



FIA 2018

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

## Novedades en el cálculo de transmisiones indirectas derivadas de la nueva versión de la UNE-EN ISO 12354:2018. Casos de estudio

PACS: 43.55.Rg

Carrascal García, M<sup>a</sup> Teresa<sup>(1)</sup>; Casla Herguedas, M<sup>a</sup> Belén<sup>(2)</sup>; Romero Fernández, Amelia<sup>(2)</sup>.

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torrija. IETcc – CSIC  
C/ Serrano Galvache 4. 28033 Madrid. España.  
Telf.: 34913020440; Fax: 34913020700

<sup>(1)</sup> [tcarrascal@ietcc.csic.es](mailto:tcarrascal@ietcc.csic.es); <sup>(2)</sup> [belench@ietcc.csic.es](mailto:belench@ietcc.csic.es); <sup>(3)</sup> [aromero@ietcc.csic.es](mailto:aromero@ietcc.csic.es)

**Palabras Clave:** Transmisiones indirectas, aislamiento acústico,  $K_{ij}$

### ABSTRACT

ISO 12354 specifies a calculation model to estimate the sound insulation in buildings in which flanking transmissions over junctions are determined. The new version of UNE-EN ISO 12354 published in March 2018 includes new parameters for the flanking transmission of lightweight elements such as CLT and steel/wood frame light weight partitions, as well as, new formulae for heavyweight wall junctions with flexible interlayers.

This paper analyzes these developments and quantifies the differences between the results of calculations made with both versions, 2001 and 2018, for Spanish common housing buildings.

### RESUMEN

La UNE-EN ISO 12354 establece la metodología de cálculo del aislamiento acústico en los edificios mediante la que se estiman las transmisiones indirectas entre elementos constructivos. En marzo de 2018 se publicó una nueva versión que incluía nuevos índices para la transmisión por flancos de elementos de entramado ligero y de CLT, además de incluir novedades en cuanto al cálculo de particiones de fábrica con bandas elásticas.

Esta ponencia analiza algunas de las novedades y cuantifica las diferencias entre los resultados arrojados por cálculos efectuados con ambas versiones, la de 2001 y la de 2018 para la edificación residencial española.

## 1. INTRODUCCIÓN

El modelo de cálculo que permite estimar el aislamiento acústico in situ a partir de las prestaciones de los elementos constructivos obtenidas en laboratorio es el descrito en la serie de normas UNE-EN 12354[1] [2]. Las partes 1 y 2 tratan sobre el aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos de recintos respectivamente. En junio de 2017 se aprobó la revisión ISO 12354[3] y su correspondiente traducción y aprobación por AENOR fue en marzo de 2018. Uno de los numerosos cambios que lleva esta revisión es la modificación del cálculo de transmisiones indirectas para elementos ligeros y de particiones de fábrica con bandas elásticas.

Actualmente, esta serie de normas constituyen el modelo de cálculo más usado para la justificación de la reglamentación, ya sea del Documento Básico DB HR Protección frente al ruido[4] del CTE o de cualquiera de los diferentes reglamentos autonómicos y ordenanzas que establecen límites de aislamiento acústico.

Esta ponencia analiza algunas de las novedades en el cálculo de transmisiones indirectas de la nueva versión. En los apartados siguientes se muestran dos casos de estudio que permiten cuantificar las diferencias entre los resultados arrojados por cálculos efectuados con ambas versiones, la de 2001[5] [6] y la de 2018 para la edificación residencial española típica, que en su mayor parte está formada por edificios de viviendas con estructura portante de hormigón armado. En concreto se compararán los resultados de cálculos efectuados para recintos con forjado de hormigón y con las siguientes particiones:

- Fábrica sobre bandas
- Placa de yeso laminado con entramado metálico.

## 2. CONSIDERACIONES EN EL CÁLCULO DE TRANSMISIONES INDIRECTAS

El modelo de cálculo consiste en la suma de la transmisión directa a través del elemento de separación entre dos recintos y el resto de transmisiones por flancos, definidos por el parámetro,  $R_{ij}$ , índice de reducción acústica para la transmisión por flancos para ruido aéreo y por el parámetro  $L_{n,ij}$ , que es el nivel de presión acústica del ruido de impactos normalizado para la transmisión indirecta.

En el caso de los elementos homogéneos o asimilables, el parámetro  $K_{ij}$  o índice de reducción vibracional, expresa la atenuación de vibraciones de la unión. Este parámetro debe aplicarse a elementos en los que el tiempo de reverberación estructural,  $T_s$ , está influido por las pérdidas de energía en los bordes, tal es el caso de elementos de hormigón armado, ladrillos y bloques de hormigón, incluidos sus revestimientos adheridos como enfoscados y enlucidos. En este grupo también se incluye la madera maciza y el CLT. Las expresiones para el cálculo de  $K_{ij}$  están recogidas en el Anejo E de la norma UNE-EN ISO 12354-1.

En el caso de los elementos constructivos ligeros, de entramado de madera o metálico, el factor de pérdidas interno es mayor y  $T_s$ , no está tan influido por los elementos conectados. Esto significa, que los resultados de una medición de la transmisión por flancos,  $D_{nf}$  o  $L_{nf}$ , son similares a los de otra situación con dimensiones similares. En este caso, el parámetro que se incluye en el cálculo para la atenuación en la unión es el índice  $\overline{D_{v,ij,n}}$ , diferencia de nivel de velocidad en la unión promediada direccionalmente en la unión, que se obtiene según la norma ISO 10848-1[7].

La tabla 1 recoge las expresiones de la norma UNE-EN ISO 12354-1 para el cálculo de los índices de reducción acústica por flancos,  $R_{ij}$ , aplicables a ambos tipos de elementos.

En los siguientes apartados se mencionan brevemente algunos cambios recogidos en la nueva versión de la UNE EN ISO 12354-1 para diferentes tipos de elementos constructivos.

Tabla 1. Ecuaciones para el cálculo de las transmisiones por flancos

Elementos constructivos	Ecuaciones de $R_{ij}$
Elementos con $T_s$ influido por las pérdidas de energía en los bordes, por ej: hormigón armado, ladrillos y bloques de hormigón, madera maciza y el CLT	$R_{ij} = \frac{R_i + R_j}{2} + \Delta R_i + \Delta R_j + \overline{D_{v,ij}} + \left( 10 \cdot \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i \cdot S_j}} \right)$ <p>donde: <math>\overline{D_{v,ij}} = K_{ij} - \left( 10 \cdot \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i \cdot a_j}} \right)</math></p>
Elementos constructivos ligeros, de entramado de madera o metálico	$R_{ij} = \frac{R_i + R_j}{2} + \Delta R_i + \Delta R_j + \overline{D_{v,ij,n}} + \left( 10 \cdot \log \frac{S_s}{l_0 \cdot l_{ij}} \right)$

### 2.1 $K_{ij}$ de particiones de fábrica con bandas

Para particiones de fábrica con bandas, los nuevos  $K_{ij}$  tienen en cuenta el efecto de la rigidez dinámica de la banda elástica y la carga puntual sobre la misma, de tal manera, que en función de la carga sobre la banda, varía el  $K_{ij}$  y por tanto la transmisión a través de la banda elástica.

Esto es importante para particiones portantes sobre bandas. Para particiones no portantes, a igualdad de espesor, el  $K_{ij}$  variará en función de la altura libre.

De esta forma, los cálculos son más precisos, pero por otro lado, se requiere conocer el tipo de banda que se dispondrá debajo de la tabiquería y su rigidez dinámica, ya que ésta varía desde los 9 MN/mm<sup>3</sup> a los 90 MN/m<sup>3</sup> para diferentes bandas elásticas disponibles en el mercado español.

### 2.2 $\overline{D_{v,ij,n}}$ para elementos de entramado autoportante metálico o de madera

Para aplicar las nuevas expresiones de  $\overline{D_{v,ij,n}}$  incluidas en la norma, debe tenerse en cuenta que éstas pueden aplicarse al conjunto de las dos hojas o sólo a la hoja interior. Esto implica disponer de los correspondientes valores del índice de reducción acústica de los elementos constructivos,  $R$ , de una hoja o del conjunto de las dos hojas.

### 2.3 $K_{ij}$ de elementos constructivos de CLT

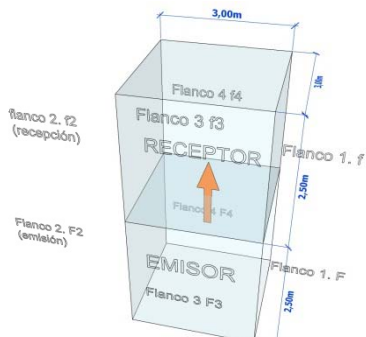
La transmisión indirecta a través de elementos constructivos de CLT puede calcularse usando nuevas expresiones de  $K_{ij}$ . El tiempo de reverberación estructural depende de los bordes, pero sus uniones no son tan rígidas como las de fábrica o de hormigón.

### 3. CASO DE ESTUDIO 1: PAREDES DE FÁBRICA CON BANDAS ELÁSTICAS

El primer caso de estudio tiene por objeto cuantificar las diferencias en el cálculo de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos entre ambas versiones de la UNE-EN ISO 12354 -1 y 2, cuando se trata de elementos de fábrica apoyados sobre bandas elásticas.

El escenario de cálculo designado está formado por dos recintos superpuestos con unas dimensiones 3x3x2,5 m que corresponde con las dimensiones de un dormitorio de una vivienda. Para conseguir una máxima influencia de las uniones de fábrica con bandas, se ha supuesto que las cuatro particiones están formadas por un tabique de ladrillo hueco doble apoyado sobre bandas elásticas. La tabla 2 muestra el recinto, sus dimensiones y los elementos constructivos empleados en el cálculo.

Tabla 2. Esquema con dimensiones y ubicación de los elementos constructivos del caso de estudio 1.

Esquema	Descripción del elemento	$m$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_A$ (dBA)	$L_{n,w}$ (dB)
	<b>Elemento de separación horizontal:</b> Forjado unidireccional de bovedilla cerámica 26 + 5	305	53,5	86
	Suelo flotante sobre lámina de espuma de PE reticulado 5 mm	-	$\Delta R_A=6$ dBA	$\Delta L_{n,w}=23$ dB
	<b>Flancos 1/2/3/4*</b> Tabiquería formada por tabique hueco doble, 70 mm, apoyado sobre bandas elásticas. Enlucido de yeso 10 mm por ambas caras	103,5	42,6	-

\* Los elementos de flanco son los mismos en emisión y recepción

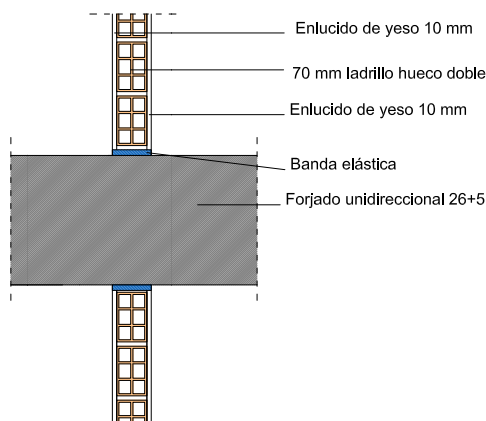


Figura 1. Detalle de la unión entre forjado y particiones

Los cálculos de aislamiento se han realizado para dos intervalos de rigidez dinámica: menor de 50 MN/m<sup>3</sup> y rigidez dinámica comprenda entre 50 y 100 MN/m<sup>3</sup>. Las bandas elásticas de EEPS suelen tener rigideces por debajo de los 20 MN/m<sup>3</sup>, pero otros materiales visco elásticos tienen rigideces mayores. La carga puntual sobre los tabiques corresponde al peso propio de los tabiques, ya que no son portantes.

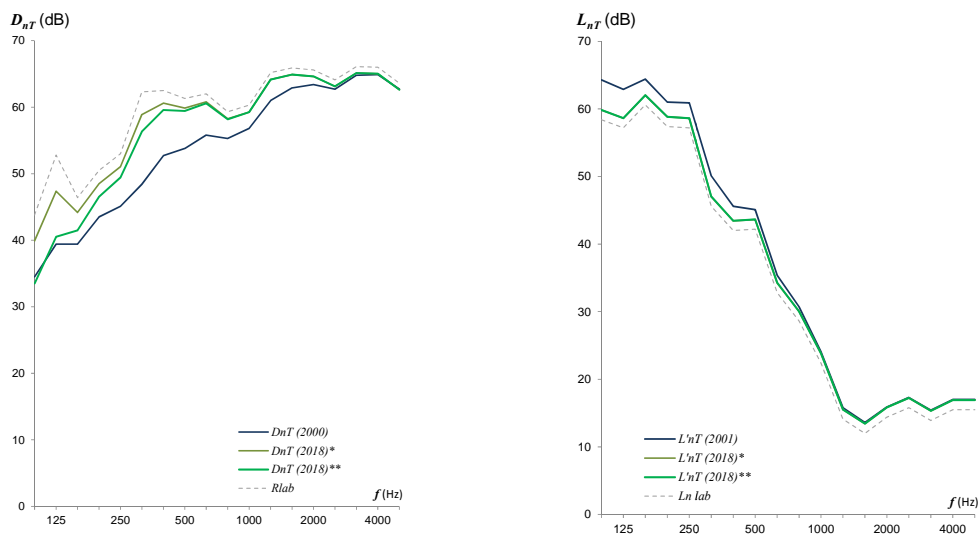
La figura 2 muestra los resultados de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos obtenidos con las dos versiones de la norma y para rigideces dinámicas de las bandas diferentes. Como puede observarse, el resultado de aislamiento acústico aumenta al usar la

FIA 2018

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

versión de 2018 de la UNE-EN ISO 12354: hasta 6 dB para ruido aéreo y 3 dB en impactos. Respecto a los cálculos efectuados para dos rigideces diferentes, es más favorable el cálculo cuando la rigidez de la banda es menor. En las gráficas también se ha superpuesto en gris la curva del índice de reducción acústica,  $R$ , y del nivel de presión de ruido de impactos,  $L_n$ , obtenidos en laboratorio, que da una idea de la pérdida de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos producida en la edificación al pasar de la situación de laboratorio a la edificación.

El índice  $K_{ij}$  es creciente con la frecuencia en función del término  $\log(f / f_1)$ , donde  $f_1$  es la frecuencia de "crossover"[8],[9] que define el punto en el que una partición sobre bandas se comporta de forma rígida. Para los casos estudiados, se han tomado valores de  $f_1$  de 50 y 110 Hz.



Versiones	$D_{nT,A}$	$D_{nT,w}$	$C$	$C_{tr}$	$L'_{nT,w}$
2000	55,2	56	-2	-6	55
2018*	59,8	61	-2	-6	52
2018**	57,6	59	-2	-8	52

\* Resultados obtenidos para un rigidez dinámica,  $s'$ , menor que  $50 \text{ MN/m}^3$

\*\* Resultados obtenidos para un rigidez dinámica,  $s'$ , comprendida entre 50 y  $100 \text{ MN/m}^3$

Figura 2. Curvas de aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{nT}$ , y a ruido de impactos,  $L'_{nT}$ , obtenidas para el caso de estudio 1: Particiones de fábrica con bandas elásticas.

La tabla 3 muestra los valores globales de los índices  $K_{ij}$ , las transmisiones indirectas para cada uno de los caminos Ff, Df y Fd, que corresponden a las uniones de los tabiques sobre las bandas elásticas. Como puede observarse, existen diferencias notables en el índice de reducción vibracional, siendo más favorables al tener en cuenta el efecto de las bandas elásticas en la atenuación de las vibraciones en la unión. El camino más favorable es el Ff que corresponde a la transmisión a través de las dos bandas elásticas. También arrojan valores más elevados cuando la rigidez dinámica de las bandas es menor.

Tabla 3. Valores globales de las transmisiones indirectas para el caso de estudio 1

Versiones UNE-EN ISO 12354	$K_{ij}$			$R_{ij}$			$L_{n,ij}$ Df
	Ff	Fd	Df	Ff	Fd	Df	
2000-2001	26,9	13,4	13,4	67,7	62,1	68,1	39,9
2018*	59,5	30,3	30,3	100,2	79,1	85,1	22,9
2018**	45,8	23,5	23,5	86,6	72,3	78,3	29,7

\* Resultados obtenidos para un rigidez dinámica,  $s'$ , menor que  $50 \text{ MN/m}^3$

\*\* Resultados obtenidos para un rigidez dinámica,  $s'$ , comprendida entre 50 y  $100 \text{ MN/m}^3$

FIA 2018

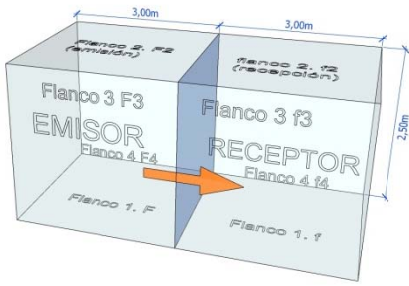
XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

#### 4. CASO DE ESTUDIO 2: PARTICIONES DE PLACA DE YESO LAMINADO CON ENTAMADO METÁLICO

Otro de los cambios fundamentales es cómo se calculan las transmisiones indirectas para los elementos de entramado ligero, ya sea de madera o de acero. El caso de estudio 2 intenta cuantificar las diferencias en el cálculo de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos entre ambas versiones de la UNE-EN ISO 12354 -1 para un caso típico de la edificación española de viviendas.

El escenario más común es aquel en el que hay dos recintos separados por una partición doble de entramado metálico con perfiles arriostrados y con tabiques autoportantes de entramado metálico en los flancos. La tabla 4 muestra los dos recintos simulados, sus dimensiones correspondientes a las de dos habitaciones y los elementos de flanco. Se ha tomado una fachada de fábrica en la que la hoja interior es un trasdosado de PYL, modelado como  $\Delta R$ . Las uniones se han modelado considerando el elemento de separación vertical como un todo. Véase figura 3.

Tabla 4. Esquema con dimensiones y ubicación de los elementos constructivos del caso de estudio 2

Esquema	Descripción del elemento	$m$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_A$ (dBA)	$L_{n,w}$ (dB)
	<b>Elemento de separación vertical:</b> PYL 171/600 (48+5+48) 2 MW Tabique doble de PYL anclada a perfilera de 48 mm y lana mineral en la cámara	64,9	60,3	
	<b>Flancos 1/2*</b> Forjado unidireccional de bovedilla cerámica 26 + 5 Suelo flotante sobre lámina de espuma de PE reticulado 5 mm	305	53,5	86
	<b>Flanco 3*</b> Fachada de medio pie de ladrillo perforado con trasdosado de placa de yeso laminado anclado a perfilera de 45 mm y relleno de lana mineral	161	47,7 $\Delta R_A=14\text{dBA}$	-
	<b>Flanco 4*</b> PYL 78/600 (48) MW Tabique autoportante de PYL, perfilera de 48 mm con lana mineral en la cámara	26	42,8	-
				$\Delta L_{n,w}=23\text{dB}$

\* Los elementos de flanco son iguales en emisión y recepción

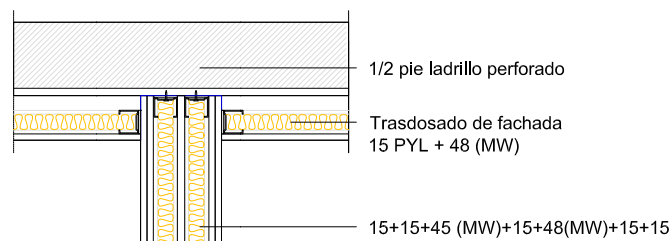


Figura 3. Detalle en planta de la unión elemento de separación vertical con la fachada

La figura 4 muestra los resultados de aislamiento acústico a ruido aéreo obtenidos con las dos versiones de la norma. Como puede observarse, los resultados de aislamiento acústico aumentan ligeramente, 3 dB en global, al usar la nueva versión en las altas frecuencias. En la

FIA 2018

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

gráfica también se ha superpuesto en gris la curva del índice de reducción acústica,  $R$ , obtenida en laboratorio, que da una idea de la pérdida de aislamiento acústico a ruido aéreo producida en la edificación al pasar de la situación de laboratorio a la edificación.

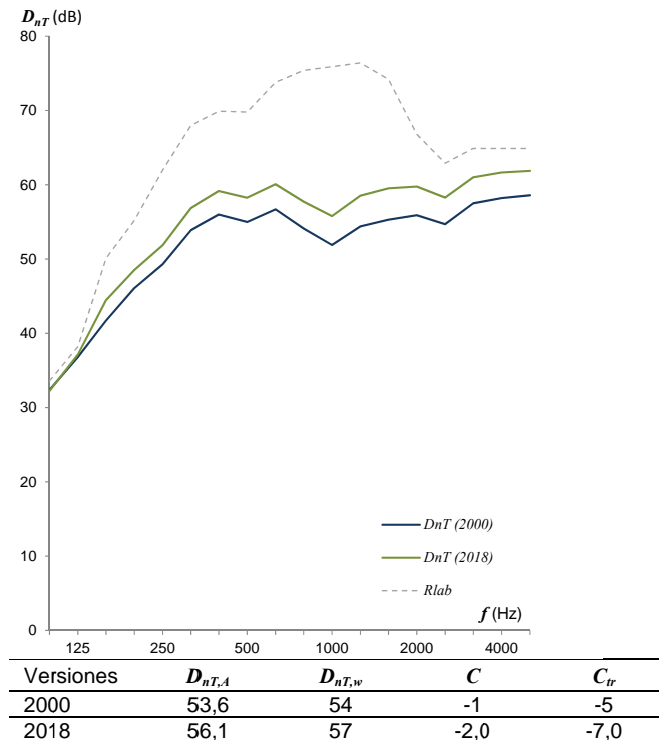


Figura 4. Aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{nT}$ , obtenidas para el caso de estudio 2: Particiones de placa de yeso laminado con entramado metálico

La tabla 5 muestra los valores globales de las transmisiones indirectas FF, Df y Fd para el flanco 4, correspondiente a la unión en T del elemento de separación vertical – tabique. Como puede observarse, existen diferencias notables en el índice de reducción vibracional, siendo más favorables al tener en cuenta el efecto de las bandas elásticas en la atenuación de las vibraciones en la unión. El camino más desfavorable es el Ff que corresponde a la transmisión a través de los dos tabiques.

Tabla 5. Valores globales de las transmisiones indirectas para el caso de estudio 1

Versiones UNE-EN ISO 12354	$K_{ij} / \overline{D_{v,ij,n}}^*$			$R_{ij}$		
	Ff-4	Fd-4	Df-4	Ff-4	Fd-4	Df-4
2000-2001	16,51	13,25	13,25	64,28	68,53	68,53
2018	18,25	21,51	21,51	66,03	76,78	76,78

\*A efectos de la comparación numérica, se incluyen en la misma tabla los valores de  $K_{ij}$  calculados según la UNE-EN 12354-1:2000 y los valores de  $\overline{D_{v,ij,n}}$  estimados según la UNE-EN ISO 12354:2018.

## 5. CONCLUSIONES

Fruto de las investigaciones[10] [11] [12] [13] en diferentes laboratorios, la nueva versión de la UNE-EN ISO 12354 – 1:2018 contiene información actualizada sobre la forma de calcular las uniones en el caso de particiones de fábrica sobre bandas elásticas, particiones de entramado

metálico o de madera y elementos de CLT, algunos de los cuales no estaban incluidos en la primera versión.

También, se tiene en cuenta que los elementos de entramado ligero están muy amortiguados y su atenuación no depende de cómo están conectados con el resto de elementos constructivos, de esta forma, se define una nueva magnitud,  $\overline{D_{v,ij,n}}$ , diferencia de nivel de velocidad de la unión promediada direccionalmente entre dos elementos  $ij$ , para el cálculo de las transmisiones a través de las uniones de elementos ligeros de entramado.

Estos cambios afectan a la construcción convencional de viviendas con estructura de hormigón de varias formas:

1. En el caso de las particiones sobre bandas elásticas, los cálculos efectuados con los nuevos  $K_{ij}$  tienen en cuenta la carga puntual sobre la banda y la rigidez dinámica de la misma. Los cálculos efectuados muestran mejores valores de aislamiento acústico a ruido aéreo, hasta 5 dB, y 3 dB para ruido de impactos, cuando se aplican sobre bandas típicas del mercado español y tabiques no portantes con masa por unidad de superficie típicas de la construcción española. Esto permite hacer cálculos más precisos, pero conlleva el conocimiento del tipo de banda y su rigidez dinámica a emplear en el edificio.
2. En el caso de particiones de entramado autoportante metálico, las diferencias de  $D_{nT}$  obtenidas con los cálculos efectuados con la nueva versión son de 3 dB, siendo menores que las obtenidas para el caso de estudio 1.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AENOR, UNE-EN ISO 12354-1:2018. Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. (ISO 12354-1:2017). Madrid: AENOR, 2018.
- [2] AENOR, UNE-EN ISO 12354-2:2018. Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos. (ISO 12354-2:2017). Madrid: AENOR, 2018.
- [3] ISO, ISO/FDIS 12354-1: 2017 (E). Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms. Ginebra, Suiza: ISO, 2017.
- [4] Ministerio de Fomento, Documento Básico DB HR Protección frente al Ruido. Código Técnico de la Edificación. 2009.
- [5] AENOR, UNE-EN 12354-1:2000. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos. Madrid: AENOR, 2000.
- [6] AENOR, UNE-EN 12354-2:2001. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos. Madrid: AENOR, 2001.
- [7] ISO, ISO 10848-1:2017 Acoustics. Laboratory and field measurement of flanking transmission for airborne, impact and building service equipment sound between adjoining rooms -- Part 1: Frame document. Ginebra, Suiza: ISO, 2017.
- [8] D. B. Pedersen, «Estimation of vibration attenuation through junctions of building structures», Applied Acoustics, vol. 46, n.º 3, pp. 285-305, 1995.





## FIA 2018

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

- [9] M. Schneider y H. M. Fischer, «Flanking transmission of masonry building elements with flexible interlayer», en Proceedings of Forum Acusticum Budapest 2005: 4th European Congress on Acoustics, Budapest, 2005, pp. 1973-1976.
- [10] «Cost Action FP0702. Net-Acoustics for Timber based Lightweight Buildings and Elements». .
- [11] C. Guigou-Carter y M. Villot, «Junction characteristics for predicting acoustics performances of lightweight wood-based buildings», en Proceedings of Internoise 2015, San Francisco, USA, 2015.
- [12] E. Gerretsen, «Extending EN 12354 sound insulation modelling to composed, light weight building systems», en Proceedings of Internoise 2015, San Francisco, USA, 2015.
- [13] C. Crispin, B. Ingelaere, y G. Vermeir, «Innovative building systems to improve the acoustical quality in lightweight masonry constructions: Application of resilient joints at junctions - PART 1: Analysis of the experimental results», en Proceedings of Eurnoise 2008, Paris, 2008.