

## ESTUDIO DEL ÍNDICE ALTERNATIVO $R_{\text{impact}}$ PARA AISLAMIENTO A RUIDO DE IMPACTO

PACS: 43.55.Rg; 43.15.+s

Cordero, Silvia<sup>1</sup>; del Val, Lara<sup>1</sup>; Machimbarrena, María<sup>2</sup>; Herráez, Marta<sup>1</sup>; Johansson, Reine<sup>3</sup>  
Universidad de Valladolid; Escuela de Ingenierías Industriales<sup>1</sup>; ETS Arquitectura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Área de Ingeniería Mecánica –E. Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid; Valladolid, España; [silvia.cordero@alumnos.uva.es](mailto:silvia.cordero@alumnos.uva.es); [lvalpue@eii.uva.es](mailto:lvalpue@eii.uva.es); [herraez@eii.uva.es](mailto:herraez@eii.uva.es) +34 983 184429

<sup>2</sup>Departamento de Física Aplicada – ETS de Arquitectura, Universidad de Valladolid; Valladolid, España; [mariao@opt.uva.es](mailto:mariao@opt.uva.es)

<sup>3</sup> INTECO-International Technology Consulting, Uddevalla, Sweden.  
[reine.johansson@inteco.se](mailto:reine.johansson@inteco.se)

**Palabras Clave:** aislamiento acústico, ruido de impacto,  $R_{\text{impact}}$ , descriptores de aislamiento, acústica en la edificación.

### ABSTRACT

The assessment of impact sound insulation using a single quantity is carried out in accordance with UNE EN ISO 717-2. That value, however, refers to  $L_{nT,w}$  or  $L_{n,w}$  in the receiving room. In the literature, it has been proposed to modify the impact sound insulation descriptors in such a way that it really reflects the insulation of the construction element. One existing proposal is to use  $R_{\text{impact}}$ , defined analogously to the sound reduction index  $R$ , used for airborne sound insulation. This paper studies the use of  $R_{\text{impact}}$  both theoretically and based on an a large experimental impact sound insulation database for different construction typologies.

### RESUMEN

La evaluación del aislamiento acústico a ruido de impacto mediante un valor único se realiza generalmente de acuerdo al procedimiento descrito en la norma UNE EN ISO 717-2. Los valores siempre se refieren a valores de nivel de presión de ruido de impacto en el recinto receptor, como por ejemplo  $L_{nT,w}$  o  $L_{n,w}$ . Sin embargo, en diversas ocasiones, se ha propuesto modificar los descriptores de aislamiento a ruido de impacto, de tal forma que reflejen el aislamiento del elemento de construcción. Una de las propuestas existentes es la utilización del descriptor  $R_{\text{impact}}$ , definido de forma análoga al índice de reducción sonora  $R_A$ , pero empleando una curva de referencia propia. El trabajo que se presenta estudia el uso de  $R_{\text{impact}}$  tanto teóricamente como a partir de valores experimentales medidos sobre distintas tipologías constructivas.

## INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de aislamiento en la edificación, los no expertos en la materia esperan que valores altos de aislamiento supongan una adecuada y efectiva protección frente al ruido.

Sin embargo, esta afirmación no es del todo cierta, pues la forma de valorar la eficacia de un cerramiento como aislante a ruido aéreo o aislante a ruido de impacto es diferente y, por tanto, la forma de expresar o hablar del aislamiento también lo es.

Al evaluar el aislamiento a ruido aéreo de un cerramiento, lo que se mide está relacionado con la diferencia de energía acústica a ambos lados del cerramiento, con lo cual, cuanto mayor sea el valor resultante, mejor será el aislamiento. Por otra parte, cuando se evalúa el aislamiento a ruido de impacto de un cerramiento, siempre se usa una fuente de ruido de impacto normalizada en el recinto emisor y lo que se mide es el nivel de presión sonora  $L$  que llega al recinto receptor, con lo cual, cuando menor sea el nivel de ruido  $L$  medido en recepción, mejor aislante será el cerramiento.

Para intentar “corregir” esta anomalía, se han hecho diversas propuestas, entre las que cabe destacar la realizada por Scholl, [1–3], quien propuso la utilización de un nuevo descriptor de aislamiento a ruido de impacto definido por analogía con el índice de reducción sonora empleado para ruido aéreo.

Cuando se trata de ruido aéreo, para calcular el índice global de reducción sonora ponderado  $A$  ( $R_A$ ), se emplea el espectro normalizado de ruido rosa, ponderado  $A$ . De forma análoga, la propuesta de Scholl consiste, para ruido de impacto, en calcular un índice global de reducción sonora a ruido de impacto  $R_{\text{impact}}$ , empleando un espectro normalizado de ruido de impacto, ponderado  $A$ . Para crear dicho espectro normalizado, se parte de los niveles de potencia inyectados por la máquina de impactos normalizada sobre el cerramiento en la sala emisora, y éstos se normalizan y ponderan, de forma análoga a como se hace para ruido aéreo. El descriptor propuesto  $R_{\text{impact}}$  se calcula mediante la ecuación (1). Aunque, en principio, el rango de frecuencias propuesto para  $R_{\text{impact}}$  es entre 50 y 2500 Hz, el sumatorio propuesto en la ecuación (1) se puede realizar también en rangos de frecuencias alternativos, como son 100-2500 Hz y el más comúnmente utilizado, 100-3150 Hz.

$$R_{\text{impact}} = 10 \log \left( \frac{\sum_i 10^{L_i/10}}{\sum_i 10^{(L_i - R_i)/10}} \right) \quad (1)$$

En la ecuación (1), el subíndice “ $i$ ” se corresponde con cada una de las bandas de tercio de octava, los valores  $L_i$  se corresponden con un espectro arbitrario de referencia que, en este caso, está relacionado con la excitación que produce la máquina de impactos según [1] y los valores  $R_i$  se corresponden con los índices de reducción sonora a ruido de impacto en cada banda de tercio de octava, obtenidos según la ecuación (2):

$$R_i = 10 \log \frac{W_{Si}}{W_{Ri}} = 10 \log \frac{W_{Si}}{W_0} - 10 \log \frac{W_{Ri}}{W_0} \quad (2)$$

## FIA 2018

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

siendo  $W_{Si}$  la potencia sonora inyectada por la máquina de impactos en el recinto emisor y  $W_{Ri}$  es la potencia inyectada en el recinto receptor a través de dicho cerramiento en cada banda de tercio de octava.

Además, Scholl también propone otra forma de calcular el descriptor  $R_{\text{impact}}$  a partir del valor del nivel de presión de ruido de impacto normalizado y ponderado  $L_{n,w}$ , de acuerdo a la ecuación (3):

$$R_{\text{impact}} = 104 - (L_{n,w} + C_{i,50-2500}) \quad (3)$$

La ventaja de la ecuación (3), frente a la (1) es, por un lado, que sólo se trabaja con valores globales y no con valores en bandas de frecuencia; y, por otro, que permite calcular el  $R_{\text{impact}}$  de soluciones previamente ensayadas y de las cuales ya se conoce el valor global  $L_{n,w}$ .

Sin embargo, en la bibliografía no se detalla cómo obtener los índices de reducción sonora a ruido de impacto de acuerdo a la ecuación (2) ni se justifica la equivalencia entre las ecuaciones (1) y (3). Tampoco se justifica si ambas ecuaciones son igualmente aplicables en distintos rangos de frecuencias, o para otros descriptores de aislamiento a ruido de impacto existentes, como por ejemplo  $L_{nT}$ , o  $L_{nT,w}$ . Estos aspectos serán estudiados en este trabajo.

## OBJETIVOS

A la vista de lo anteriormente expuesto, los objetivos del presente trabajo son varios:

- Corroborar, a partir de un estudio teórico, la correspondencia matemática entre las ecuaciones (1) y (3) para distintos rangos de frecuencia.
- Realizar el mismo tipo de estudio para el descriptor  $L_{nT}$  con el fin de encontrar una ecuación análoga a la ecuación (3) pero aplicable a  $L_{nT,w}$ .
- Verificar la convergencia entre las ecuaciones (1) y (3) a partir de una base de datos de medidas de aislamiento a ruido de impacto in situ.
- Verificar la convergencia entre la ecuación (1) y la propuesta/resultado del apartado b) para  $L_{nT,w}$  a partir de una base de datos de medidas de aislamiento a ruido de impacto in situ.

Debido a las limitaciones de extensión del presente trabajo, todo el desarrollo matemático realizado en los apartados a) y b) no puede ser incluido en el texto. Esta parte del trabajo está basada en lo expuesto en [1]. El desarrollo completo de este trabajo puede encontrarse en [4]

## ESTUDIO TEÓRICO DE $R_{\text{impact}}$

Para realizar el estudio teórico planteado en los objetivos a) y b) es necesario inicialmente determinar  $R_i$  (ecuación (2)) y, por tanto, la potencia inyectada por la máquina de impactos en la sala emisora  $W_s$  y la potencia sonora inyectada en el recinto receptor  $W_R$ . Esto se va a realizar para tres rangos de frecuencia de interés: de 50-2500 Hz, de 100-2500 Hz y de 100-3150 Hz.

Según se indica en [1], la potencia inyectada por la máquina de impactos normalizada en la sala emisora es  $W_s=1.962$  Watt. Para cada uno de los rangos de frecuencia de interés, la potencia inyectada se puede aproximar como muestra la ecuación (4):

**FIA 2018**

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

$$W_{Si} = \frac{W_s \cdot B_i}{B} \quad (4)$$

Por otra parte, la potencia inyectada en el recinto receptor viene dada por la ecuación (5):

$$W_{R,i} = \frac{p_{Ri}^2 A_i}{4\rho c} \quad (5)$$

Operando la ecuación (2) en los tres rangos de frecuencias anteriormente mencionados, se obtienen las ecuaciones (6), (7) y (8):

$$50 - 2500 \text{ Hz} \quad R_i = 82.1 + 10\log \frac{f_i}{1\text{Hz}} - L_{n,i} - 4 = 78.1 + 10\log \frac{f_i}{1\text{Hz}} - L_{n,i} \quad (6)$$

$$100 - 2500 \text{ Hz} \quad R_i = 82.2 + 10\log \frac{f_i}{1\text{Hz}} - L_{n,i} - 4 = 78.2 + 10\log \frac{f_i}{1\text{Hz}} - L_{n,i} \quad (7)$$

$$100 - 3150 \text{ Hz} \quad R_i = 81.2 + 10\log \frac{f_i}{1\text{Hz}} - L_{n,i} - 4 = 77.2 + 10\log \frac{f_i}{1\text{Hz}} - L_{n,i} \quad (8)$$

Los valores  $L_i$  del espectro normalizado de ruido de impacto son arbitrarios y, en este caso, se obtienen según se indica en [1], para los tres rangos de frecuencia descritos. Dado que se trata de un espectro que debe estar relacionado con la fuente, se eligen los  $L_i$  como los niveles de potencia inyectados por la máquina de impactos:

$$50 - 2500 \text{ Hz} \quad L_i = 82.1 + 10\log \frac{f_i}{1\text{Hz}} \quad (9)$$

$$100 - 2500 \text{ Hz} \quad L_i = 82.2 + 10\log \frac{f_i}{1\text{Hz}} \quad (10)$$

$$100 - 3150 \text{ Hz} \quad L_i = 81.2 + 10\log \frac{f_i}{1\text{Hz}} \quad (11)$$

Finalmente, se determina  $R_{\text{impact}}$  según la ecuación (1), empleando los valores de  $R_i$  de las ecuaciones (6), (7) y (8) y los valores de  $L_i$  de las ecuaciones (9), (10) y (11). Para los tres rangos de frecuencia estudiados se obtiene la ecuación (3), tal y como se quería verificar.

$$R_{\text{impact}} = 104 - (L_{n,w} + C_{i,50-2500}) \quad (12) = (3)$$

Adicionalmente, se realiza el mismo procedimiento usando  $L_{nT,w}$  en vez de  $L_{n,w}$ . Para ello, se parte de la ecuación (10) que relaciona  $L_{n,i}$  con  $L_{nT,i}$ :

$$L_{n,i} = L_{nT,i} - 10\log \frac{A_0 T_0}{0.16 \cdot V} = L_{nT,i} - 10\log \frac{A_0 T_0}{0.16} + 10\log(V) \quad (13)$$

Realizando el mismo tipo de cálculos, en los tres rangos de frecuencia planteados, se obtiene la ecuación (14), que permite determinar  $R_{\text{impact}}$  a partir de valores de  $L_{nT,w}$  ya conocidos.

$$R_{\text{impact}} = 119 - (L_{nT,w} + C_{i,50-2500}) - 10\log(V) \quad (14)$$

## FIA 2018

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

### ESTUDIO EXPERIMENTAL DE $R_{\text{impact}}$

A partir de una base de datos de medidas de aislamiento a ruido de impacto in situ, se ha procedido a abordar los objetivos c) y d), es decir comprobar la convergencia entre las dos propuestas (1) y (3) para calcular de  $R_{\text{impact}}$ . Adicionalmente se ha realizado el mismo estudio de convergencia entre la ecuación (1) y la ecuación (14) obtenida en el apartado anterior para  $L_{n,Tw}$

La base de datos que se ha empleado cuenta con más de seiscientos medidas de ruido de impacto proporcionadas por el instituto de construcción sostenible (ISC – Institute for Sustainable Construction) de la Universidad Napier de Edimburgo y realizadas por personal acreditado UKAS. De ellas, 470 se han realizado sobre suelos con forjados pesados (hormigón) y 178 sobre suelos con forjados ligeros (madera), construidos siguiendo el esquema de suelos especificado en el catálogo Robust Details [5]. De todos los ensayos se conocen los niveles de presión en el recinto receptor en bandas de tercio de octava, el tiempo de reverberación, el ruido de fondo en el recinto receptor y el volumen del recinto receptor. Las tablas 1 y 2 muestran el porcentaje y la cantidad de suelos pesados y ligeros respectivamente.

Suelo	EFC1	EFC2	EFC3	EFC4	EFC5	EFC6	EFC7	EFC8	EFC9	TOTAL
%	13.3	2.36	0.86	57.08	20.17	3.43	1.07	0.86	0.86	100
Cantidad	62	11	4	266	94	16	5	4	4	470

Tabla 1: Porcentaje y cantidad de medidas realizadas en los diferentes suelos pesados

Suelo	EFT1	EFT2	EFT3	EFT4	TOTAL
%	68.54	10.67	19.66	1.12	100
Cantidad	122	19	35	2	178

Tabla 2: Porcentaje y cantidad de medidas realizadas en los diferentes suelos ligeros

Antes de proceder a presentar los cálculos realizados y los resultados obtenidos, cabe señalar que los niveles de referencia  $L_i$  empleados en la ecuación (1) pueden ser obtenidos mediante las ecuaciones (9), (10) y (11), pero también realizando la ponderación A y normalización de los valores obtenidos mediante dichas ecuaciones. En el caso de la ecuación (9) correspondiente al rango de frecuencias de 50-2500 Hz, los valores normalizados y ponderados A se muestran en la tabla 3:

Frec (Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
$L_i$	-23,8	-22,8	-21,8	-20,8	-19,8	-18,8	-17,8	-16,8	-15,8	-14,8	-13,8	-12,8	-11,8	-10,8	-9,8	-8,8	-7,8	-6,8

Tabla 3: Espectro de referencia de ruido de impacto (normalizado y ponderado A)- 50-2500 Hz

En este apartado, los cálculos de  $R_{\text{impact}}$  según la ecuación (1) se han realizado empleado los valores de  $L_i$  correspondientes al espectro de referencia normalizado y ponderado A en cada rango de frecuencias. Los valores de los  $R_i$  se han obtenido a partir de los valores experimentales, empleando las ecuaciones (6), (7) y (8).

Las figuras 1 a) y 1 b) representan los valores de  $R_{\text{impact}}$  obtenidos a partir de la ecuación espectral (1) para el conjunto de suelos pesados y ligeros en los tres rangos de frecuencia de interés, cuando se utiliza como descriptor de entrada  $L_{n,i}$ . Las figuras 2 a) y 2 b) representan los valores de  $R_{\text{impact}}$  obtenidos a partir de la ecuación espectral (1) para el conjunto de suelos

FIA 2018

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

pesados y ligeros en los tres rangos de frecuencia de interés, cuando se utiliza como descriptor de entrada  $L_{nT,i}$ . Como se puede observar, el hecho de ampliar el rango inferior de frecuencias hasta 50 Hz supone obtener valores más bajos de  $R_{\text{impact}}$ , de forma más significativa para los forjados ligeros, pero también para los pesados. Este resultado es coherente con el hecho de que las soluciones constructivas ligeras tienen mayor dificultad para aislar los ruidos de baja frecuencia. Además, comparando las figuras 1 y 2, se observa que los valores de  $R_{\text{impact}}$  apenas dependen de si los valores de entrada son los valores normalizados de nivel de ruido de impacto,  $L_{n,i}$ , o son los valores estandarizados de nivel de ruido de impacto  $L_{nT,i}$ .

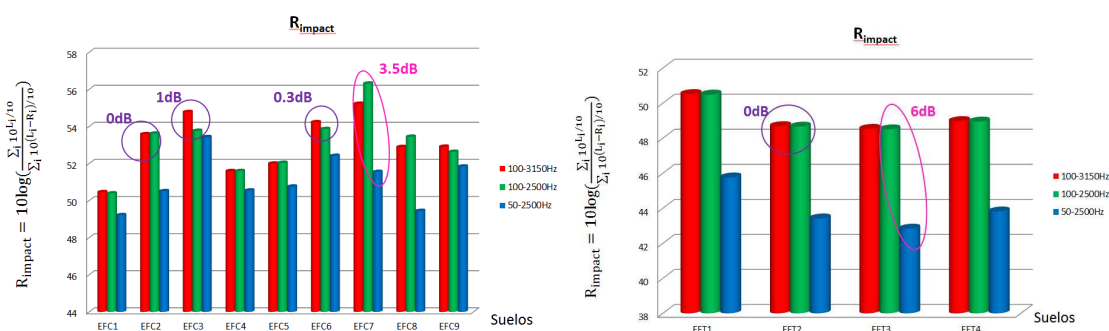


Figura 1:  $R_{\text{impact}}$  ec (1) suelos pesados (a) y ligeros (b); distintos rangos de frecuencia;  $L_{n,i}$  como valor de entrada

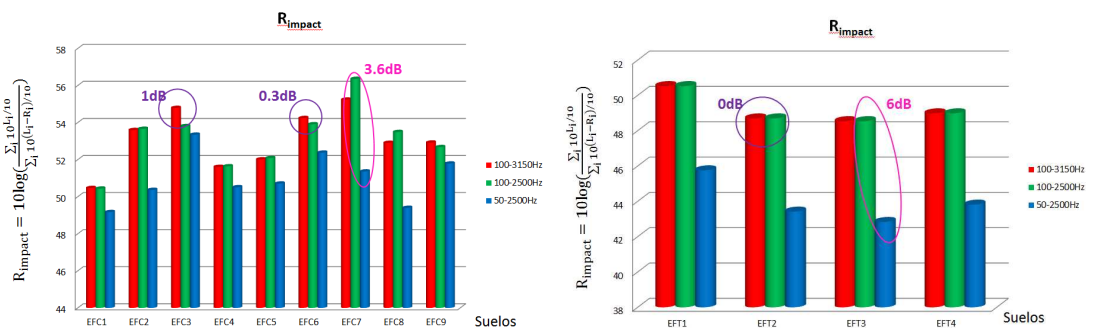


Figura 2:  $R_{\text{impact}}$  ec (1) suelos pesados (a) y ligeros (b); distintos rangos de frecuencia;  $L_{nT,i}$  como valor de entrada

Las figuras 3 a 6 representan los valores de  $R_{\text{impact}}$  calculados a partir de valores espectrales (ecuación (1)) frente a los valores obtenidos para  $R_{\text{impact}}$  a partir de los valores globales  $L_{nw}$  y  $L_{nT,w}$  (ecuaciones (3) y (14) respectivamente). Los resultados se presentan para suelos pesados y ligeros y en los rangos de frecuencia de 50-2500 Hz y de 100-2500 Hz. Los resultados obtenidos en el rango 100-3150Hz son prácticamente idénticos a los del rango 100-2500 Hz en todos los casos, por lo que no se presentan en este trabajo.

Como se puede observar, hay una correspondencia muy buena entre los valores de  $R_{\text{impact}}$  obtenidos usando la ecuación (1) o las correspondientes ecuaciones (3) y (14), independientemente del rango de frecuencias empleado y del tipo de suelo considerado.



FIA 2018

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

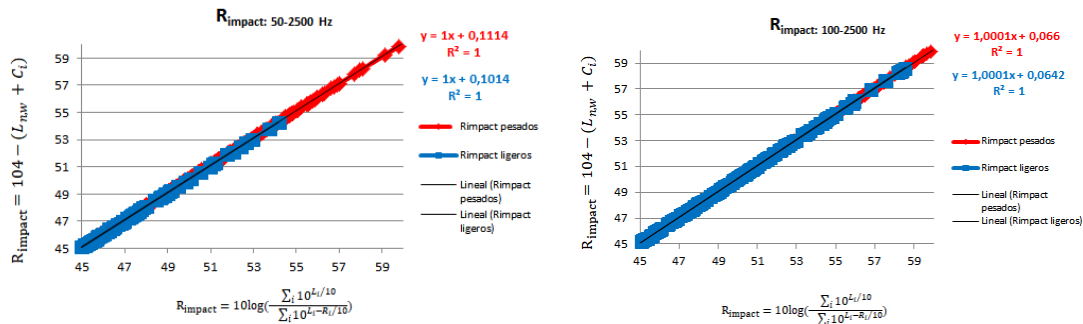


Figura 3: Comparativa  $R_{\text{impact}}$  ec (1) /  $R_{\text{impact}}$  ec (3);  $L_{n,w}$  como valor de entrada

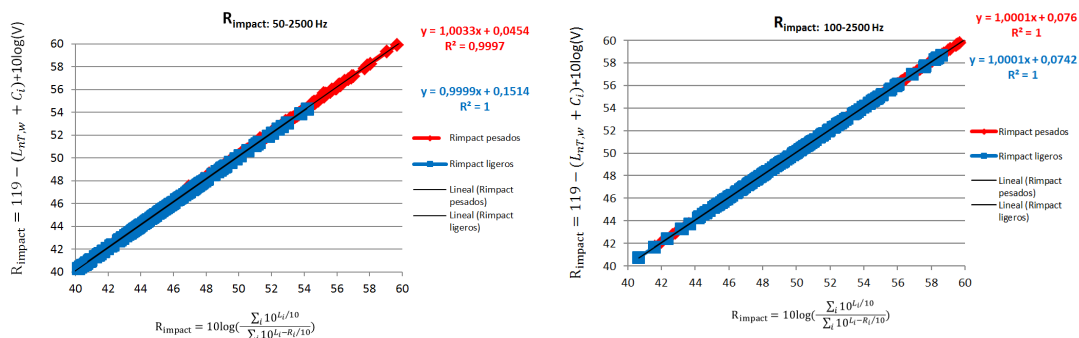


Figura 4: Comparativa  $R_{\text{impact}}$  ec. (1) /  $R_{\text{impact}}$  ec. (14);  $L_{nT,w}$  como valor de entrada

## CONCLUSIONES

El estudio realizado sobre el descriptor  $R_{\text{impact}}$  aporta información muy relevante, en lo que respecta al posible uso de este descriptor.

Por una parte, se confirma la posibilidad de calcular el valor de  $R_{\text{impact}}$ , tanto a partir de su expresión en función de resultados de niveles de presión de ruido de impacto en bandas de tercio de octava (ecuación (1)), como a partir de los correspondientes valores globales (ecuaciones (3) y (14)). Además, se ha demostrado que los valores de  $R_{\text{impact}}$  no dependen, de si se calculan a partir de los valores normalizados de nivel de ruido de impacto  $L_{n,i}$  /  $L_{n,w}$ , o a partir de los niveles estandarizados  $L_{nT,i}$  /  $L_{nT,w}$ .

Así mismo, el estudio corrobora lo ya expuesto por Scholl en [2]: el uso de  $R_{\text{impact}}$  simplificaría significativamente el entendimiento y uso de los descriptores de aislamiento a ruido de impacto, ya que por una parte, elimina la posibilidad de elegir entre  $L_{n,w}$  y  $L_{nT,w}$  y, por otra, se ajusta a la filosofía de que cuanto mayor es el descriptor, mejor es el aislamiento, al igual que ocurre con todos los descriptores de aislamiento a ruido aéreo. Además, el descriptor  $R_{\text{impact}}$  propuesto, al tratarse de una ponderación A del sonido transmitido a través del suelo, puede corregir el posible sesgo de los descriptores tradicionales  $L_{n,w}$  y  $L_{nT,w}$  a frecuencias medias y altas, lo cual puede ser de interés en forjados pesados, en los que la existencia de puentes acústicos facilita la propagación a esas frecuencias.



## FIA 2018

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

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a COST TU0901 y Robust Details Ltd. por inspirar este trabajo y aportar los datos necesarios para el desarrollo del mismo.

### REFERENCIAS

- [1] Scholl W. Revision of ISO 717: Why Not Use Impact Sound Reduction Indices Instead of Impact Sound Pressure Levels? Acta Acust United with Acust 2011;97:503–8.
- [2] Scholl W, Lang J, Wittstockh V. Rating of Sound Insulation at Present and in Future. The Revision of ISO 717. Acta Acust United with Acust 2011;97:686–98.
- [3] Scholl W, Ciszewski R, Wittstock V. Revision of ISO 717: Why Not Use Impact Sound Reduction Indices Instead of Impact sound Pressure Levels? Part 2: Application to Different Impact Sources. Acta Acust United with ... 2013;99:917–30.
- [4] Cordero S. Análisis del índice de reducción del ruido de impacto en viviendas habituales. TFG Grado Ingeniería Industrial. 2018.
- [5] Robust Details Ltd. Robust details handbook. Part E: Resistance to the passage of sound. 3rd ed. Milton Keynes, UK: 2013.