



# SIMULACIÓN DE LA REDUCCIÓN AL RUIDO DE IMPACTOS SEGÚN EN ISO 16251-1

M<sup>a</sup> Ángeles Martín Bravo<sup>1</sup>, Jesús Magdaleno Martín<sup>1</sup>, José M. García Terán<sup>1</sup>, Ana I. Tarrero Fernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, Valladolid, España  
{maruchi@eii.uva.es, jesus.magdaleno@uva.es, teran@uva.es, anatarrero@eii.uva.es}

## Resumen

Esta comunicación estudia el uso del método de los elementos finitos (FEM) para simular el ensayo descrito en la norma EN ISO 16251-1:2015, analizando dos capas elásticas y diferentes modelos de las condiciones de apoyo, tipos de fuentes de excitación (impacto y máquina de martillos normalizada) y mallas de elementos finitos.

Los modelos FEM han conseguido resultados adecuados de los valores de la reducción del nivel de presión de ruido de impactos. De esta forma se pueden realizar estudios sobre los distintos parámetros del ensayo, reduciendo la necesidad de modelos físicos que suelen ser más costosos y lentos. También se pueden prever algunos problemas, antes de construir las instalaciones de ensayo.

**Palabras-clave:** ruido de impactos, EN ISO 16251, elementos finitos.

## Abstract

This paper studies the use of finite element method (FEM) to simulate the test described in EN ISO 16251-1: 2015, analyzing two elastic layers and different support conditions, excitation sources (impact and ISO tapping machine) and finite element meshes.

FEM models have achieved satisfactory results of impact sound pressure level reduction. These models could be used to assess the influence of other parameters, with less physical models. In addition, some problems before constructing testing facilities can be detected.

**Keywords:** impact sound, EN ISO 16251, finite element.

**PACS no. 43.40.Kd, 43.55.Rg**

## 1 Introducción

### 1.1 Reducción del nivel de presión de ruido de impacto

Los revestimientos de suelos constituyen una solución habitual para mejorar la reducción al ruido de impactos. Esta mejora se cuantifica mediante la reducción del nivel de presión de ruido de impactos,  $\Delta L$ , con valores en bandas de frecuencia de 1/3 de octava. La dependencia frecuencial puede convertirse en un solo número,  $\Delta L_w$ , denominado reducción ponderada del nivel de presión de ruido de impactos [1].



La medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido de impactos puede realizarse de acuerdo con la serie de normas EN ISO 10140 [2]-[5]. La instalación consiste, a grandes rasgos, en dos recintos verticales de al menos 50 m<sup>3</sup>, separados por el suelo a ensayar, con una superficie entre 10 m<sup>2</sup> y 20 m<sup>2</sup>, siendo la longitud del borde más corto no inferior a 2,3 m [5]. El recinto superior es el recinto emisor y el inferior es el recinto receptor.

Como fuente de excitación puede usarse una máquina de martillos normalizada, descrita en el anexo E de [5]. Para evaluar el aislamiento de pisadas humanas con pies descalzos o niños saltando hay métodos alternativos que utilizan otras fuentes que reproducen mejor estos efectos, con componentes más fuertes a frecuencias bajas. Puede utilizarse el método indicado en el anexo A de [3], que utiliza fuentes de impactos pesados/blandos indicadas en el anexo F de [5]: una máquina de martillos modificada con muelles o capa elástica blanda, o una pelota de caucho. En otros países se utiliza una “bang machine” que, básicamente, consiste en un neumático que cae desde una altura determinada.

Este tipo de recursos no están al alcance de pequeñas y medianas empresas fabricantes de revestimientos de suelo, que desearían disponer de sus propias instalaciones. Para reducir estas dificultades se ha publicado la norma EN ISO 16251-1:2015 [6], que utiliza una losa de hormigón de 1,2 m × 0,8 m × 0,2 m, apoyada en cuatro soportes elásticos, utilizando como fuente de excitación la máquina de martillos normalizada. Los resultados han sido evaluados por varios grupos de investigación como Bjo [7], Foret et al. [8], Pereira et al [9], Schmidt et al. [10][11] y Mateus et al. [12], y son aproximados a los obtenidos con el modelo de EN ISO 10140 para recubrimientos que reaccionan localmente, como determinados recubrimientos blandos como el PVC y el linóleo. En suelos que no sean blandos y flexibles se pueden producir desviaciones debido a la influencia del tamaño de la muestra, aunque es de esperar que la respuesta proporcione información útil. Miskinis et al. [13] estudian el efecto del tamaño de la muestra de ensayo desde 13,4 m<sup>2</sup> a 0,5 m<sup>2</sup>, mostrando una fuerte dependencia en los resultados cuando se usa lana de roca como material aislante y una capa de mortero de arena y cemento como acabado. Aún así podrían usarse muestras pequeñas corrigiendo los valores con una expresión adecuada.

La estimación analítica de  $\Delta L$  puede realizarse según lo indicado en la norma EN ISO 12354-2:2001, anexo C [14], a partir de la rigidez dinámica  $s'$ . Esta alternativa solo está indicada si no están disponibles los valores medidos.

Esta comunicación estudia el uso del método de los elementos finitos (FEM) para simular el ensayo descrito en la norma EN ISO 16251-1:2015 [6]. Se analizarán dos capas elásticas (muestras M2 y M6). Con la muestra M2 se estudiará la influencia de algunos de los parámetros utilizados en los modelos, como la frecuencia de resonancia de los apoyos de la losa, diferentes modelos de apoyos (elementos 3D, muelles y sólido libre) y el tipo de fuente de excitación (máquina de martillos (MM), excitación estacionaria puntual (MMFi) y carga de impacto). Las principales conclusiones obtenidas se comprobarán con la muestra M6 como capa elástica.

## 1.2 Vibraciones en placas sobre apoyos elásticos

En un suelo flotante, el material elástico se encuentra entre dos materiales con una rigidez mucho mayor. El modelo utilizado para la rigidez dinámica considera rígido tanto el suelo flotante como el soporte resistente (forjado), es decir, las placas entre las que está la capa elástica.

Planteando el problema desde el punto de vista de la Teoría de la Elasticidad, el estado de deformaciones en un punto de la capa elástica sería el indicado en las ecuaciones (1) a (3). En ellas se supone



despreciable la deformación en las direcciones x e y del plano, dado que la variación de longitud en dichas direcciones es aproximadamente nula. Debido a la simetría, tampoco hay deformaciones angulares, por lo que las direcciones del sistema de referencia son direcciones principales. En consecuencia se trata de un estado de deformación uniaxial:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] = 0 \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] = 0 \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (3)$$

De las dos primeras ecuaciones deducimos que  $\sigma_x = \sigma_y$ , y sustituyendo en la Ec. (1) resulta:

$$\sigma_x = \frac{\nu}{(1-\nu)} \sigma_z \quad (4)$$

Sustituyendo en la Ec. (3):

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{E(1-\nu)} \sigma_z \quad (5)$$

Algunos autores, suponiendo esfuerzos uniaxiales en la Ec. (3), solamente utilizan E (Módulo de Young), en la Ec. (5), empleando la Ec. (6) para describir la relación con s' según la Ec. (7), pero esto sólo es válido cuando se desprecia el efecto del coeficiente de Poisson,  $\nu$ .

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \sigma_z \quad (6)$$

$$s' = \frac{F/S}{\Delta d} = \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z d} = \frac{E}{d} \quad (7)$$

Por lo tanto, la relación entre la rigidez dinámica y las constantes elásticas del material debería describirse como:

$$s' = \frac{F/S}{\Delta d} = \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z d} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)d} \quad (8)$$

En ciertos campos, como en sismología, se trabaja con constantes elásticas que permiten expresar esta relación de forma más compacta:

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{E(1-\nu)} \sigma_z = \frac{1}{M} \sigma_z \quad (9)$$

$$s' = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)d} = \frac{M}{d} \quad (10)$$

Donde M es el P-wave modulus:



$$M = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (11)$$

Para valores bajos del coeficiente de Poisson, los valores de M y E son similares, pero M aumenta muy rápidamente, de forma asintótica, cuando el coeficiente de Poisson se va acercando a 0,5 [15].

El cálculo analítico de la frecuencia de resonancia con el modelo masa-muelle de un grado de libertad es más preciso si se incluye el parámetro M en lugar de E, para tener en cuenta la influencia del coeficiente de Poisson. Por lo tanto, el cálculo analítico se realizaría con las ecuaciones (12) y (13), siendo S la superficie y L la longitud.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (12)$$

$$k = \frac{MS}{L} \quad (13)$$

## 2 Modelo de cálculo

### 2.1 Definición del modelo de cálculo

En cuanto a la geometría, la losa tendrá las dimensiones indicadas en la norma y la placa flotante se supondrá de 20 mm de espesor. El material en ambos casos será hormigón, con un módulo de Young (E) de 32 GPa, un coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) de 0,2, una densidad ( $\rho$ ) de 2400 Kg/m<sup>3</sup> y un factor de pérdida interno ( $\eta_{int}$ ) de 0,01. Se utilizarán dos capas elásticas, que se identificarán como muestras M2 y M6, con las propiedades indicadas en la Tabla 1. Con la muestra M2 se estudiará la influencia de algunos de los parámetros utilizados en los modelos. Las principales conclusiones obtenidas se comprobarán con la muestra M6 como capa elástica.

Tabla 1: Propiedades de las capas elásticas

	Espesor mm	Densidad ( $\rho$ ) Kg/m <sup>3</sup>	Rigidez dinámica (s <sup>-2</sup> ) MN/m <sup>3</sup>	Coefficiente de amortiguamiento estructural
Muestra 2 (M2)	12,5	697,63	5,34	0,17
Muestra 6 (M6)	30	94,83	13,93	0,077

La losa y la placa flotante se modelizarán con mallas de elementos 2D, tipo “thin shell parabolic quadrilateral”, con la formulación de lámina gruesa de Mindlin. Se utilizará el programa I-DEAS. De acuerdo con los análisis realizados en trabajos anteriores [14][15], se utiliza un tamaño nominal del elemento de 50 mm, resultando 504 elementos y 1597 nodos (Figura 1). Se ha comprobado la distorsión de los elementos, resultando valores aceptables.

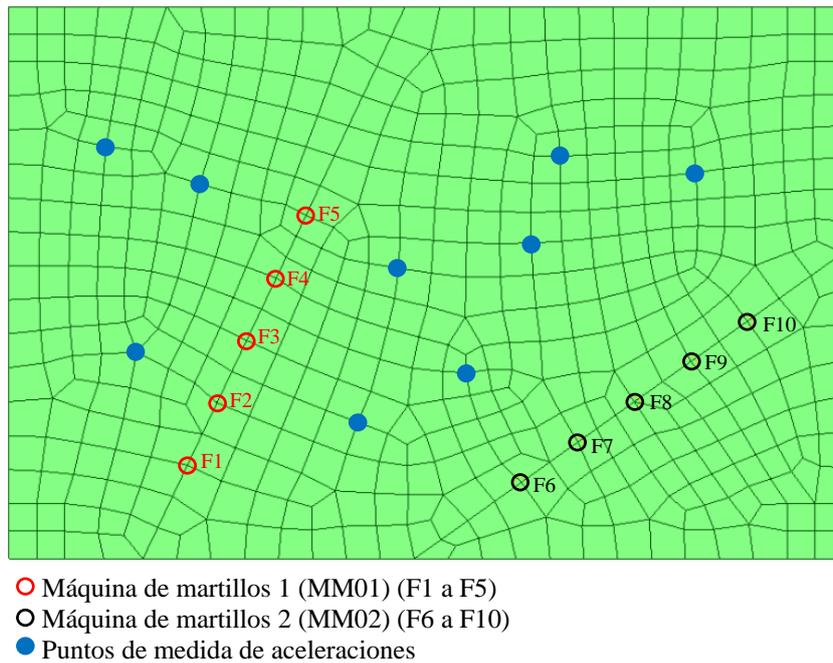


Figura 1: Malla de la losa, puntos de impacto y puntos de medida de aceleraciones.

Para modelizar las capas elásticas se utilizan elementos tipo muelle, nodo a nodo traslacional. Su rigidez es calculada a partir de la rigidez dinámica, multiplicando por la superficie de la capa elástica y dividiendo entre el número de muelles. Resultan 1597 muelles, con una rigidez de 8373 N/m para la muestra 2 (M2) y una rigidez de 3209 N/m para la muestra 6 (M6).

La losa de hormigón está colocada sobre soportes en sus cuatro esquinas. Para modelizar estos soportes se han utilizado dos modelos, además de un caso calculado sin apoyos (sólido libre, Figura 2c). En uno de los modelos, cada apoyo tiene unas dimensiones de 8 cm x 8 cm x 1 cm y utiliza 8 elementos 3D tipo “solid parabolic brick” por apoyo (Figura 2a), con un material elástico de densidad  $10 \text{ kg/m}^3$ , coeficiente de Poisson 0,3 y módulo de Young variable, según la frecuencia propia que se quiera simular. Estos módulos de Young han estado en torno a los 8 MPa. El segundo modelo para los soportes utiliza elementos tipo muelle, también con rigidez variable según la frecuencia propia que se quiera simular (Figura 2b). Los nodos inferiores tienen impedidos todos los movimientos.

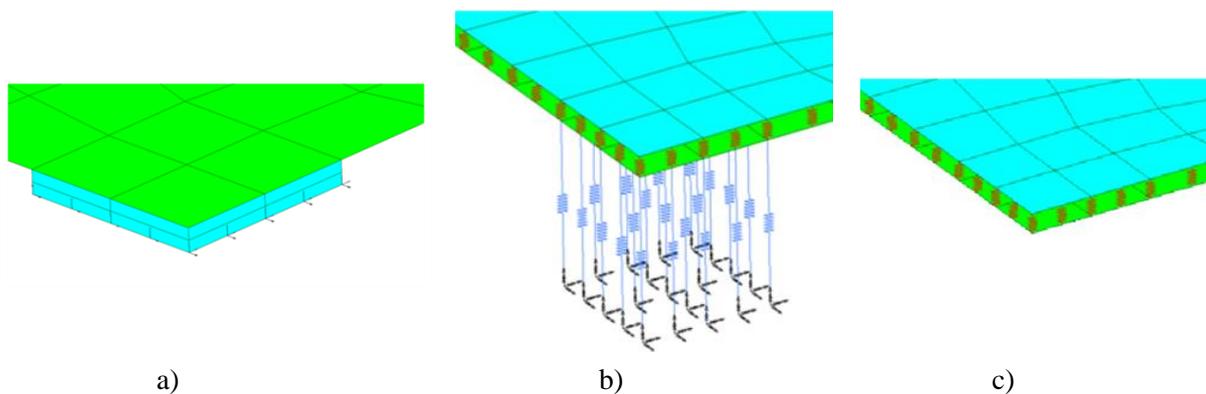


Figura 2: Tipos de apoyos: a) Elementos 3D y losa desnuda. b) Elementos muelle y modelo con capa elástica M2. c) Sólido libre y modelo con capa elástica M2.

En cuanto a las excitaciones, se consideran tres tipos. La primera es una excitación tipo máquina de martillos (MM), que simula el impacto de 5 martillos de forma similar a la máquina de martillos normalizada [14]. Se trata de la aplicación de impactos con una fuerza de 10 N, en 5 puntos separados 100 mm. En cada punto el impacto es cada 0,5 s, resultando una frecuencia de excitación de 10 Hz. Los puntos se han situado inclinados respecto a los ejes de la placa (Figura 1). El tiempo de medida ha sido 10 s, dado que la señal se estabiliza rápidamente y no es necesario un tiempo mayor.

La segunda es una excitación estacionaria puntual (MMFi, donde Fi es el punto de aplicación), en la que se concentran en un punto los impactos de la máquina de martillos, resultando la misma frecuencia de 10 Hz. Por último, se ha utilizado una carga de impacto de 0,001 s de duración.

## 2.2 Validación

Teniendo en cuenta los análisis realizados en trabajos anteriores [14], un tamaño del elemento de 50 mm puede proporcionar resultados suficientemente precisos de la vibración de la losa. Este tamaño también puede ser suficiente para modelizar el suelo flotante y la capa elástica [15].

La validación se completará con la comparación, durante el análisis de los resultados, con los modelos analíticos de predicción de la reducción del nivel de presión de ruido de impactos, según lo indicado en la norma EN ISO 12354-2:2001, anexo C, a partir de la rigidez dinámica  $s'$  [16][14]. Esta validación se considera suficiente para los objetivos de este trabajo.

## 3 Análisis de los resultados

En primer lugar se analizan los resultados cuando se usa la muestra M2 como capa elástica. La Figura 3 muestra los resultados de  $\Delta L$  con apoyos de diferente frecuencia de resonancia, cuando se utilizan apoyos 3D y una excitación tipo máquina de martillos (MM). Además de los valores promedio de las dos posiciones de la máquina de martillos, se representan las barras de error, que indican los valores máximo y mínimo en cada banda de un tercio de octava. También se representan las estimaciones dadas por la norma EN ISO 12354-2:2001, anexo C [16].

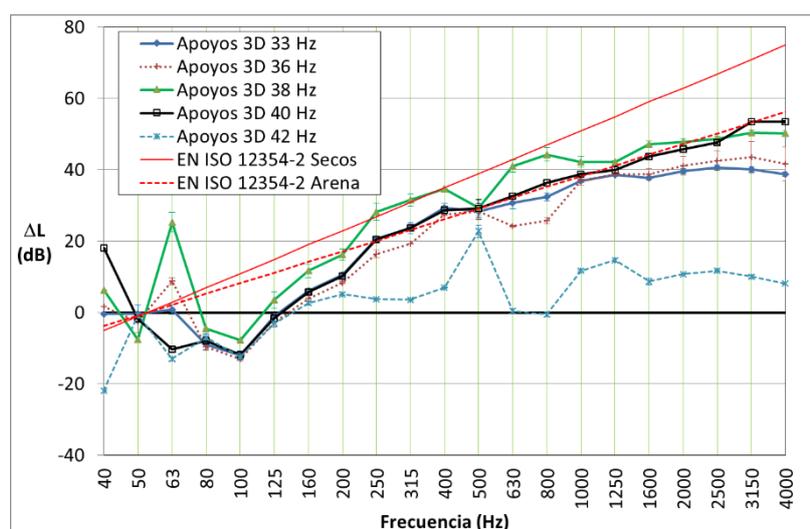


Figura 3: Reducción del nivel de presión de ruido de impactos con apoyos 3D, para diferentes frecuencias de resonancia. Excitación tipo MM. Capa elástica M2.

De acuerdo con los intervalos de las barras de error que se observan, puede decirse que la influencia de la posición de la máquina de martillos es pequeña en general, pero parece recomendable utilizar, al menos, dos posiciones de medida.

También se observa que los resultados varían al variar la frecuencia de resonancia de los apoyos, por lo que es importante la correcta determinación de este parámetro. Tanto [16] como [7] indican que la resonancia vertical de la losa de hormigón sobre los soportes elásticos debe ser inferior a 20 Hz, pero en este trabajo se obtienen mejores resultados cuando las frecuencias de los apoyos están entre 38 y 40 Hz. Se tomarán como referencia los resultados de los apoyos con una frecuencia de resonancia de 40 Hz, ya que son semejantes a los obtenidos con otras frecuencias de resonancia en los apoyos, en las bandas de frecuencias bajas y medias, y además son más estables. Otros autores han publicado resultados utilizando frecuencias de resonancia de los apoyos entre 27 y 38 Hz [8]-[10].

Es interesante señalar que el cálculo analítico de la frecuencia de resonancia de los apoyos 3D con el modelo masa-muelle de un grado de libertad es más preciso si se utiliza el parámetro M (P-wave modulus), en lugar de E (Módulo de Young), como se indicó anteriormente. Por lo tanto, el cálculo analítico se realizaría con las ecuaciones (12) y (13). En el caso de los apoyos 3D, la frecuencia resultante en el cálculo por el FEM es de 40,2 Hz, la calculada utilizando E es de 35,6 Hz y la calculada utilizando M es de 41,3 Hz.

En cuanto a la influencia del tipo de apoyos de la losa de hormigón (elementos 3D, muelles y sólido libre), en la Figura 4a se muestran los resultados de  $\Delta L$  cuando los apoyos son muelles y cuando los apoyos son elementos 3D, ambos con excitación tipo MM. La frecuencia de resonancia resultante en los cálculos por el FEM fue de 40,2 Hz en el caso de elementos 3D y 40,8 Hz en el caso de elementos muelle. Dicha figura representa los valores promedio de las dos posiciones de la máquina de martillos y las barras de error, que indican los valores máximo y mínimo para cada banda de un tercio de octava. Para frecuencias bajas y medias los resultados son casi coincidentes, con barras de error casi inapreciables. En frecuencias altas los resultados tienden a diferenciarse. La ausencia de masa en los elementos muelle podría explicar las diferencias. Parece más adecuado utilizar apoyos modelizados con elementos 3D, sobre todo cuando son de interés los resultados a frecuencias altas.

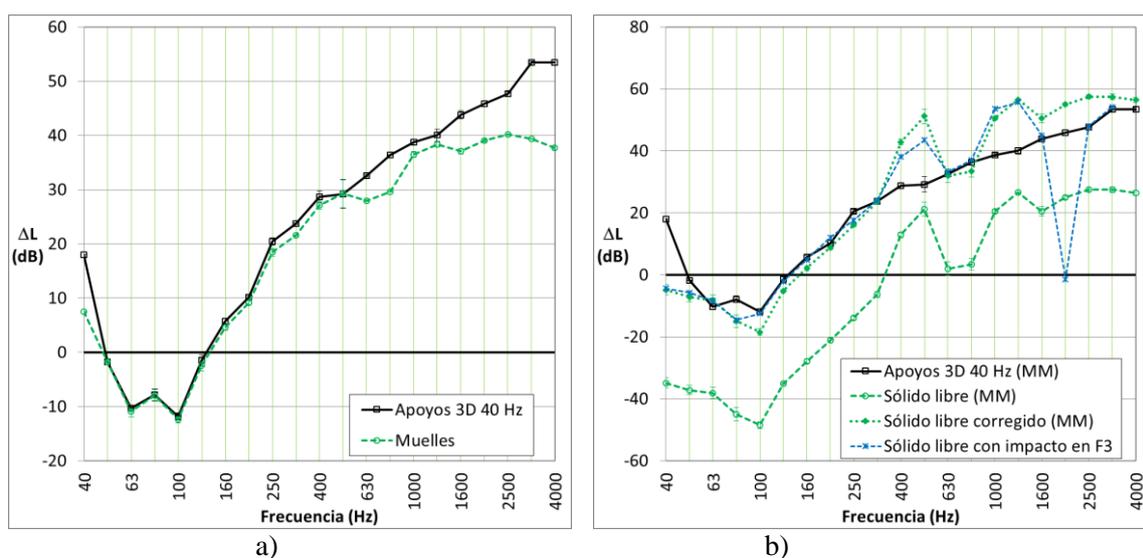


Figura 4: Reducción del nivel de presión de ruido de impactos con apoyos 3D, frecuencia de 40 Hz, capa elástica M2 y excitación tipo MM. a) Comparación con apoyos tipo muelle. b) Comparación con la condición de sólido libre (excitaciones MM e impacto en el punto F3).

En el caso de condiciones de sólido libre, con excitación tipo MM y excitación tipo impacto en el punto F3, los resultados de  $\Delta L$  se muestran en la Figura 4b, comparados con el apoyo modelizado con elementos 3D de 40 Hz, con excitación tipo MM. Se observa que los resultados del modelo sólido libre con excitación tipo máquina de martillos tienen valores notablemente menores, debido a que la rutina de cálculo incluye automáticamente muelles para corregir la singularidad del sistema. Cuando la excitación es tipo impacto, este hecho afecta mucho menos a los resultados, siendo semejantes a los obtenidos con otros vínculos y excitaciones, aunque aparecen desviaciones en alguna banda de frecuencia. Si se realiza una translación de los resultados obtenidos en el modelo sólido libre con excitación tipo MM (sólido libre corregido en la Figura 4b), se obtienen resultados casi equivalentes a los obtenidos con el modelo de apoyos 3D.

La influencia de concentrar en un punto los impactos de la máquina de martillos, excitación tipo estacionaria puntual en F3 (MMF3), se representa en la Figura 5. Puede apreciarse que la respuesta a este tipo de excitación es similar a la respuesta a la excitación tipo máquina de martillos (MM), aunque esta última es más regular y puede evitarse la necesidad de cálculos adicionales con otros puntos de excitación para alcanzar resultados más precisos y estables.

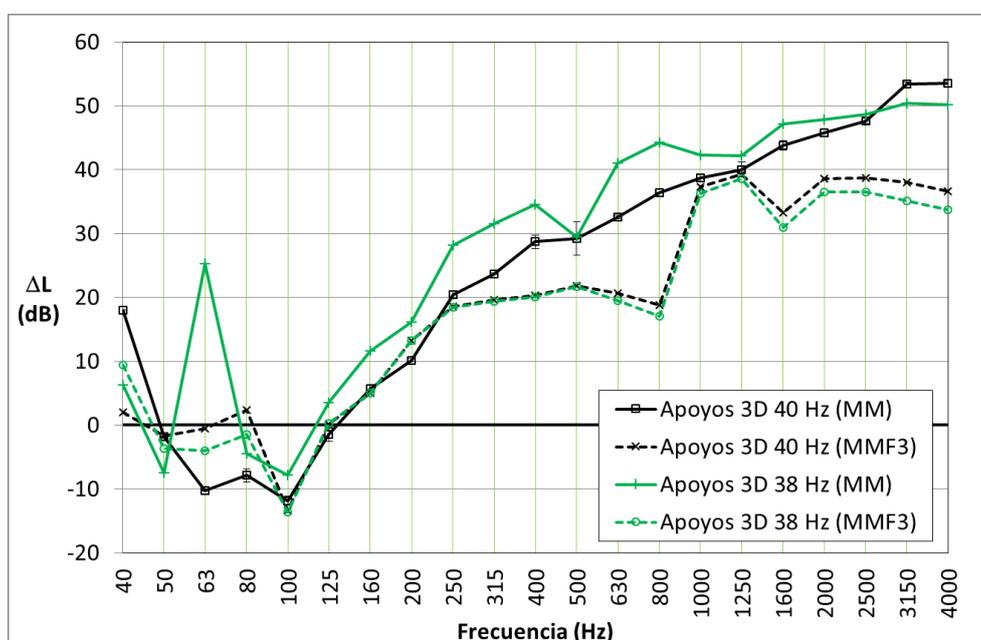


Figura 5: Reducción del nivel de presión de ruido de impactos con apoyos 3D (40 Hz y 38 Hz). Excitaciones tipo MM y estacionaria puntual en F3 (MMF3). Capa elástica M2.

Cuando se usa la muestra M6 como capa elástica se obtienen los resultados de  $\Delta L$  que se muestran en la Figura 6, junto con la estimación de [16] para suelos secos. Los resultados del modelo con la condición de sólido libre pueden ayudar en la validación del modelo, ya que no incluyen condiciones de apoyo explícitas que puedan influir en los valores obtenidos. Los mejores resultados se obtienen, en este caso, cuando la frecuencia de resonancia de los apoyos está entre 36 y 38 Hz. Dado el valor obtenido para la muestra M2, la frecuencia de resonancia de los apoyos más adecuada puede variar según la capa elástica analizada.

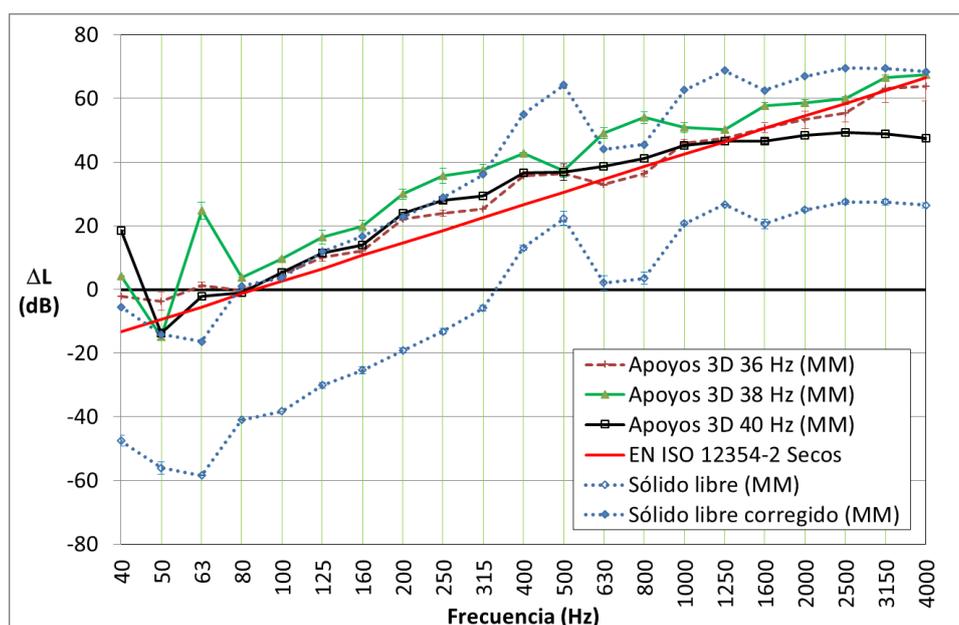


Figura 6: Reducción del nivel de presión de ruido de impactos con apoyos 3D, con diferente frecuencia de resonancia. Excitación tipo MM. Capa elástica M6.

## 4 Conclusiones

En este trabajo se han conseguido modelos FEM que proporcionan resultados adecuados de la reducción del nivel de presión de ruido de impactos ( $\Delta L$ ) y de los niveles ponderados, con el orden de precisión habitual en este tipo de problemas. Estos modelos han permitido estudiar la influencia de algunos de los parámetros involucrados sin utilizar de forma intensiva modelos físicos, que suelen ser más costosos y lentos. Adicionalmente, se pueden adelantar algunos problemas, antes de construir las instalaciones de ensayo, y se podrían realizar comprobaciones cruzadas entre los resultados experimentales y numéricos. Pueden destacarse las siguientes conclusiones:

- La posición de la máquina de martillos afecta poco en general, pero es recomendable realizar medidas en, al menos, dos posiciones.
- Los resultados obtenidos tienen cierta variación con la frecuencia de resonancia de los apoyos, por lo que es importante prestar atención a este parámetro.
- El cálculo analítico de la frecuencia de resonancia de los apoyos 3D, con el modelo masa-muelle de un grado de libertad, es más preciso si se incluye el parámetro  $M$  (P-wave modulus), en lugar de  $E$  (Módulo de Young).
- Parece más adecuado utilizar apoyos modelizados con elementos 3D, sobre todo cuando se requieren resultados a frecuencias altas. Para frecuencias bajas y medias, los resultados con apoyos modelizados con elementos tipo muelle son casi coincidentes con los anteriores, por lo que puede ser una simplificación adecuada en estos casos.
- La condición de sólido libre, con excitación tipo máquina de martillos (MM), puede servir de referencia para validar los resultados.
- Se consigue una buena aproximación, en general, entre los valores proporcionados por la excitación tipo MM y la excitación tipo estacionaria puntual en F3, aunque la respuesta es menos regular.



## Referencias

- [1] EN ISO 717-2: 2013. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en edificios y elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos, 2013.
- [2] EN ISO 10140-1: 2011. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 1: Reglas de aplicación para productos específicos, 2011.
- [3] EN ISO 10140-3: 2011. Acústica. medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 3: Medición del aislamiento acústico al ruido de impactos, 2011.
- [4] EN ISO 10140-4: 2011. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 4: Procedimientos y requisitos de medición, 2011.
- [5] EN ISO 10140-5: 2011. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 5: Requisitos para instalaciones y equipos de ensayo, 2011.
- [6] EN ISO 16251-1:2015. Acústica. Medición en laboratorio de la reducción de la transmisión del ruido de impacto por revestimientos de suelo sobre un suelo de pequeñas dimensiones. Parte 1: Suelos pesados. (ISO 16251-1:2014), 2015.
- [7] Bjor, O. Simplified measurement of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings. *Proceeding of the Baltic Nordic Acoustic Meeting*, Bergen, Norway, 2010
- [8] Foret, R., Chéné, J., & Guigou-Carter, C. A comparison of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings measured using ISO 140-8 and ISO/CD 16251-1. *Forum Acusticum 2011*, Aalborg, Denmark, 1371–6, 2011.
- [9] Pereira, A., Godinho, L., Mateus, D., Ramis, J., & Branco, F. G. Assessment of a simplified experimental procedure to evaluate impact sound reduction of floor coverings. *Applied Acoustics*, 79(0), 92-103, 2014.
- [10] Schmidt, J. -, Wittstock, V., Foret, R., Fichtel, C., & Scheck, J. Measuring the impact sound reduction at a compact measurement setup - design, results and uncertainties. *Building Acoustics*, 20(2), 107-140, 2013.
- [11] Schmidt, J. H., Wittstock, V., & Langer, S. C. Uncertainties and validation procedures for the compact measurement setup. *INTERNOISE 2014 - 43rd International Congress on Noise Control Engineering: Improving the World through Noise Control*, 2014.
- [12] Mateus, D., Pereira, A., Gonçalves, H., Godinho, L., & Branco, F. Avaliação experimental da redução sonora de sistema de piso flutuante com lajetas em microbetão e em pedra. *Tecniacústica 2013*, Valladolid, 2013.
- [13] Miškinis, K., Dikavicius, V., Ramanauskas, J., & Norvaišiene, R. Dependence between reduction of weighted impact sound pressure level and specimen size of floating floor construction. *Medziagotyra*, 18(1), 93-97, 2012.
- [14] Magdaleno, J., Martín-Bravo, M., García-Terán, J., & Tarrero, A. I. Simulación por el FEM de la transmisión del ruido de impacto en suelos pesados. *Tecniacústica 2015*, Murcia. pp. 932, 2015.
- [15] Magdaleno Martín, J. Simulación numérica de la transmisión indirecta estructural y de la transmisión del ruido de impactos en edificios. Universidad de Valladolid. Retrieved from <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/16297>, 2015.
- [16] 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, 2001.