



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

PROPUESTA DE CRITERIOS PARA REDUCIR LA INCOMODIDAD DE USUARIOS EXPUESTOS AL RUIDO GENERADO POR LA VIBRACIÓN EN VIVIENDAS, DEBIDO A LA CIRCULACIÓN DEL METRO DE LISBOA

PACS no. 43.40.+s

Alonso, Alicia¹; Patricio, Jorge²

¹ Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, Universidad de Sevilla. Avenida Reina Mercedes 2, 41012, Sevilla, España. aliciaalonso@us.es

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Avenida do Brasil 101, 1700-066, Lisboa, Portugal. jpatricio@lnec.pt

ABSTRACT

The Metro generates high levels of vibration that is transmitted through the ground to the surrounding buildings. The noise generated by the vibration of structural elements may disturb users. This work deepens in the determination of the criteria to follow to reduce the discomfort of the exhibition to the noise propagated by vibrations in the interior of dwellings. Measurements and calculation methods are carried out in order to analyse the transmission of vibrations to the constructive elements, determining the noise produced in the room and limiting the levels of vibration.

Keywords: structural noise, marginal transmissions, low frequency sound, vibrations.

RESUMEN

El Metro genera altos niveles de vibración que se transmite a través del terreno hasta los edificios colindantes. El ruido generado por la vibración de los elementos estructurales puede molestar a los usuarios. Este trabajo profundiza en la determinación de los criterios a seguir para reducir la incomodidad de la exposición al ruido debido a la vibración en el interior de las viviendas. Para su análisis, mediciones y métodos de cálculo se llevan a cabo con objeto de evaluar la transmisión de vibraciones a los elementos constructivos, determinando el ruido producido en la estancia y limitando los niveles de vibración.

Palabras Clave: ruido estructural, transmisiones marginales, sonido baja frecuencia, vibración.

1 INTRODUCCIÓN

El control de ruido en los edificios es un importante campo de estudio que debe ser tenido en cuenta en el ámbito de la investigación y la evaluación del ruido. Dado el elevado nivel de tensiones que son propagadas a través del suelo, el paso de una línea de Metro puede llegar a generar altos niveles de ruido en edificios residenciales. La energía transmitida a la vía férrea y

al túnel se propaga a través del terreno hasta los cimientos de edificaciones cercanas en forma de vibraciones, produciendo un fenómeno de resonancia que da lugar un sonido no deseado en las unidades de habitación, conocido como ruido estructural. En caso de no tomar medidas de aislamiento adecuadas, las vibraciones pueden alcanzar niveles inaceptables para los habitantes, lo cual puede generar a niveles de ruido por encima de los límites establecidos.

Las amplitudes de onda más bajas generalmente están asociadas con el concepto de percepción; sin embargo, la repetición de eventos cortos puede provocar incomodidad en los usuarios. Por tanto, el resultado del fenómeno vibratorio puede asociarse con la incomodidad inducida en los ocupantes del edificio, la cual debe estudiarse para establecer un enfoque común dirigido a evitar, prevenir o reducir, como prioridad, los efectos nocivos y las molestias de exposición al ruido [1]. Sin embargo, cabe destacar que la evaluación de la incomodidad de los usuarios es difícil de cuantificar, dada la importante connotación subjetiva, así como una variabilidad que depende de factores como la edad, el sexo, el estado de salud, el tiempo de exposición y duración de las vibraciones [2].

Desde el punto de vista legislativo, no existe un consenso general sobre los niveles admisibles de vibraciones, generalmente expresados en r.m.s. velocidad de vibración. No obstante, se considera que los requisitos establecidos en ISO 2631-2 [3] representan un referente a seguir ya que dicha normativa determina un conjunto de reglas que definen niveles máximos de vibración en estructuras que pueden considerarse como valores de referencia [4,5]. Cabe señalar que la principal problemática está asociada con las bajas frecuencias, rango entre 8 y 160 Hz. En ese sentido, no existen límites legales publicados en relación a criterios de confort vinculados con el ruido generado por las vibraciones dentro de los edificios, por lo que resulta necesario realizar una investigación capaz de profundizar la determinación de los criterios a seguir en la evaluación de la incomodidad inducida por las vibraciones propagadas por Metro a través de la estructura de las viviendas.

El origen del presente estudio se ha basado en el límite establecido por el LNEC, la estandarización nacional actualmente vigente, la bibliografía relevante [4,5], así como las normas internacionales aplicables [6,7]. Por tanto, los métodos de cálculo se han llevado a cabo considerando diferentes casos para determinar tanto el ruido total generado en la sala como el valor límite de la velocidad de vibración.

A partir de la problemática mencionada, surge el propósito de este estudio, donde el concepto de vibraciones está relacionado con la emisión de ruido estructural. El objetivo principal de este trabajo es poder determinar el límite de velocidad de vibración que debe generarse en el suelo para que, tomando en consideración las transmisiones marginales a otros elementos estructurales, no exceda el máximo ruido establecido por las regulaciones nacionales.

2 NORMATIVA Y CRITERIOS ACTUALES

En relación al ruido estructural, se ha utilizado un criterio que generalmente asegura la no emisión por el suelo de ruido debido a vibraciones con niveles superiores a 40 dB(A). Este límite se traduce en el nivel máximo del componente de vibración de 0,03 mm/s por encima de la banda de octava de 63 Hz.

En cuanto a la normativa internacional, también fue llevada a cabo una investigación bibliográfica sobre la evaluación del ruido estructural generado por la circulación del tráfico ferroviario. En Estados Unidos, los criterios aplicables dependen de la cuantificación del número de eventos diarios relacionados con la misma fuente de vibración y con el tipo de edificios que se evalúan. Otro tipo de enfoque es el método de los Países Bajos, cuyo principio es verificar si el ruido de baja frecuencia es audible o no, y así identificar posibles problemas. En este país, el indicador de evaluación de valores límite, dentro de residencias, es el nivel de sonido continuo equivalente, que no debe exceder 35 dB(A) durante el día y 25 dB(A) durante el período nocturno [7].

Por otro lado, con respecto a los criterios de confort humano dentro de los edificios, podría destacarse la norma ISO 2631-1 [8], que ha servido como base para evaluar los niveles de vibración en humanos para un amplio espectro de situaciones; así como la ISO 2631-2 [3] que determina la metodología para la medición de criterios adecuados para la evaluación de la incomodidad inducida por las vibraciones en los edificios.

Asimismo, debe tenerse en cuenta que los problemas asociados a la descripción y medición de la vibración en los edificios, así como la correspondiente evaluación de su percepción, conforman un foco de incomodidad que puede ser inducido por el fenómeno vibratorio dentro de los edificios. Se considera un ruido audible cuando el nivel, durante el paso del Metro, es significativamente más alto que el ruido ambiental no perturbado, +3 dB(A). A este respecto, la incomodidad puede traducirse en un valor de penalización del nivel de sonido equivalente que debe considerarse para que no sea excedido. Por lo tanto, otro criterio para evaluar la incomodidad del ruido generado por la vibración será establecer un valor límite de +5 dB al hecho de que la excitación puede determinarse como intermitente. Por ello, teniendo en cuenta el valor determinado por la regulación municipal de ruido [9], dado que el nivel acústico equivalente $Leq(A)$ de 27 dB(A) no debe excederse en una habitación durante el período nocturno, los criterios para evaluar la incomodidad del ruido generado por la vibración será establecer como valor límite 22 dB (A).

3 METODOLOGÍA

Los métodos de cálculo se han llevado a cabo teniendo en cuenta diferentes casos para analizar las vibraciones marginales transmitidas a las paredes y particiones vinculadas a los suelos, y de esta forma poder determinar el límite de velocidad de vibración que debe propagarse desde el suelo. En primer lugar, las vibraciones generadas en el suelo de una sala se determinarán a partir de la técnica experimental. En segundo lugar, se seguirá un procedimiento basado en los cálculos de los parámetros determinados en la normativa para obtener la transmisión indirecta entre los elementos estructurales. Este proceso permitirá determinar tanto la diferencia en el nivel de velocidad promediado como el índice de reducción vibratoria de las conexiones. Una vez que todos los valores de vibración se hayan obtenido en suelo y paredes, se determinará el sonido total emitido en la sala, lo que permitirá el ajuste del valor efectivo de la velocidad de vibración para no exceder el valor máximo de ruido.

3.1 RUIDO DEBIDO A VIBRACIONES

Tal y como se indicó anteriormente, la vibración del suelo de una vivienda puede emitir un ruido audible, que puede ser dañino dependiendo de diferentes factores, como la composición de los elementos estructurales y el tipo de unión entre ellos.

Cabe señalar que, a veces, el orden de magnitud de las vibraciones originadas dentro de las viviendas (equipos, pasos, correr o actividades domésticas) puede ser mayor que la magnitud de la vibración generada por fuentes externas de vibración, como el tráfico ferroviario. Sin embargo, la vibración estructural en edificios generada por este tipo de excitaciones externas podría determinarse como intermitente, es decir, una secuencia de vibraciones incidentales de corta duración, separadas por intervalos de tiempo en los que ocurren vibraciones de niveles mucho más bajos.

Para la caracterización del fenómeno vibratorio como un movimiento oscilatorio resulta necesario conocer la amplitud del movimiento, caracterizado por la velocidad o, a veces, la aceleración, y el contenido en frecuencia de la vibración, distribuidos en bandas de tercio de octava. Es posible evaluar el efecto de las vibraciones dentro de las viviendas en función de los valores efectivos de la velocidad durante un período representativo. Sin embargo, para situaciones en las que la señal de vibración puede verse significativamente influenciada por los valores pico, el uso del valor eficaz rms puede subestimar la incomodidad inducida.

Mediciones experimentales fueron realizadas por miembros del LNEC (Lisboa) con el fin de determinar la velocidad de vibración en el suelo de una vivienda. Uno de los equipos de medición fue el acelerómetro IMI 626A04, que realizó mediciones continuas de las vibraciones. El segundo sistema de medición, modelo Pulse 3560-D, Bruel y Kjaer, el cual registró los valores de amplitud de aceleración de la vibración de la losa de la sala, de acuerdo con las direcciones vertical, perpendicular y paralela al desarrollo de la disposición del ferrocarril. Para realizar las mediciones, se utilizaron tres acelerómetros PCB modelo 393A03.

3.2 TRANSMISIÓN INDIRECTA ENTRE ELEMENTOS

Debe tenerse en cuenta la transmisión marginal indirecta de las vibraciones a los diferentes elementos estructurales, como las paredes, ya que pueden aumentar el nivel de ruido propagado por la vibración del piso. En las particiones interiores, también se produce reflexión, amortiguación o absorción de las ondas sonoras, dependiendo del tipo de solución constructiva y del tipo de unión entre los elementos estructurales (suelo - pared).

La norma ISO10848-1 [10] determina la fórmula teórica, que permite estimar aproximadamente la diferencia en el nivel de velocidad promediada en la dirección ij ($D_{v,ij}$), obtenida del índice de reducción de vibración (K_{ij}).

$$D_{v,ij,situ} = K_{ij} - \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ}a_{j,situ}}}; \quad D_{v,ij,situ} > 0 \text{ dB} \quad (1)$$

donde l_{ij} es la longitud de acoplamiento común entre el elemento i (suelo) y el elemento j (pared o división), y $a_{i,situ}$, $a_{j,situ}$ son las longitudes de absorción equivalentes en la situación real, obtenidas a partir de la superficie del elemento y el tiempo de reverberación estructural. Sin embargo, teniendo en cuenta los elementos de construcción de este estudio, la longitud de absorción equivalente se considera numéricamente igual a la superficie del elemento dividido por la longitud de referencia que se ha tomado, que es igual a 1 m.

El índice de reducción vibratoria de las conexiones (K_{ij}) se define como una cantidad inalterable para caracterizar una unión entre elementos. Se basa en consideraciones de transmisión de energía como simplificación de la teoría del análisis estadístico de energía (SEA). K_{ij} se ha calculado de acuerdo con el anexo E de la norma 12354-1 [11], considerando el campo de vibraciones difuso. Para calcular K_{ij} , se estableció una clasificación primaria del tipo de conexiones, donde el límite inferior del valor K_{ij} debería dar como resultado $D_{vij,situ} = 0$ dB. Para los tipos usuales de uniones consideradas, el valor K_{ij} depende de las densidades superficiales de los elementos conectados a la unión, denotados por m_1 y m_2 . Las relaciones para K_{ij} en el anexo E se dan en función de la magnitud M , definida en la Ec. (2). En relación al acoplamiento rígido entre elementos en algunos casos, se ha demostrado el cumplimiento de la desigualdad (3), ya que resulta esencial para los elementos pesados. En este trabajo, se asumió un valor igual de D_{vij} y K_{ij} para todas las bandas de frecuencia consideradas, donde f_{ci} y f_{cj} son las frecuencias críticas de los elementos, determinadas por (4), siendo ν el coeficiente de material de Poisson del elemento, E es el módulo de elasticidad del material y h el espesor del elemento.

$$M = \log \frac{m_i}{m_j} \quad (2)$$

$$D_{v,ij,situ} \geq 3 - 10 \log \frac{m_i f_{ci}}{m_j f_{cj}} \quad (3)$$

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi h} \sqrt{\frac{12\rho(1-\nu^2)}{E}} \quad (4)$$

Posteriormente, se ha establecido un grupo de casos de estudio donde se han clasificado las diferentes soluciones constructivas, así como los diferentes tipos de conexiones entre los elementos (suelo y pared). La Tabla 1 muestra los casos que se han considerado.

Tabla 1. Soluciones constructivas y tipos de unión entre elementos de los diferentes casos.

CASO	COMPOSICIÓN					TIPO DE CONEXIÓN			
	i	j1	j2	j3	j4	ij1	ij2	ij3	ij4
1	CS 20	BF 24	BW 14	BW 14	BW 14	LJ	TJ	TJ	TJ
2	CS 20	BW 14	BW 14	BW 14	BW 14	TJ	TJ	TJ	TJ
3	CS 14	BW 14	BW 14	BW 14	BW 14	LJ	TJ	TJ	TJ
4	CS 14	BW 14	BW 14	BW 14	BW 14	TJ	TJ	TJ	TJ
5	CS 14	BW 24	BW 14	BW 14	BW 14	LJ	TJ	TJ	TJ
6	CS 20	CPW 12	CPW 12	CPW 12	CPW 12	LJ	TJ	TJ	TJ
7	CS 20	CPW 12	CPW 12	CPW 12	CPW 12	TJ	TJ	TJ	TJ
8	CS 14	CPW 12	CPW 12	CPW 12	CPW 12	LJ	TJ	TJ	TJ

Código CS = losa hormigón / BF = fachada ladrillo / BW = pared ladrillo / CPW = pared cartón yeso / n° = espesor elemento en cm / LJ = unión tipo L / TJ = unión tipo T

3.3 PRESIÓN SONORA EMITIDA

Una placa vibratoria infinita emite un ruido audible, es decir, presión de sonido en el aire debido a las ondas de sobrepresión del sonido. Esta presión está relacionada con la velocidad normal de la placa (v). El nivel de ruido acústico relativo a la referencia ($(p v) o = 10^{-12} \text{ N m}^{-1} \text{ s}^{-1}$) puede calcularse mediante la siguiente ecuación (5). Si el valor efectivo de la velocidad de vibración v se descompone en bandas de tercera octava, cada componente v_i produce un nivel de sonido L_v . El nivel de sonido final ponderado A, $L(A)$, en dBA, podría calcularse mediante la ecuación (6), donde C_i son los valores A para las diversas bandas de octava. Finalmente, se puede obtener el valor de la velocidad máxima de vibración generada en el suelo ya que el parámetro D_{vij} determina la diferencia en el nivel de velocidad promediado en la dirección ij . Este hecho confirma que la predicción de ruido generalmente se basa en una predicción previa de vibración.

$$L_v = 20 * \log_{10} (v) + 146 \text{ dB} \quad (5)$$

$$L(A) = 10 * \log_{10} (\sum_i 10^{0,1(L_v+C_i)}) \text{ dB(A)} \quad (6)$$

4 RESULTADOS

4.1 ESPECTROS DE VIBRACIÓN

Para el desarrollo del cálculo, se han tenido en cuenta cuatro de los espectros vibratorios reales de vibración medidos experimentalmente en una habitación de un edificio ubicado en las proximidades de la línea de Metro. La Figura 1 muestra dos ejemplos de espectros.

Para el desarrollo del procedimiento, se debe tener en cuenta que se ha aplicado un factor de cálculo a los valores de velocidad medidos para determinar la velocidad efectiva de vibración que se debe considerar para no exceder en la habitación la presión sonora total 22 dB(A). Además, es necesario determinar las longitudes de acoplamiento (lij) entre los elementos, por lo que se ha considerado un tipo de habitación común cuyas dimensiones son $4 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$.

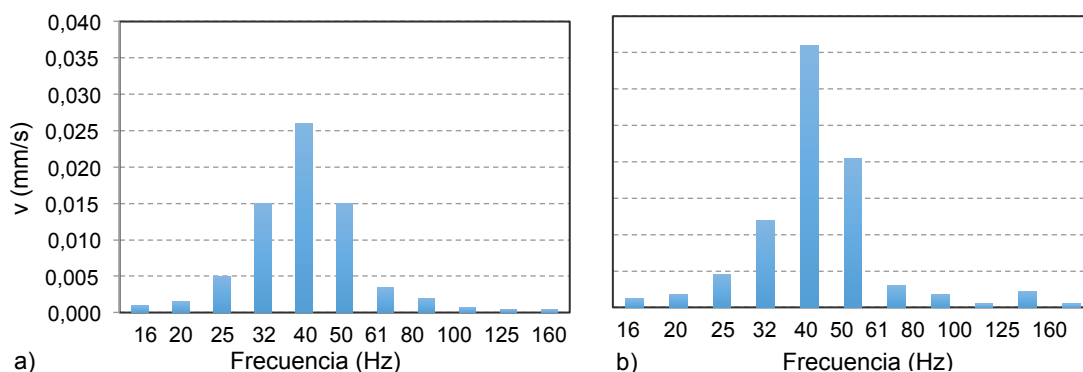


Figura 1 - Ejemplos reales de espectros vibratorios (tipo 1 y tipo 3) en bandas de tercio de octava para la amplitud de la velocidad de vibración medida en el suelo de la habitación (valor efectivo), de acuerdo con la dirección z, para el primer paso de la línea del metro.

A la luz de los resultados, los valores de D_{vij} determinan una mayor transmisión entre los elementos pesados conectados por unión rígida en la esquina, y una transmisión más pequeña en aquellas situaciones en las que las divisiones son livianas, con un acoplamiento rígido en T.

4.2 CÁLCULO DEL MÁXIMO NIVEL DE VIBRACIÓN

En primer lugar, teniendo en cuenta la composición de los elementos constructivos y el tipo de conexión entre ellos (Tabla 1), fue posible determinar los valores de K_{ij} y D_{vij} para cada elemento, en las diferentes bandas de frecuencia, siguiendo el método especificado en la sección Metodología. Posteriormente, se ha seleccionado un espectro de vibración, que se mide en la superficie del piso de la habitación habitable. Se determinó el valor de la presión sonora emitida por la vibración propagada por el suelo L_{vi} y, posteriormente, se obtuvo el valor de vibración transmitido a cada uno de los elementos acoplados, lo que permitió determinar el valor efectivo de la velocidad de vibración. Una vez que se han obtenido todos los parámetros indicados, se ha podido calcular el nivel de presión acústica emitida por cada superficie y, en consecuencia, el nivel de sonido global ponderado $L(A)$.

La Tabla 2 muestra los valores de un espectro de vibración propagado a la superficie del piso (i), así como los valores de las vibraciones transmitidas a las superficies restantes (s1 a s4). Para el desarrollo del estudio, se ha aplicado un factor de cálculo al espectro de vibración que ha permitido reducir proporcionalmente todas las bandas de frecuencia. Por tanto, se ajusta el nivel de sonido ponderado $L(A)$ a 22 dB(A), correspondiendo dichos valores a la disminución del 44% de un espectro de vibración real medido en la vivienda. La Tabla 3 muestra los valores de presión acústica emitidos por las vibraciones propagadas por la superficie del suelo (i), así como los niveles de sonido emitidos por las vibraciones transmitidas al resto de las superficies (j1, j2, j3 y j4), cuyos valores se muestran en la Tabla 2.

La Figura 2 muestra los valores de la presión de sonido equivalente para las bandas de la tercera octava entre 16 y 160 Hz, obtenidas sumando los niveles emitidos por cada una de las superficies conectadas (Tabla 3). Además, también se muestran los valores del nivel de presión sonora ponderada, en dB(A), y se determina el límite a 22 dB(A).

Finalmente, la Tabla 4 muestra los valores límite efectivos de velocidad de vibración obtenidos para cada caso de estudio.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Tabla 2. Tipo 1 de espectro: valores de vibración (mm/s), en un rango de bandas de un tercio de octava entre 16 y 160 Hz, propagadas al suelo (i), así como los valores de las vibraciones transmitidas a las superficies conectadas al suelo (s_1 , s_2 , s_3 y s_4).

	16 Hz	20 Hz	25 Hz	32 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100Hz	125Hz	160Hz	Σ
i	0,0007	0,001	0,0033	0,0099	0,017	0,0099	0,0023	0,0013	0,0005	0,0003	0,0003	0,023
s_1	0,0004	0,0007	0,0022	0,0067	0,0116	0,0067	0,0016	0,0009	0,0003	0,0002	0,0002	0,015
s_2	0,0002	0,0003	0,0009	0,0026	0,0044	0,0026	0,0006	0,0003	0,0001	9E-05	9E-05	0,006
s_3	0,0002	0,0003	0,0009	0,0027	0,0048	0,0027	0,0006	0,0004	0,0001	6E-05	7E-05	0,006
s_4	0,0002	0,0003	0,0009	0,0026	0,0044	0,0026	0,0006	0,0003	0,0001	9E-05	9E-05	0,006

Tabla 3. Tipo 1 de espectro: valores de presión sonora (dB) en un rango de bandas de 1/3 de octava entre 16 y 160 Hz, emitidas por el piso (i), así como los valores de los niveles de sonido emitidos por las superficies conectadas al suelo (s_1 , s_2 , s_3 y s_4).

	16 Hz	20 Hz	25 Hz	32 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100Hz	125Hz	160Hz	Σ
i	22,4	25,9	36,4	45,9	50,7	45,9	33,3	28,4	19,3	16,4	14,4	53,1
s_1	22,4	25,9	36,4	45,9	50,7	45,9	33,3	28,4	19,3	16,4	14,4	49,7
s_2	19,0	22,5	33,0	42,5	47,3	42,5	29,9	25,0	15,9	13,0	11,1	41,3
s_3	10,6	14,2	24,6	34,2	38,9	34,2	21,5	16,7	7,5	4,6	2,7	41,9
s_4	11,3	14,8	25,2	34,8	39,6	34,8	22,1	17,3	8,2	5,2	3,3	41,3

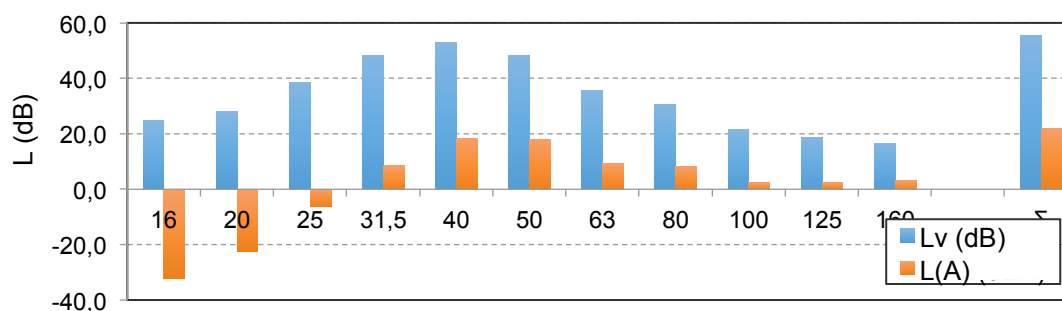


Figura 2 . Tipo 1 de espectro: valores de presión sonora equivalentes (L_v) y niveles de presión sonora ponderada ($L(A)$) para las bandas de la tercera octava entre 16 y 160 Hz.

Tabla 5. Valor límite efectivo para la velocidad de vibración en cada caso de estudio (mm/s)

CASO		1	2	3	4	5	6	7	8
Espectro	Tipo 1	0,023	0,026	0,025	0,026	0,024	0,024	0,028	0,029
	Tipo 2	0,019	0,021	0,02	0,022	0,02	0,02	0,023	0,024
	Tipo 3	0,025	0,028	0,027	0,028	0,026	0,026	0,03	0,03
	Tipo 4	0,021	0,024	0,023	0,024	0,022	0,021	0,036	0,027

5 CONCLUSIONES

El paso del tráfico ferroviario se ha convertido en una de las principales fuentes de vibraciones externas que a menudo conduce a quejas de los usuarios debido al ruido de baja frecuencia que se propaga dentro de las viviendas. En este trabajo se analizaron diferentes casos de estudio para determinar el límite de velocidad de vibración que debe generarse en el suelo para no superar el ruido máximo establecido por las regulaciones nacionales.

A la luz de los resultados, los valores de D_{vij} determinan una mayor transmisión entre los elementos pesados conectados por unión rígida en la esquina, y una transmisión más pequeña en aquellas situaciones en las que las divisiones son livianas, con un acoplamiento rígido en T.

A la luz de los resultados, resulta posible determinar los niveles de vibraciones propagados a los diferentes elementos constructivos vinculados a los pisos. Por tanto, se podrían establecer tres grupos de rangos de valores límite de vibración dependiendo del tipo de conexión así como de la composición de los elementos de construcción:

- 0,015 - 0,02 mm/s en las situaciones más desfavorables donde el índice de reducción de vibraciones de las conexiones (K_{ij}) es muy bajo y la transmisión entre los elementos es muy alta. Este caso ocurrirá cuando las soluciones constructivas son muy pesadas y la mayoría de las conexiones consideradas son rígidas en la esquina.

- 0,02 - 0,025 mm/s en las situaciones intermedias en las que el índice de reducción de la vibración de las conexiones (K_{ij}) son valores medios. Este caso corresponde a los casos regulares y puede generalizarse para la mayoría de las situaciones analizadas.

- 0,025 - 0,03 mm/s en las situaciones más favorables en las que la reducción de la vibración de las conexiones (K_{ij}) es muy alta, y la transmisión entre elementos es muy baja. Este caso ocurrirá cuando las soluciones constructivas de las paredes sean livianas.

REFERENCIAS

- [1] Reglamento de ruido. Decreto-lei 9/2007.
- [2] Howarth, H., Griffin, M., 2008 - A Social Survey Questionnaire of Human Response to Vibration in Residential Buildings. Institute of Sound and Vibration Research, Report nº 323, 2008.
- [3] ISO 2631-2. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz), Geneva, 2003.
- [4] Ch. H. Dowding, Construction Vibrations, Prentice Hall (1996).
- [5] H. Bachmann et al., Vibrations problems in structures, Birkhäuser Verlag (1995)]
- [6] ISO 226 - Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours. International Organization for Standardization, Geneva, 2003.
- [7] FTA, 2008 - Transit Noise and Vibration Impact Assessment. FTA-VA-90-1003-06 2008
- [8] ISO 2631-1. Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements. Geneva, 1997.
- [9] Reglamento dos requisitos acústicos dos edificios. Decreto-lei 96/2008.
- [10] ISO10848-1. Acoustics -- Laboratory and field measurement of flanking transmission for airborne, impact and building service equipment sound between adjoining rooms -- Part 1: Frame document. Geneva, 2017.
- [11] ISO 12354-1. Building acoustics -- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements -- Part 1: Airborne sound insulation between rooms. Geneva, 2017.