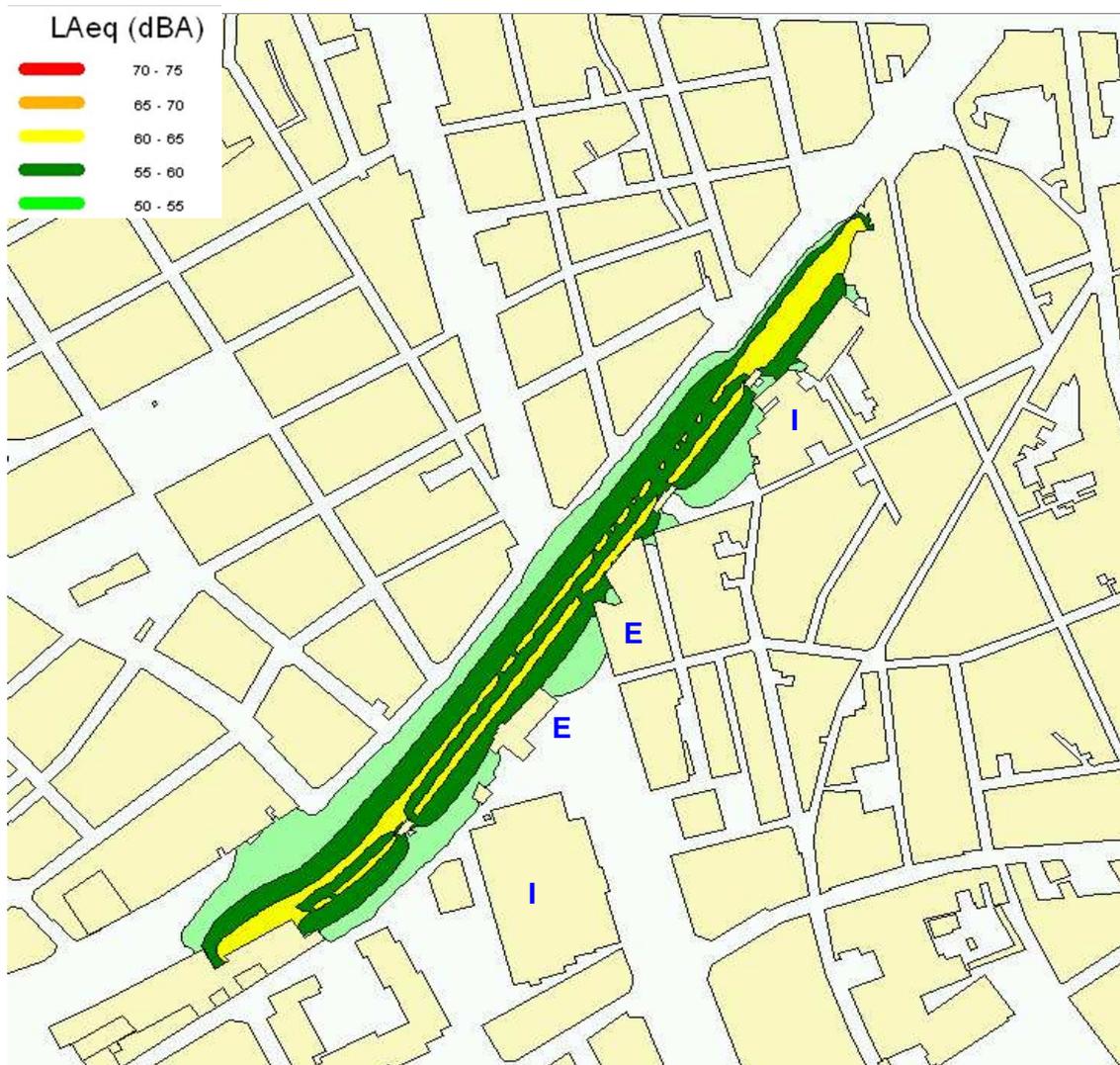


Fig. 6.6 Zona afectada según el índice L_n . Se identifican escuelas afectadas (E) y edificios no residenciales (I). El resto son viviendas

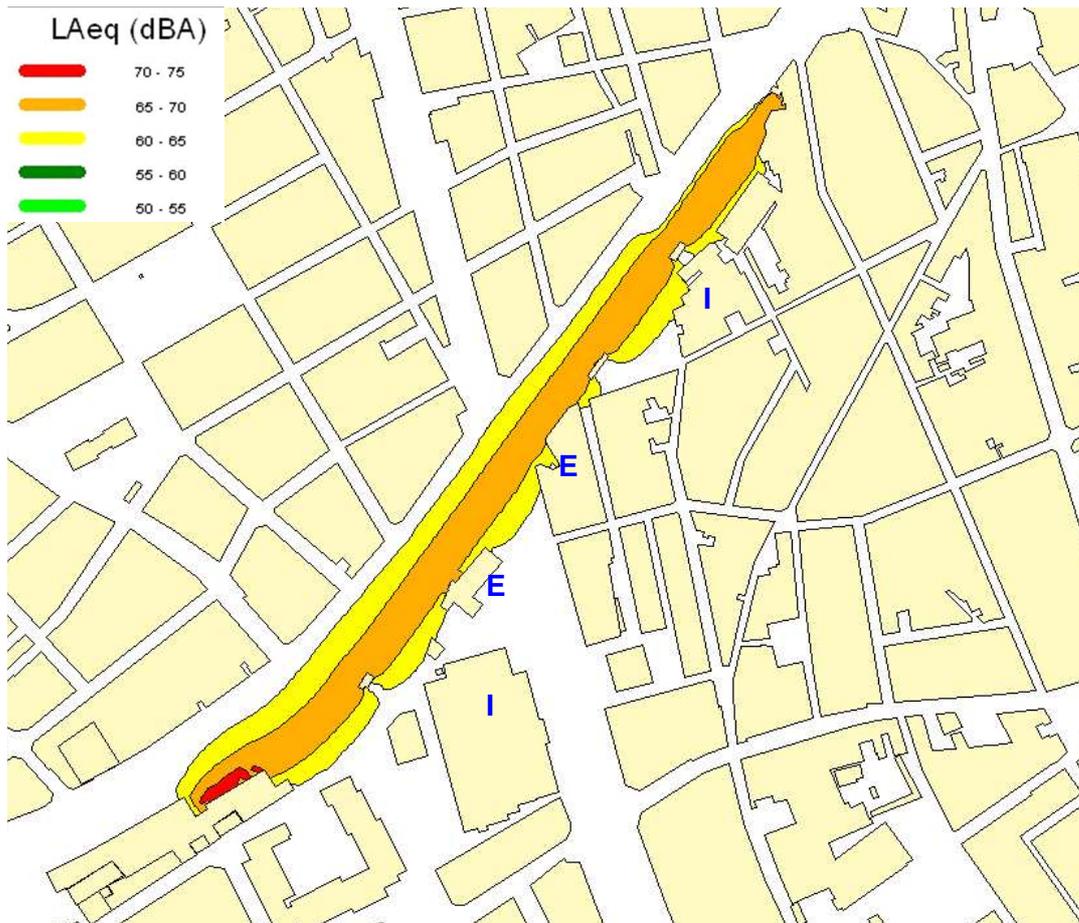


Fig. 6.7 Zona afectada según el índice L_d . Se identifican escuelas afectadas (E)

6.2.3 Población afectada

La población afectada se resume en la tabla 6.4. Las viviendas afectadas en la tabla 6.5, y la superficie afectada, en km^2 , se encuentra en la tabla 6.6.

Índice	Rango	BCN	L'H
Ln	50-54	0	363
	55-59	0	36
	60-64	0	0
Lden	55-59	177	1314
	60-64	0	195
	65-69	0	27
	70-74	0	0
	75+	0	0

Tabla 6.4 Relación de población afectada

Índice	Rango	BCN	L'H
Ln	50-54	0	121
	55-59	0	12
	60-64	0	0
Lden	55-59	59	438
	60-64	0	65
	65-69	0	9
	70-74	0	0
	75+	0	0

Tabla 6.5 Relación de viviendas afectadas

L _{den}	Área (km ²)
> 55	0,023
> 65	0,008
> 75	0

Tabla 6.6 Superficie afectada

7. Conclusiones

Se listan en diferentes tablas los datos de exposición calculados por el conjunto de los dos tramos analizados. Los niveles registrados son, en general, relativamente bajos. El marco legal vigente considera que los niveles exteriores de inmisión no pueden superar los 55 dBA en horario nocturno, a ruido incidente. De los resultados se ve que existen algunas viviendas expuestas a valores por encima de este límite, pero no son la mayoría.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que las fachadas más expuestas de los CEIP Provençana y CEIP Cavall Bernat presentan niveles de inmisión superiores a los 60 dB(A) de nivel día.

8. Plan de acción

El Mapa estratégico de ruido es el instrumento mediante el cual se establecerán las carreteras y/o los tramos prioritarios donde se concretaran los planes de acción, que definirán las medidas atenuadoras y/o correctoras concretas más apropiadas, eficaces y técnicamente i económicamente más viables para conseguir los niveles de calidad acústica definidos previamente.

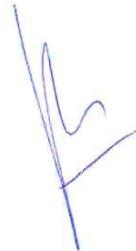
Básicamente estas medidas atenuadoras y/o correctoras pueden ser:

- Colocación de pantallas acústicas de diferentes materiales i dimensiones.
- Control de la rugosidad de rueda y carril.
- Aislamiento acústico de las viviendas.
- Diseño cuidado de la fachada de las nuevas edificaciones para reducir la incidencia de las ondas sonoras.

Que se tendrían que considerar una vez hayan estado acabadas las obras de ADIF de acceso a Barcelona y de forma conjunta con las otras fuentes de ruido.

9. Bibliografía

- [1] *Anuario estadístico de Cataluña 2006*, Generalitat de Catalunya.
- [2] Ley de Protección contra la contaminación acústica, Generalitat de Catalunya.
- [3] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio del 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- [4] *Bruit des infrastructures routières. Méthode de calcul incluant les effets météorologiques*. NMPB 96, Editions du CERTU, 1997

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Jordi Romeu', is centered on the page.

Jordi Romeu

Dr. Ingeniero Industrial
Responsable del Laboratorio de Ingeniería
Acústica y Mecánica
Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad Politécnica de Cataluña