

CÁLCULO DEL NIVEL MÁXIMO DE INMISIÓN PROVOCADO POR EL RUIDO FERROVIARIO

PACS: 43.50.Lj

Giménez Anaya, Isabel; López Santos, Fernando; Carretero de la Rocha, David
SINCOSUR Ingeniería Sostenible, S.L.

Avda. San Francisco Javier, nº 9, Edif. Sevilla 2, Planta. 5ª, Mód. 27-28
41018 SEVILLA. España

Tel: 954510031, Fax: 954250684

E-Mail: isabel@sincosur.es, flopez@sincosur.es, dcarretero@sincosur.es

ABSTRACT

One of the requirements established by the Spanish law in matters of noise pollution for the new railway infrastructures is that the maximum level of inmission cannot exceed the limit values. However, it is impossible to obtain it from acoustic measurements if the infrastructure does not yet exist, and it is necessary to obtain this index using predictive calculations. In this case, the common method to calculate railway noise defined by the Directive 2002/49/CE, does not determine the value of L_{max} . This paper lays out different calculation methods to determine the maximum level of inmission of railway noise using predictive models.

RESUMEN

Uno de los requisitos establecidos en el Real Decreto 1367/2007 para nuevas infraestructuras ferroviarias es que el nivel máximo de inmisión (L_{max}) no supere los valores límite. Sin embargo, es imposible obtenerlo a partir de medidas acústicas si la infraestructura es inexistente, siendo necesaria la obtención de este índice mediante cálculos predictivos. En esta línea, el método común de cálculo de ruido ferroviario definido por la Directiva 2002/49/CE, no define el cálculo de L_{max} . En esta comunicación se plantean diferentes métodos de cálculo para determinar el nivel máximo de inmisión de ruido ferroviario a partir de modelos predictivos.

1.- INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas del método de cálculo del ruido ferroviario recomendado por la Directiva 2002/49/CE y usado en el Estado Español, SRM II, es que sólo calcula valores medios de los índices de ruido y por tanto, el indicador L_{max} no puede estimarse.

Este indicador debe ser calculado con el fin de dar cumplimiento a los valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras ferroviarias establecidos en el Real Decreto 1367/2007.

A continuación se van a exponer diferentes metodologías, basadas en la experiencia adquirida por Sincosur Ingeniería sostenible S.L. en trabajos similares, para el cálculo del nivel máximo de inmisión de ruido de una línea de alta velocidad a partir de modelos predictivos.

2.- METODOLOGÍA

2.1.- Modelo SRM-II

El método de cálculo nacional de los Países Bajos, publicado en “Reken – en meetvoorschrift railverkeerslawaii '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 de noviembre de 1996”, es el método recomendado por la Comisión Europea para la adopción por parte de los Estados miembros que no cuenten con métodos de cálculo nacionales o deseen cambiarlo para la determinación de los indicadores comunes L_{den} , $L_{día}$, L_{tarde} y L_{noche} para el ruido de tráfico ferroviario, para la aplicación de la Directiva Europea 2002/49/CE.

El modelo holandés SRM II describe con precisión la relación entre el nivel de ruido y el ruido de la fuente. El cálculo se realiza en bandas de octava y considera diferentes alturas de la fuente, lo que hace predecir el efecto de las posibles barreras de ruido. La ecuación de emisión usada en el modelo es:

$$E_c = a_c + b_c \log V_c + 10 \log Q_c + K_{tr'}$$

donde:

- a_c, b_c son los factores de emisión para las categorías de trenes c .
- V_c es la velocidad media al paso de los vehículos.
- Q_c es la media de las unidades de las categorías de vehículos.
- $K_{tr'}$ es una corrección por discontinuidades de la vía y por la rugosidad de los raíles

Para poder estimar el valor de L_{max} ha sido necesario determinar una hipótesis sobre bajo qué condiciones se obtendría la mayor emisión sonora. Para ello, se ha determinado un escenario hipotético en el que existe una circulación ininterrumpida de trenes a lo largo de una hora, obteniendo el nivel equivalente que coincidiría con el nivel máximo. Este escenario sería el equivalente al de un tren de un número infinito de coches circulando durante una hora a lo largo de la vía.

Este escenario ha sido posible plantearlo conociendo la velocidad de circulación en el tramo y la longitud de cada tren (200 metros). De esta forma se ha podido determinar el número máximo de trenes que podrían circular de forma contigua en una hora, a partir del tiempo que tarda en pasar cada tren por cada tramo.

2.2.- Método de estimación del ruido ferroviario. Guide du Bruit des Transports Terrestres (GBTT)

Surge como simplificación a modelos numéricos complejos y como una herramienta para una primera aproximación cuya finalidad es permitir a un planificador o promotor tener en cuenta el ruido de tráfico ferroviario en sus estudios.

Este método de cálculo es sólo una manera simplificada usada para el estudio y la predicción de ruido de los ferrocarriles. Se basa en simplificaciones que limitan el campo de uso ya que no tiene en cuenta, por ejemplo, el efecto de la topografía.

El método distingue tres etapas para el cálculo del ruido ferroviario:

1. Determinación del nivel sonoro máximo de un tren en campo libre, en función de la distancia del receptor a la vía, de la velocidad y del tipo de tren.

$$L_{max} = L_0 - K \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + 30 \log\left(\frac{V}{V_0}\right) - K_d \text{ (dB(A))}$$

donde:

- L_0 : Nivel sonoro de referencia emitido por un tren determinado, circulando a velocidad V_0 , percibido por un receptor situado a una distancia d_0 , a la altura normalizada h_0 . Estos valores se encuentran tabulados para cada tipo de tren considerado.
- K : Coeficiente multiplicador de la función de la distancia. Depende de la longitud del tren y se encuentra tabulado para cada uno de los tipos considerados en la metodología.
- d : Distancia entre el receptor y el eje de la vía férrea, en metros.
- V : Velocidad del tren en km/h.
- V_0 : Velocidad del tren de referencia que emite un nivel L_0 a una distancia d_0 .
- K_d : Corrección de directividad, es decir, tiene en cuenta el ángulo bajo el que el receptor percibe el sonido. Es un valor tabulado.

2. Cálculo del nivel equivalente (L_{eq}) de un tren en función del nivel máximo y del tiempo de exposición del receptor al paso del tren:

$$L_{eq-1} = L_{max} + 10 \log\left(\frac{t_e}{T}\right) \text{ (dB(A))}$$

donde:

- L_{max} : Nivel sonoro máximo provocado por un tren percibido por un receptor situado en campo abierto.
- t_e : Tiempo de exposición durante el cual se percibe un sonido al menos igual al nivel máximo menos 10 dB(A).

3. Cálculo de L_{eq} de un conjunto de trenes que circulan durante un periodo de tiempo T.

$$L_{eq} = L_{eq-1} + 10 \log n \text{ (dB(A))}$$

donde:

- L_{eq-1} : Nivel sonoro emitido por un tren.
- n : Número total de trenes que circulan en ambas direcciones.

2.3.- Método combinado Guide du Bruit – SRM II

Teniendo en cuenta las limitaciones de la metodología expuesta en el apartado 2.2':

- circulaciones en campo libre,
- no tiene en cuenta el efecto de la topografía,
- validez de las ecuaciones para receptores situados a menos de 250 metros de la vía,
- velocidades de la vía comprendidas entre 40 y 200 km/h

Y por otro lado, el modelo recomendado por la legislación básica estatal en materia de contaminación acústica para la realización de los mapas de ruido de infraestructuras ferroviarias (apartado 2.1).

Se ha llevado a cabo un nuevo cálculo del nivel máximo de inmisión teniendo en cuenta las ecuaciones del modelo Guide du Bruit des Transports Terrestres y los niveles de ruido para los periodos día, tarde y noche calculados por el método SRM II. Las ecuaciones que rigen el nuevo modelo son:

$$L_{max} = L_{eq,T(SRM II)} - 10 \cdot \log\left(\frac{1}{V} + 6 * \frac{6d}{100}\right) + 10 \cdot \log T - 10 \cdot \log n_i$$

donde:

- $L_{eq,T(SRM II)}$ = nivel continuo equivalente obtenido a partir del modelo SRM II.
- V = Velocidad del tren en metros por segundo.
- d = distancia vía - receptor.
- T = período horario en segundos.
- n_i = número de trenes de cada tipo que circulan en el período T

2.4.- Método Pass-by Levels de CadnaA

La última metodología mostrada es el uso de la herramienta Pass – by Levels que posee el software de simulación acústica CadnaA. Éste permite calcular, de acuerdo con la norma seleccionada (en el caso que nos ocupa el método SRM II), la evolución temporal del nivel de presión sonora de un solo vehículo u otra fuente con una emisión específica viajando a lo largo de la infraestructura ferroviaria.

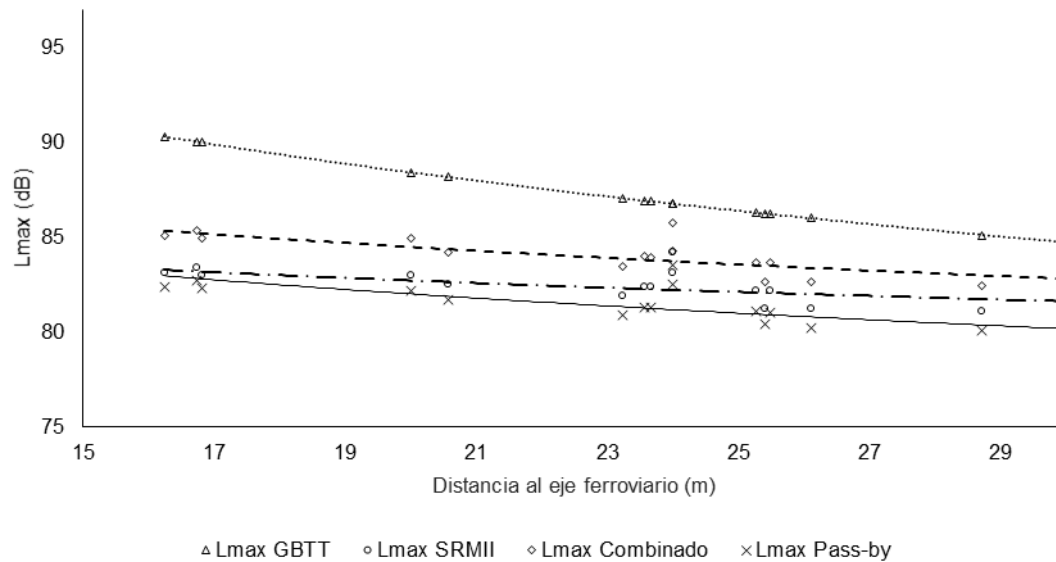
Esta emisión específica se obtiene a partir de las tipologías de trenes definidas en el modelo SRM II.

3.- RESULTADOS OBTENIDOS

Las cuatro metodologías descritas en el apartado anterior han sido calculadas para diferentes receptores situados a distancias variables de la infraestructura ferroviaria y con velocidades dos tipos de velocidades de paso del tren de Alta Velocidad (AVE).

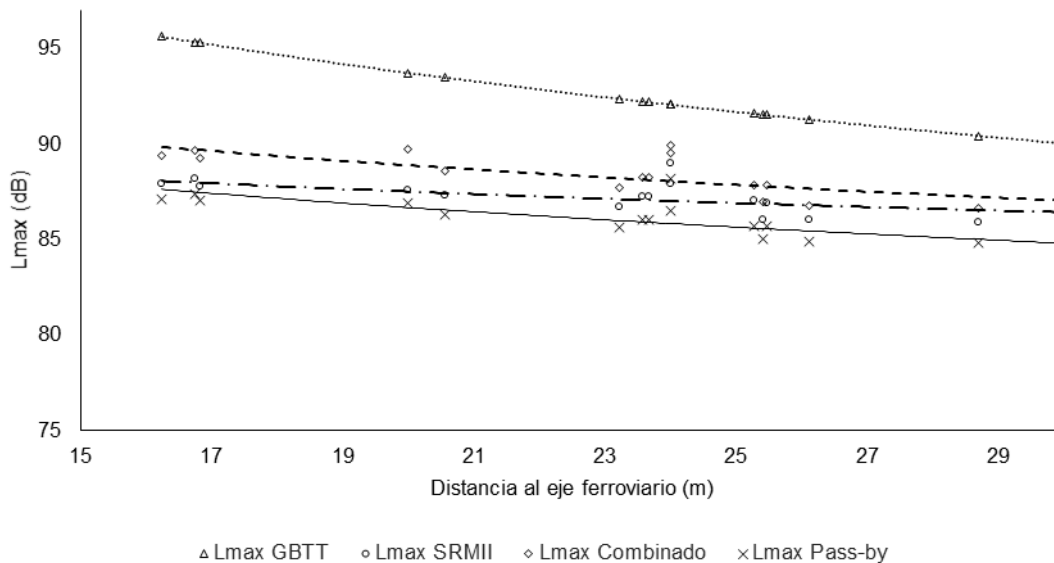
A continuación se muestran los resultados obtenidos del índice L_{max} para la velocidad de paso del AVE de 200 km/h:

Receptor	Distancia (m)	Velocidad de vía = 200 km/h			
		GBTT	SRM II	Combinado	Pass-by Levels
1	24	86,8	83,1	84,3	82,5
2	25,27	86,3	82,2	83,7	81,1
3	23,66	86,9	82,4	84,0	81,3
4	23,57	86,9	82,4	84,0	81,3
5	23,22	87,1	81,9	83,5	80,9
6	54,63	79,3	80,6	80,8	77,3
7	20,56	88,2	82,5	84,2	81,7
8	28,7	85,1	81,1	82,4	80,1
9	25,47	86,2	82,2	83,7	81,0
10	26,11	86,0	81,2	82,6	80,2
11	25,4	86,2	81,2	82,7	80,4
12	16,74	90,0	83,4	85,3	82,7
13	16,24	90,3	83,1	85,1	82,4
14	16,82	90,0	83,0	84,9	82,3
15	24	86,8	84,2	85,8	83,5
16	31	84,4	80,3	81,5	79,2
17	20	88,4	82,8	85,0	82,2



A continuación se muestran los resultados obtenidos del índice L_{max} para la velocidad de paso del AVE de 300 km/h:

Receptor	Distancia (m)	Velocidad de vía = 300 km/h			
		GBTT	SRM II	Combinado	Pass-by Levels
1	24	92,0	87,9	89,5	86,5
2	25,27	91,6	87,0	87,8	85,7
3	23,66	92,2	87,2	88,3	86,0
4	23,57	92,2	87,2	88,3	86,0
5	23,22	92,3	86,7	87,7	85,6
6	54,63	84,5	85,4	84,6	81,9
7	20,56	93,5	87,3	88,6	86,3
8	28,7	90,4	85,9	86,6	84,8
9	25,47	91,5	86,9	87,8	85,7
10	26,11	91,3	86,0	86,8	84,9
11	25,4	91,5	86,0	86,9	85,0
12	16,74	95,3	88,2	89,7	87,4
13	16,24	95,6	87,9	89,4	87,1
14	16,82	95,3	87,8	89,2	87,0
15	24	92,0	89,0	89,9	88,2
16	31	89,7	85,1	85,7	83,9
17	20	93,7	87,6	89,7	86,9



4.- CONCLUSIONES

El método de la Guide du Bruit des Transports Terrestres es el que mayor niveles de L_{max} calcula y la diferencia aún es mayor a velocidades de 300 km/h. Esto es debido a las limitaciones y acotaciones del propio método (válido para velocidades no superiores a 200 km/h, no tiene en cuenta la topografía y las circulaciones en campo libre).

El método Pass – by Levels del software CadnaA es el que menores niveles de L_{max} calcula.

A distancias pequeñas entre el receptor y la vía los valores calculados con los métodos SRM II y Pass – by Levels son muy semejantes; las diferencias entre los valores calculados se hacen mayores a medida que se aumenta la distancia entre el receptor y la fuente de ruido.

El caso contrario ocurre entre los métodos Combinado y SRM II, las diferencias de niveles máximos de inmisión son mayores a distancias menores; y estas diferencias se ven reducidas a medida que aumenta la distancia del receptor a la línea de alta velocidad.

Para distancias cortas entre el receptor y la línea de Alta Velocidad, las variaciones que se pueden producir entre los valores del nivel máximo de inmisión calculados con los diferentes modelos pueden oscilar en 8 dB; en distancias mayores esta oscilación se reduce hasta los 2 dB.

Para una primera aproximación y cuando se quiera encontrar el caso más desfavorable posible el método propuesto por la Guide du Bruit des Transports Terrestres es el más conservador y que menos coste posee, ya que no se tiene la necesidad de generar un modelo tridimensional ni el uso de un software de simulación acústica.

Pero la realidad es otra, tenemos herramientas de cálculo muy potentes, que recrean el escenario de simulación casi a la perfección y que poseen los métodos de cálculo establecidos por la legislación.

Además, las inversiones que hay que realizar para la implementación de las protecciones acústicas son elevadas y es importante estudiar la viabilidad de su implantación. Habrá que tener en cuenta ciertos criterios para el diseño de las mismas: la capacidad de aislamiento

acústico a ruido aéreo, el carácter absorbente o reflectante de la pantalla, el dimensionamiento geométrico (altura, longitud y forma) y la ubicación, son parámetros que incluyen directamente en la eficacia de las pantallas acústicas. El contar con herramientas de simulación acústica nos permite implementar las actuaciones correctoras de forma virtual, obtener la eficacia de la misma (reducción de personas afectadas con la implementación de la medida) y por supuesto la eficiencia de la actuación.

5.- BIBLIOGRAFÍA

[1] *Proyecto de Construcción de Protección Acústica de la Línea de Alta Velocidad Antequera - Málaga*. SINCOSUR Ingeniería Sostenible S.L.

[2] *Guide du Bruit des Transports Terrestres. Prévission des niveaux sonores*. Ministère de l'environnement et du cadre de vie; Ministère des transports (1980).

[3] *Método de Cálculo nacional de Los Países Bajos*, publicado en "Reken – En Meetvoorschrift Railverkeerslawaii '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening En Milieubeheer", 1996

[4] M. Reiter; B.Kostek. *Comparing railway noise prediction results for passenger trains using various models*. EURONOISE 2008, Paris, pp. 2637 – 2642.

[5] Małgorzata Szwarz, Bożena Kostek, Józef Kotus, Maciej Szczodrak, Andrzej Czyżewski. *Problems of Railway Noise—A Case Study*. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) 2011, Vol.17. N°3, pp. 309 – 325.

[6] L. Faus; J.Romero; A. Jiménez, A.Marin, A. Sanchís, S. Cerdá. *Un primer estudio del ruido en los actuales trenes de la red ferroviaria española*. Revista de acústica. Vol. 34. N° 1 y 2, pp. 5 – 17.

[7] *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*. «DOUE» núm. 189, de 18 de julio de 2002, páginas 12 a 25.

[8] *Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido*. «BOE» núm. 276, de 18 de noviembre de 2003, pp. 40494 - 40505.

[9] *Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas*. «BOE» núm. 254, de 23 de octubre de 2007, pp. 42952 - 42973.

[10] DataKustik. Reference Manual CadnaA, release 4.3. 2012.