

MODELO DE PREDICCIÓN DE TRANSMISIÓN DE RUIDO EN EDIFICIOS UNE-EN12354: PRECISIÓN, LIMITACIONES E INVESTIGACIONES EN EL ÁMBITO DE LAS VIVIENDAS EN ESPAÑA

PACS: 43.55.Dt

Esteban, Alberto; Fuente, Marta; Arribillaga, Oihana; López-Linares, David;
LABEIN Centro Tecnológico

C/ Geldo – Parque Tecnológico de Bizkaia. Edificio 700
48160 Derio (Vizcaya)

Tlf: 946 073 300. Fax: 946 073 349

E-mail: albertoe@labein.es mfuente@labein.es oarribillaga@labein.es dlopez@labein.es

ABSTRACT

One of the ways to guarantee the acoustical performance required in situ by the new building regulation (CTE) to the buildings, is by means of the calculation during the project of the noise transmission between rooms. At present, various mathematical models undertake the theme, being those collected in EN12354 standard of greater diffusion in the European environment, as well as the adopted by the protection against noise document DB-HR of the CTE.

This communication collects a study on the precision of predictions compared with real measurements in different buildings and constructive solutions, analyzes from a theoretical view the main limitations of use of the model adopted in the standard and exposes the advances of different investigations developed in Spain aimed to improve the results of these prediction models.

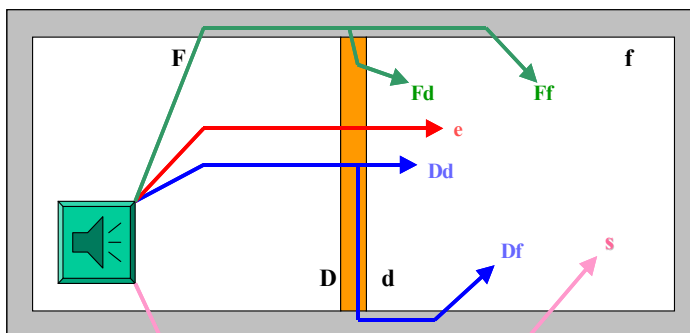
RESUMEN

Una de las formas de garantizar las prestaciones acústicas que el nuevo Código Técnico de la Edificación exige in situ a los edificios terminados es mediante el cálculo, en fase de proyecto, de la transmisión de ruido entre recintos. Actualmente existen varios modelos matemáticos que abordan el tema, siendo el recogido en las normas EN12354 el de mayor difusión en el ámbito europeo así como el adoptado por el documento de protección contra el ruido DB-HR del propio CTE.

La presente comunicación recoge un estudio sobre la precisión de las predicciones realizadas comparadas con medidas reales en diferentes edificios y soluciones constructivas. Además analiza desde un prisma teórico las principales limitaciones de uso del modelo adoptado en la norma y recopila los avances de distintas investigaciones que actualmente se están desarrollando en España con objeto de mejorar los resultados de dichos modelos de predicción.

MODELOS DE PREDICCIÓN EN12354

En España la actual Norma Básica de Edificación sobre condiciones acústicas en los edificios NBE-CA 88 se encuentra en revisión en espera del desarrollo final del Código Técnico de la Edificación (CTE) a partir de la L.O.E (Ley de Ordenación de la Edificación, 38/1999). La principal diferencia del futuro CTE, con respecto a la NBE, además de elevar las exigencias acústicas, es la consideración del edificio terminado como un producto final, y como tal tiene que cumplir unos requisitos acústicos. En este contexto se enmarca la necesidad de desarrollar modelos de predicción de transmisión de ruido en edificios, con objeto de poder dotar de herramientas a los proyectistas de los edificios en su intento de garantizar desde la fase de diseño el cumplimiento de las nuevas exigencias de confort acústico in situ impuestas por el C.T.E. El objetivo de los modelos de predicción es cuantificar la cantidad de sonido que llega de un recinto a otro a través de cada uno de los posibles caminos de transmisión (ver figura), para poder identificar el camino más débil y así poder actuar sobre el.



Los modelos normativos recogidos en la serie de normas EN 12354, que son los que se contemplan en el CTE, se basan en los modelos S.E.A. [1] mediante una serie de simplificaciones (que entre otras cosas reducen las posibilidades de transmisión a recintos adyacentes y usan como datos de entrada los valores de aislamiento medidos en laboratorio).

Según la norma UNE EN 12354, el aislamiento ente dos recintos se puede calcular mediante la suma de las contribuciones del aislamiento del elemento separador (transmisión directa) y de los 12 caminos principales de transmisión por elementos de flanco (transmisiones indirectas).

En cuanto a métodos de cálculo, la norma presenta dos tipos diferenciados:

- Método simplificado: estima el comportamiento acústico del edificio a través de índices globales de aislamiento de sus soluciones constructivas.
- Método detallado o de ingeniería: los cálculos se realizan por frecuencias y añade otra serie de datos de entrada, como diferencias entre condiciones de contorno laboratorio/obra real, etc.

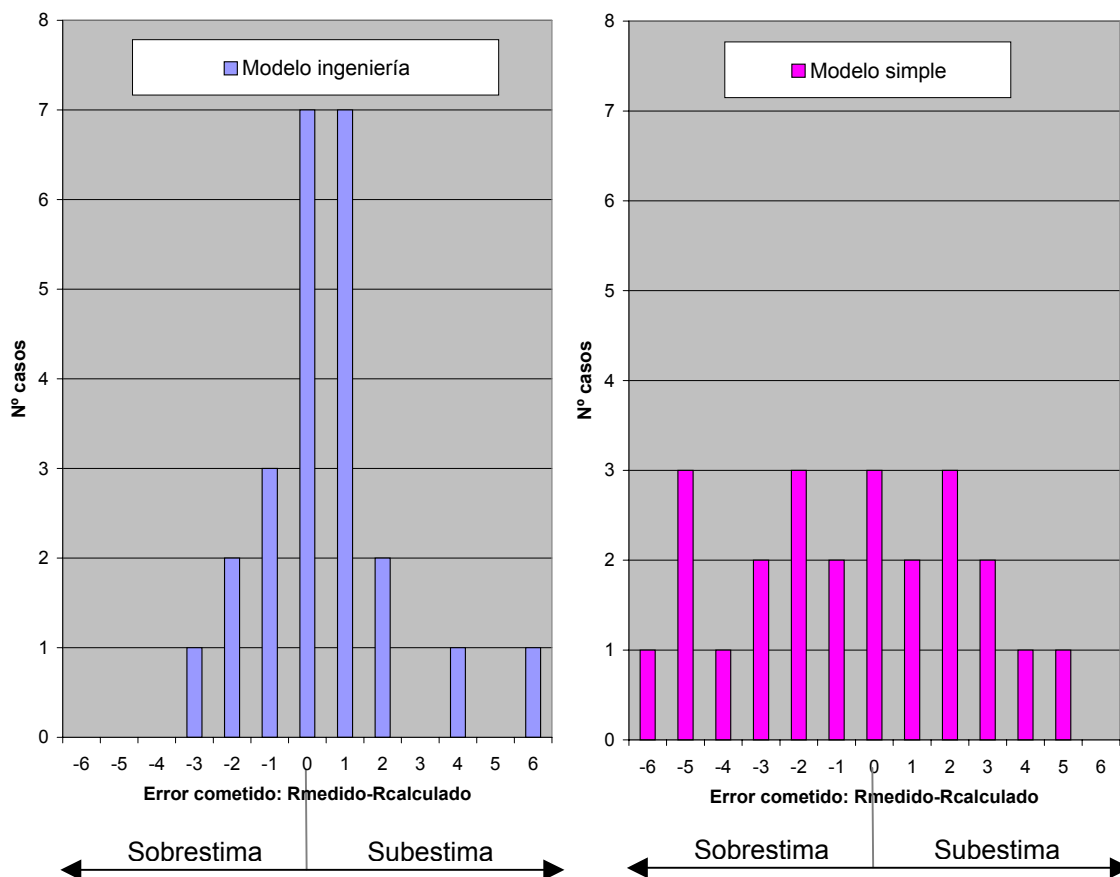
En ambos casos, el aislamiento de cada camino de transmisión se calcula en función del aislamiento de cada elemento medido en laboratorio, de la atenuación en las juntas de unión entre elementos y de la geometría de los recintos implicados, aunque con diferentes niveles de complejidad.

PRECISIÓN DEL MODELO

Dada su vocación de herramienta de ayuda al diseño, es importante conocer con la mayor exactitud posible cual es la incertidumbre a la que se enfrenta el proyectista cuando utiliza este modelo de cálculo para el diseño acústico de las viviendas.

Como una primera experiencia en el estudio de la precisión del modelo utilizado en las construcciones españolas, se han comparado los modelos simplificado y detallado frente a diferentes tipologías constructivas previamente medidas in situ. Las tipologías constructivas engloban desde soluciones tradicionales (forjados de bovedillas sin losas flotantes, paredes de albañilería habituales, etc.), así como soluciones más innovadoras orientadas a buscar el cumplimiento de los requisitos del futuro CTE (losas flotantes con parquet flotantes, paredes trasdosadas, etc).

Se han estudiado un total de 24 situaciones reales diferentes para el aislamiento a ruido aéreo tanto en vertical como horizontal. Para cada caso, se ha comparado la diferencia entre las medidas in situ realizadas con los resultados de la predicción de ambos modelos, evaluando de este modo la precisión del modelo. Los siguientes gráficos representan la distribución del error cometido:



Siendo el promedio y la desviación estándar:

	Modelo detallado	Modelo simple
Promedio	0,5	-0,6
Desviación estándar	1,9	3,2

No se presentan en este momento resultados de ruido de impactos al no disponer aún de un número representativo de ensayos sobre soluciones constructivas y acordes a los futuros requisitos del CTE. En todo caso, los estudios preliminares apuntan a la importancia de disponer de datos de entrada los más exactos posibles (ensayos en laboratorio) de la mejora acústica aportada por revestimientos, losas flotantes, etc... La influencia de la exactitud de los datos de entrada es de mayor importancia en el caso de ruido de impactos que en el caso de ruido aéreo. Las conclusiones de esta primera experiencia sobre la precisión del modelo aplicado a viviendas reales en España son:

- Ambos modelos son correctos en promedio (diferencias entre medición y cálculo inferiores a 1dB).
- El método simplificado tiende a sobrestimar ligeramente, mientras el método de ingeniería tiende a subestimar.
- La desviación estándar es del orden de 2 dB para el método de ingeniería y de algo más de 3dB para el simplificado.

- Existe una fuerte dependencia entre la bondad de las predicciones y la fiabilidad de los datos de entrada al modelo, especialmente en ruido de impactos.

INVESTIGACIONES REALIZADAS Y AVANCES

Aunque los resultados de la aplicación del modelo en las construcciones españolas pueden considerarse suficientemente buenos en promedio, pueden existir aún desviaciones en los valores calculados que son susceptibles de mejora. Con este objeto, se están realizando actualmente diversos proyectos de investigación en este campo, cuyos aspectos más relevantes se exponen a continuación.

El método empleado por la norma para predecir el aislamiento acústico entre recintos adyacentes, requiere una serie de suposiciones iniciales que hay que valorar para estudiar la aplicabilidad de la norma o sus posibilidades de mejora. A continuación se detallan los efectos derivados de cada una de las principales suposiciones adoptadas:

a) **Los elementos constructivos de los edificios corresponden a elementos homogéneos.**

Esto puede dar lugar a errores al aplicarse a elementos no-homogéneos [5,6]. No obstante, la creciente experiencia en la materia muestra que el error al aplicar el modelo con elementos huecos no es crítico, aunque la precisión del modelo se verá mejorada con adaptaciones que incluyan esta singularidad.

b) **Los campos acústico y vibratorio se comportan estadísticamente.**

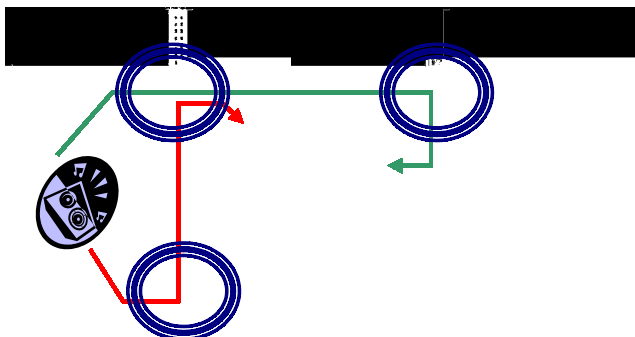
Esto supone que el nivel de presión sonora en el interior de un recinto es razonablemente igual en todos sus puntos, lo que en la práctica restringe la aplicabilidad del método a recintos de dimensiones



comedidas como es el caso de habitaciones de viviendas. Igualmente supone que el nivel de vibración es similar en todos los puntos de la superficie de un elemento, condición que se ha visto que no es cumplida por los forjados de viguetas y bovedillas [7].

c) **Sólo considera trece caminos de transmisión entre recintos:**

Es decir, solo considera transmisiones de primer orden (cuando el sonido sólo atraviesa una junta de unión entre elementos), despreciando los caminos de órdenes mayores - aquellos que pueden recorrer una junta de unión más de una vez y/o puede atravesar más de una junta- (ver fig.).

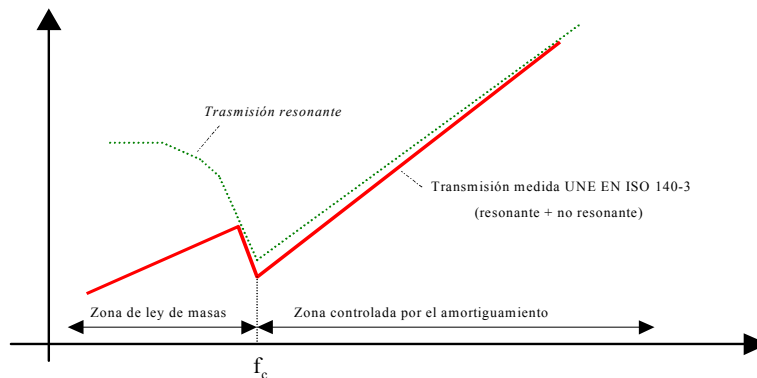


No obstante, la suma de todos los caminos de transmisión del ruido de segundo orden puede llegar a tener el mismo peso que un camino de primer orden. Hay estudios que muestran que puede llegar a sobre-estimar hasta 5 dB el aislamiento [8]. Se puede minimizar el error incluyendo a las fórmulas planteadas en la EN 12354 la contribución de los caminos de segundo orden [9].

d) **La norma utiliza valores de aislamiento en laboratorio (transmisión resonante + no-resonante) en casos donde sólo se debería utilizar la transmisión resonante.**

La transmisión del ruido por el elemento separador, tal y cómo se mide en laboratorio según las normas ISO 140-3, presenta dos mecanismos de transmisión de ruido, la primera corresponde a la transmisión no-resonante (o ley de masas, aplicable por debajo de la

frecuencia crítica f_c) y la segunda a la transmisión resonante (libre o no-forzada, por encima de la f_c). Ambos mecanismos de aislamiento se muestran en la siguiente figura.



Caminos de transmisión de segundo orden, atravesando más de una junta de unión entre elementos (planta y perfil de dos situaciones comunes).

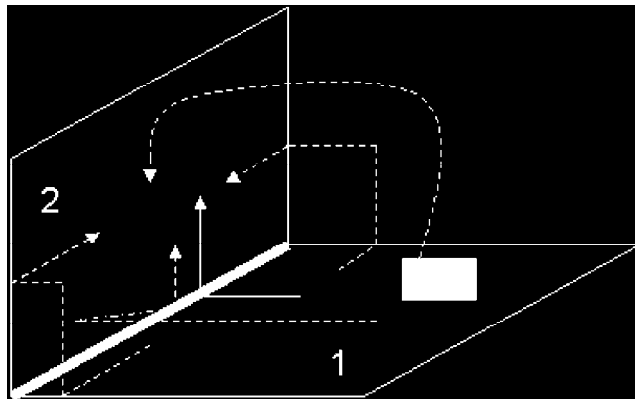
No obstante la transmisión del ruido por flancos es únicamente no resonante. Por lo que si se tiene en cuenta la fórmula de cálculo de la norma UNE EN 12354:

$$R_{\text{cada camino}} = \text{Aislamiento en laboratorio} + \text{Atenuación juntas} + \text{Término de corrección}$$

Se ve que utilizando el aislamiento R medido según método ISO 140, se comete una subestimación del aislamiento por flancos: el aislamiento real es mayor que el calculado. La importancia de este error y una forma de subsanarlo ha sido presentada por [9].

e) La atenuación de juntas de unión se evalúa mediante la diferencia de velocidad entre dos elementos de flanco (según Norma prEN ISO 10848-1).

Además de los problemas derivados de la no homogeneidad del campo vibratorio en el caso de forjados de bovedillas, que requiere de un método alternativo de medida que permita evaluar la atenuación de la junta sin estar influenciados por la atenuación con la distancia en el propio forjado [7], la medida de la atenuación en juntas de unión entre elementos puede verse afectada por transmisiones indirectas de vibración entre los dos elementos a medir. Es decir, existe un flujo de energía acústica que va de un elemento a otro a través de caminos diferentes a la junta de unión (ver figura).



De este modo se subestima la atenuación real de la junta de unión, y por lo tanto, el aislamiento de los caminos de transmisión afectados por la misma.

Como resumen del estudio en profundidad de las simplificaciones y supuestos del modelo, puede observarse que el punto (c) tiende a sobreestimar el aislamiento, mientras que los puntos (d) y (e) a subestimarlos. Estos efectos, aunque no están físicamente relacionados, tienden a anularse, de forma que el resultado final es razonablemente correcto en promedio, lo cual es coherente con los resultados presentados para la precisión del modelo.

Con objeto de mejorar la precisión y disminuir las incertidumbres de las predicciones, es necesario continuar investigando en la mejora de dicho modelo, del mismo modo que se está haciendo en el resto de países europeos.

CONCLUSIONES

- El cambio normativo desde la NBE-CA88 a los requisitos in situ de un código prestacional como el CTE suponen un paso adelante en la mejora de la calidad de las viviendas en España. La inclusión de modelos de cálculo del aislamiento acústico entre recintos permitirá a los proyectistas optimizar desde la fase de diseño la elección de las soluciones constructivas.
- La aplicación del modelo incluido en el CTE a viviendas reales construidas en España, ha demostrado que las predicciones realizadas son correctas en promedio, siendo una herramienta válida para justificar el cumplimiento de los requisitos del CTE.
- De los dos modelos existentes, el método detallado ha mostrado una mejor precisión y una menor desviación estándar entre los valores medidos y calculados. No obstante, el método simplificado obtiene resultados razonablemente válidos con la ventaja de una mayor simplicidad de cálculo.
- Es fundamental ahondar en la investigación de la mejora de las suposiciones y simplificaciones que subyacen bajo estos modelos para lograr un modelo de cálculo más robusto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren mostrar su agradecimiento al Ministerio de Vivienda -Dirección de Arquitectura y Política de Vivienda- por su apoyo en la realización de proyectos de I+D en el campo del desarrollo y mejora de modelos de predicción de transmisión de ruido en edificios, parte de cuyos resultados han sido expuestos en la presente comunicación.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R.J.M Craik, "Sound Transmission Through Buildings Using Statistical Energy Analysis", Gower (1996)
- [2] E. Gerretsen ; T. Nightingale. "Prediction models in Building Acoustics", introduction to the special session at forum Acusticum 1999 in Berlin
- [3] Schmitz, Fisher "How will heavy walls be measured in future in test facilities according to ISO 140". Proceedings of 17th ICA 2001. Rome, 2001.
- [4] Esteban, A; Cortés, A; Arribillaga, O. "In situ loss factor in Spanish hollow constructions: improving EN12354's accuracy". The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering Internoise 2004. Praga, 2004.
- [5] Cortés, A; Craik, R.J.M.; Esteban, A. "Impact sound insulation: measurement and prediction in hollow constructions of the Basque Country". Proceedings Tecniacústica 2002.
- [6] Esteban A.; Cortés A.; Villot M.; Martín C. "Vibration Reduction Index Kij in hollow constructions: application of the European standard EN12354 to the Spanish constructions". Proceedings Tecniacústica 2003.
- [7] Cortés, A; Esteban, A. "Application of the European standard EN12354 to the Spanish hollow constructions". 18th International Congress on Acoustics ICA 2004
- [8] Robert J M Craik "Sound transmission in buildings by long flanking paths" 6th international Congress on Sound and Vibration, 1999, Copenhagen, Denmark.
- [9] T. Nightingale "Expressions for first order flanking paths in homogeneous isotropic and lightly damped buildings". Acta Acústica, vol 89. No 1. Jan-feb 2003.