

LA INVESTIGACIÓN COLABORATIVA, CLAVE EN LA OBTENCIÓN DE MAGNITUDES GLOBALES DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO REPRESENTATIVAS DE LA PERCEPCIÓN.

Daniel de la Prida¹, Antonio Pedrero², María Ángeles Navacerrada³

¹ Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España
{e-mail: d.delaprida@alumnos.upm.es}

² Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España
{e-mail: antonio.pedrero@upm.es}

³ Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España
{e-mail: mdelosangeles.navacerrada@upm.es}

Resumen

En las últimas décadas se han realizado grandes esfuerzos para encontrar magnitudes globales del aislamiento acústico (SNQs) que muestren una alta correlación con la sensación subjetiva. Pese a estos esfuerzos, no existe consenso aún hoy en día. Para dar respuesta a este hecho se han realizado numerosos *listening tests*, en los que se ha investigado si el rango de frecuencias y los espectros de referencia utilizados en el cálculo de los SNQs representan la percepción subjetiva. Dos cuestiones principales conducen a que estas investigaciones no hayan permitido obtener aún un SNQ armonizado: (i) el número relativamente bajo de participantes que cada estudio es capaz de conseguir individualmente y (ii) la gran variedad de metodologías utilizadas para el diseño, desempeño y análisis de los juicios subjetivos.

Esta comunicación pone de manifiesto que la colaboración entre investigadores, así como el uso de una metodología armonizada y precisa para el diseño y análisis de *listening tests*, son fundamentales a fin de generar resultados concluyentes y significativos.

Palabras clave: SNQ, percepción, aislamiento acústico, listening test

Abstract

In recent decades, great efforts have been made to find single number quantities (SNQs) of the sound insulation that show a high correlation with the subjective perception. Despite these efforts, there is currently no consensus. To shed light on this subject, many listening tests have been carried out to determine whether the frequency range and reference spectra used in the calculation of the SNQs represent subjective perception. Two main issues lead to the fact that these investigations have not yet resulted in a harmonized SNQ: (i) the relatively low number of participants that each study can achieve individually and (ii) the wide variety of methodologies used for the design, development and analysis of subjective judgements.

This communication shows that using collaborative research and a harmonized and precise methodology for the design and analysis of listening tests are essential to generate conclusive and significant results.

Keywords: SNQ, perception, sound insulation, listening test

PACS nº. 43.55.Rg

1 Introducción

El aislamiento acústico es una cualidad de los elementos constructivos, cuyo conocimiento es fundamental en el diseño de nuevas construcciones, así como en las rehabilitaciones de las edificaciones existentes. Por ese motivo, el aislamiento acústico que proporcionan los elementos constructivos es una característica que debe ser conocida e interpretada no sólo por especialistas en acústica, sino por diversos actores que intervienen durante todo el proceso constructivo tales como arquitectos, aparejadores, ingenieros civiles o consultores, que no necesariamente tiene por qué ser expertos en la materia. Sin embargo, el aislamiento acústico es una característica compleja que varía en función de la frecuencia. Este hecho puede complicar su interpretación y aplicación. Con el fin de facilitar su interpretación, se han desarrollado, a lo largo de los años, diversos indicadores que se utilizan para describir el comportamiento acústico de un elemento constructivo de manera global. Estos indicadores, denominados magnitudes globales o SNQs (del inglés, *Single-Number Quantities*), expresan, a través de un único valor, el rendimiento acústico de los elementos constructivos.

De manera general, los métodos de cálculo utilizados para la obtención de estas magnitudes globales no son terreno ignoto, dado que se desarrollaron hace varias décadas y se encuentran estandarizados [1,2]. Sin embargo, aún a día de hoy, no existe una magnitud global que sea utilizada de manera armonizada, tal y como ponen de manifiesto diversas publicaciones [3–6]. Aunque en términos generales, los métodos de cálculo son muy parecidos, el fundamento en que se basan y el rango de frecuencias que se considera difiere ligeramente entre países. Estas divergencias son notables en el caso de los métodos de cálculo en Europa y Estados Unidos, donde se siguen normativas diferentes [1,2], aunque similares en su fundamento, pero también existen entre los propios países de la Unión Europea.

Asimismo, esta variabilidad de magnitudes se materializa en el establecimiento de diferentes requisitos de aislamiento, en términos de estas diferentes magnitudes globales, para los diferentes países [3,4,6–8].

Esta situación evidencia una problemática más profunda relativa al propio fundamento de las magnitudes globales: existen aún hoy en día cuestiones no resueltas con respecto a la adecuación de cada una de estas magnitudes globales para valorar el aislamiento acústico. Dicho de otro modo, es aún materia de estudio cómo han de ser estas magnitudes globales para ser fielmente representativas de la percepción subjetiva de los residentes y usuarios de los edificios.

Algunos esfuerzos por mejorar la representatividad de estas magnitudes del aislamiento acústico han llevado a la inclusión de coeficientes de adaptación espectral, tales como los índices C y C_{tr} , cuyo cálculo se describe en [1], con el fin de tener en cuenta la influencia del espectro predominante del ruido sobre el aislamiento acústico. Sin embargo, la inclusión de estos coeficientes ha llevado, en algunas ocasiones, a dificultar aún más los esfuerzos de armonización, puesto que algunos países han decidido incluirlos en sus requerimientos legales mientras otros no los contemplan.

Así, la problemática principal de la investigación en este ámbito sigue centrada en un hecho principal: la representatividad subjetiva de las magnitudes globales del aislamiento acústico no es tan alta como sería deseable. Así lo ponen de manifiesto diversas investigaciones con respecto a este hecho, que coinciden en que la representatividad de las magnitudes globales del aislamiento, con respecto a la percepción de molestia percibida, aún dispone de margen de mejora [9–22]. Por ello, la representatividad de los SNQs existentes, así como la mejora de estos indicadores, es una materia de estudio viva, tal y como se puede observar a partir de las publicaciones que se llevan a cabo cada año tratando de evaluar la percepción del aislamiento acústico.

Estas investigaciones se basan, de manera predominante, en el desempeño de pruebas perceptuales (*listening tests*). En el ámbito del aislamiento acústico a ruido aéreo, en el que se centra la presente

comunicación, estas pruebas suelen consistir en presentar a los participantes con varias muestras sonoras filtradas por el índice de reducción sonora de diversos elementos de aislamiento y consultarles acerca de un determinado atributo (generalmente sonoridad y molestia) que les evocan estos sonidos.

Si bien estas investigaciones permiten extraer conclusiones ciertamente interesantes con respecto a la percepción subjetiva del aislamiento acústico, existen ciertos inconvenientes que, en ocasiones, tienden a restar representatividad a los mismos y dificultar un avance eficiente en la armonización de las magnitudes globales.

2 Experimentos subjetivos: Situación actual

2.1 Los retos de la actual investigación

Como ya se ha descrito, numerosas son las publicaciones recientes que abordan la representatividad de los SNQs existentes, tratando, a su vez, de proponer mejoras que permitan aumentar esta representatividad [9–22].

Si bien todas estas investigaciones tienen una gran importancia, dado que mediante sus conclusiones contribuyen a incrementar el conocimiento en este ámbito, existe un inconveniente generalizado que tiende a restar potencial a los esfuerzos investigadores: la heterogeneidad de metodologías en la realización de los experimentos. Tal y como se desarrolla en detalle en [23], cuyo análisis se complementa en esta comunicación añadiendo publicaciones más recientes, las últimas investigaciones en este ámbito tienden a utilizar metodologías muy dispares para alcanzar un mismo fin, como es evaluar y mejorar la representatividad de las magnitudes globales actuales.

La Tabla 1 presenta las características y procedimientos seguidos por las investigaciones más recientes relacionadas con los *listening tests* en el ámbito del aislamiento acústico a ruido aéreo. En esta tabla se exponen, de manera resumida, el ámbito de cada estudio, el método utilizado para la consulta a los participantes, las muestras sonoras, los espectros de aislamiento y el rango frecuencial seleccionados, así como los métodos de análisis empleados. También se incluyen diversas cuestiones relacionadas con el desempeño de la prueba y que pueden tener una relevancia significativa sobre el sesgo, como son el número de participantes, las condiciones espaciales y tecnológicas de la prueba y la interacción entre los diversos entes que se interrelacionan durante los *listening tests*.

Tal y como se puede apreciar en la Tabla 1, los métodos de consulta, una de las componentes más importantes en el desarrollo de estas pruebas, tiene un carácter heterogéneo: mientras algunas investigaciones utilizan métodos de escala, otras utilizan métodos de discriminación basados en atributos; mientras algunas permiten una escucha libre de los estímulos al participante, otras permiten una única escucha; mientras algunas fuerzan al usuario a seleccionar una respuesta, otras permiten al usuario exponer que no fueron capaces de percibir diferencias. El hecho de utilizar métodos de consulta con poderes operacionales muy dispares puede acarrear consigo la deducción de conclusiones erróneas o parcialmente incorrectas si diversos estudios se comparan entre sí.

Lo mismo ocurren con los métodos de análisis, en parte motivado, pero no sólo, por la diferencia en los métodos de consulta: mientras las investigaciones basadas en escalas tienden a evaluar los juicios de escala en promedio a partir de los datos combinados de todos los sujetos [11,16,17,19], los métodos basados en discriminación tienden a evaluar los resultados mediante el conteo de preferencias

[13,20,21], aunque en algunas ocasiones se utilizan, bien de manera predominante o accesoria, métricas más complejas [12,20].

Con respecto a los atributos sonoros acerca de los que consultar a los participantes, tampoco existe un claro consenso. Si bien hay investigaciones que encuentran una alta correlación entre los juicios aportados por los participantes para los atributos “sonoridad” y “molestia”, otros encuentran que esta correlación no es lo suficientemente elevada como para que uno de ellos pueda establecerse como criterio de consulta único.

Lo mismo ocurre con respecto al entorno y las cuestiones tecnológicas del ensayo: mientras que algunos investigadores exponen que los entornos de ensayo deben ser lo más parecidos a estancias reales, introduciendo mobiliario en el entorno de ensayo y reproduciendo los estímulos por altavoces no visibles, otros opinan que es fundamental el control de cualquier otro tipo de estímulo que pueda sesgar las respuestas perceptuales puramente acústicas.

Otra de las cuestiones que permanecen sin resolver es la relativa al espectro. Si bien, las actuales corrientes paradigmáticas tienden a reforzar la inclusión del rango entre 50 y 100 [Hz] en las magnitudes globales utilizadas para caracterizar el aislamiento acústico a ruido aéreo, la mayor parte de las investigaciones destaca que estos índices no obtienen, en términos generales, una mejor descripción de la percepción subjetiva de los participantes. Sin embargo, las conclusiones individuales de cada experimento no son lo suficientemente fuertes por sí solas como para sentar un precedente en este sentido.

Este último hecho se debe, en parte, a las dos características que restan por comentar: el número de participantes y la casuística de fundamento de cada estudio, plasmada en las pruebas a través de las muestras sonoras y elementos de aislamiento evaluados.

Dado que cada experimento está supeditado a unas condiciones de estudio particulares, que circunscriben las muestras sonoras y elementos de aislamiento de cada estudio, las conclusiones de cada experimento por sí solas tienen una significancia limitada.

Adicionalmente, se ha de tener en cuenta que todas estas investigaciones se encuentran con un gran reto relativo a los participantes: contar con una muestra amplia de participantes es una tarea ardua y que puede poner en riesgo la viabilidad temporal de las investigaciones. Tal y como se puede observar en la Tabla 1, el número de participantes que cada uno de los experimentos fue capaz de abordar de manera individual es relativamente pequeño, salvo en [12,19]. Este hecho puede complicar la capacidad de extrapolación de las conclusiones a otros grupos poblacionales. Además, teniendo en cuenta que estas investigaciones se desarrollan generalmente en el ámbito académico, es común que los participantes sean principalmente estudiantes, lo que puede dificultar aún más la extrapolación de los resultados a otros grupos de edad.

Tabla 1 - Principales características comunes de las investigaciones en el ámbito de los *listening tests* para el aislamiento acústico a ruido aéreo.

Artículo	[16]	[17]	[19]	[20]	[21]	[11]	[12]	[13]
Tipo aislamiento	Paredes	Paredes ligeras y pesadas	Paredes ligeras y pesadas	Paredes ligeras y pesadas	Pared ligera y pared pesada	Elementos de fachada	Elementos de ventana	Paredes ligeras y pesadas
Atributo	Sonoridad y molestia	Molestia	Sonoridad, molestia y aceptabilidad	Sonoridad	Sonoridad	Sonoridad y molestia	Molestia	Sonoridad
Frecuencias [Hz]	50 – 5000	100 – 3150 (se usa R'w)	50 – 5000	50 – 5000	50 – 5000	50 – 5000	100 – 5000	50 – 5000
Nº participantes	30	22	59	33	39	43	119	40
Método de consulta	Escala unipolar 7 puntos	Escala unipolar continua [0-10]	Escala unipolar 10 puntos	2-AC	2-AFC	Escala unipolar 10 puntos	2-AC	3-AFC ¹
Muestras sonoras y duración	S1 – S3: Frases (Harvard) S4: I Remain Call S5. Stand Up Tall S6. She Bop	S1. Música S2. Charla S3. Fiesta S4. Descarga cisterna 20s.	S1. Guitarra S2. Together again S3. Feuer frei S4. Llanto bebé S5. Charla S6. Ladrillo 15 - 20s.	S1. Ruido rosa – 5s.	64 muestras sonoras de convivencia vecinal – 5s.	Ruido tráfico ² : S1. 50km/h S2. 80km/h S3. 100km/h S4. 60km/h S5. 60km/h 20s.	S1. Tráfico ² S2. Tráfico ² S3. Sirena S4. Aeronave S5. Ruido rosa 5-15s.	S1. Ruido Rosa - 2s. S2. Highway to Hell - 5s.
Método de análisis principal	Medias	Medias	Medias	Conteo de preferencias	Conteo de preferencias	Medias y desviaciones	Modelos thurstonianos	Conteo de preferencias
Sistema de reproducción	Altavoces	Auriculares	Altavoces (Genelec 8020A) + graves	Auriculares (HM-1 & ATH-AD900x)	Auriculares (HM-1)	Altavoces (Genelec 8020A) + graves	Auriculares (Sennheiser HD650)	Auriculares (Sennheiser HD650)
Aprendizaje	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Presentación de estímulos	Escucha guiada	Escucha libre	Escucha guiada	Escucha guiada	Escucha libre	Repetición automática	Escucha guiada	Escucha libre
Audiometría	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No

¹ Lo que los autores definen como 3-AFC es procedimentalmente equivalente a 2-AC² Las diferentes muestras sonoras de tráfico no sólo contienen tráfico a diferentes velocidades sino también con diferente comportamiento (ligero, pesado y mixto)

3 Ventajas de una investigación colaborativa

La investigación colaborativa, considerada como una investigación en la que diversos grupos de investigación interdisciplinarios compartan métodos, resultados y experiencia, puede ser una herramienta muy útil a la hora de reducir los retos a los que se enfrentan actualmente las investigaciones relativas a *listening tests* en el ámbito del aislamiento acústico.

En primer lugar, el desarrollo conjunto de una metodología consensuada para el desempeño de estos experimentos resolvería los problemas derivados de la difícil comparación de resultados que, hoy en día, afecta a estas publicaciones.

Si se sigue una misma metodología, aunque cada estudio utilice unos elementos de aislamiento y muestras sonoras particulares, los resultados de cada prueba podrán utilizarse como parte de un conjunto de datos mayor, donde se aglomeren los resultados de diversos *listening tests*. Esto es, la utilización de una metodología común facilitaría la generación de grandes conjuntos de datos con características heterogéneas, más representativos de la percepción general del aislamiento acústico. También facilitaría la replicación de estudios en muestras heterogéneas de participantes, como pueden ser las de diferentes países o grupos de edad, lo que permitiría evaluar la consistencia de los resultados en términos generales.

Esta investigación colaborativa no debe ser sólo relativa al uso de una metodología común, sino también al uso de grupos de trabajo interdisciplinarios tanto para el desarrollo de la metodología como para la realización de los experimentos. Es complicado, y puede llegar a ser ineficiente, que un único investigador trate de ser experto en todas las competencias necesarias para el desempeño de este tipo de pruebas. En particular, en el ámbito de la percepción subjetiva del aislamiento acústico, los expertos en psicología y estadística pueden ser de gran relevancia a la hora de determinar los métodos de consulta y análisis de mayor poder operacional y los expertos en paisaje sonoro (tanto interior como exterior) pueden ser determinantes a la hora de seleccionar muestras sonoras que representen fielmente los diferentes entornos acústicos. Por último, las empresas del sector de la construcción y los materiales acústicos pueden ser una pieza clave para la medida y obtención de abundantes datos relativos a los índices de reducción sonora de los elementos constructivos.

Para mostrar el gran potencial que podría tener la investigación colaborativa, la Figura 1 muestra dos recientes propuestas de mejora de los espectros de referencia descritos en la ISO 717-1:2013 [1], obtenidas mediante un proceso de optimización a partir de los resultados de dos *listening tests* diferentes.

La primera de las investigaciones [22] propone una optimización del espectro de referencia para ruidos de vecindad. Esta optimización está basada en los resultados del *listening test* [19] y consigue mejorar la representatividad de los SNQs con respecto al atributo subjetivo “molestia” de manera significativa. Así, el nuevo espectro de referencia propuesto, L_{opt} (mostrado en la Figura 1 como $L_{opt-living}$), mejora la correlación con la molestia para cinco de las seis muestras sonoras utilizadas durante el experimento, alcanzando valores superiores al 90% de correlación en tres de los seis casos.

La segunda de las investigaciones [14], basada en los resultados del *listening test* presentado en [12], propone una optimización del espectro de referencia para ruidos urbanos. Para ello plantea una ligera variación del algoritmo de optimización propuesto en [22] con el fin de adaptar el método de optimización a la distinta naturaleza de los resultados, dado que ambos experimentos [12,19] siguieron metodologías ciertamente dispares, como puede observarse en la Tabla 1. El nuevo espectro de referencia para ruidos urbanos $L_{opt-urban}$ consigue mejorar significativamente la representatividad del

atributo subjetivo “molestia” para las cinco muestras sonoras utilizadas en el estudio, alcanzando correlaciones superiores al 70% para cuatro de las seis muestras sonoras y superiores al 85% en dos de las seis muestras sonoras.

Es llamativo cómo ambas investigaciones han llevado a obtener curvas tan similares utilizando métodos de consulta y de análisis diferentes, para poblaciones de diferentes países y con muestras sonoras y elementos de aislamiento diferentes. Sin embargo, el hecho de haber utilizado enfoques tan diferentes no permite la generación de un conjunto de datos común que permita obtener una curva que sea realmente representativa de los resultados de ambos experimentos.

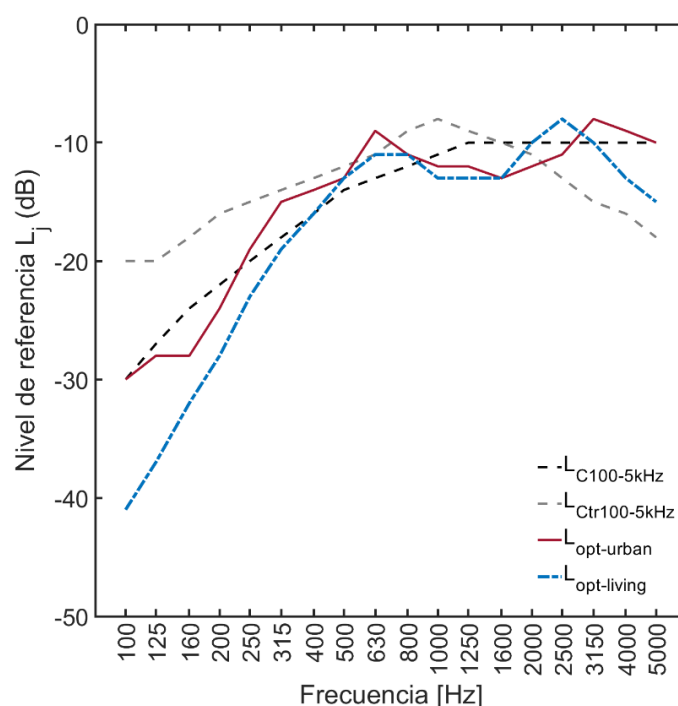


Figura 1 - Espectros de referencia de la ISO 717-1:2013 para los términos de adaptación espectral C (línea negra discontinua), C_r (línea gris discontinua), así como las propuestas de [14] para ruidos urbanos (línea continua marrón) y de [22] para ruidos de vecindad (línea punteada y discontinua azul).

4 ¿Por dónde empezar?

Una gran ventaja de la investigación colaborativa en el ámbito de la armonización de magnitudes globales del aislamiento acústico es que no es necesario, hoy en día, comenzar de cero. Acciones investigadoras con COST TU0901 llevaron ya a cabo la ardua tarea de sentar las bases en este hecho. Sin embargo, no se puede considerar que el trabajo de generación de un marco común quedase totalmente resuelto. Se considera necesario, a la vista de las divergencias entre metodologías aún existentes, continuar con este tipo de acciones y proyectos colaborativos con el fin de mejorar el conocimiento en este ámbito.

Más allá de la metodología, se considera importante la generación colaborativa de una herramienta software destinada al desempeño y análisis de pruebas subjetivas. Éste es, precisamente, uno de los primeros impedimentos que se encuentran los investigadores a la hora de llevar a cabo *listening tests*.

Este desarrollo conjunto, por un lado, eliminaría posibles fuentes de sesgo derivadas de la interpretación individual de la metodología común por parte de cada investigador y, por otro, permitiría un ahorro de coste temporal y humano. Actualmente, los grupos de investigación acaban, como normal general, diseñando su propia herramienta, tal y como ponen de manifiesto las diversas publicaciones en las que se presentan herramientas diseñadas ad-hoc para la consecución de estas pruebas [13,24,25].

5 Conclusiones

Con el fin de mejorar significativamente la investigación y facilitar la obtención de conclusiones relevantes en el ámbito del aislamiento acústico, que puedan llevar a una armonización clara de las magnitudes globales, parece necesario potenciar diversas acciones:

1. El desarrollo conjunto de una metodología clara, precisa, eficiente y con un alto poder operacional para el desempeño de los *listening tests* que sea utilizada de manera común.
2. La colaboración interdisciplinar de expertos en diversas materias tales como: aislamiento acústico, pruebas subjetivas, paisaje sonoro y estadística, entre otras.
3. El apoyo de las empresas del sector de la construcción con el fin de obtener datos constructivos abundantes y representativos.
4. Contribuir con los resultados independientes de cada investigación a la conformación de un conglomerado de datos colaborativo, analizable de manera conjunta, que permita incrementar la significancia global del conocimiento en esta materia.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la acción investigadora COST TU0901 su empeño en sentar las bases de una investigación más colaborativa, en la que diversas entidades puedan aportar los resultados de sus investigaciones para mejorar, de manera conjunta, el conocimiento en este ámbito.

Asimismo, los autores quieren agradecer al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades la financiación del proyecto [RTI2018-094656-B-I00], dentro del que se enmarca esta comunicación.

Referencias

- [1] ISO 717-1:2013 Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2013.
- [2] E413-10: Classification for Rating Sound Insulation. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International; 2010.
- [3] Rasmussen B, Rindel JH. Sound insulation between dwellings—Descriptors applied in building regulations in Europe. *Appl Acoust* 2010;71:171–80.
- [4] Rasmussen B, Machimbarrena M, Fausti P, TU0901 C. Building acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe. 2014.
- [5] Monteiro C, Machimbarrena M, Tarrero AI, Smith RS. Translation between existing and proposed harmonized airborne sound insulation descriptors: A statistical approach based on in-situ measurements. *Appl Acoust* 2017;116:94–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.09.017>.

- [6] Alonso A, Patricio J, Suárez R, Escandón R. Acoustical retrofit of existing residential buildings: Requirements and recommendations for sound insulation between dwellings in Europe and other countries worldwide. *Build Environ* 2020;174:106771. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106771>.
- [7] Rasmussen B, Machimbarrena M. Developing an international acoustic classification scheme for dwellings-From chaos & challenges to compromises & consensus? INTER-NOISE NOISE-CON Congr. Conf. Proc., vol. 259, Institute of Noise Control Engineering; 2019, p. 7751–62.
- [8] Rasmussen B. Encouraging acoustic renovation of housing in Denmark by extending acoustic classification with two lower classes E and F for old housing. 48th Int. Congr. Exhib. Noise Control Eng., INTERNATIONAL INSTITUTE OF NOISE CONTROL ENGINEERING; 2020.
- [9] Tachibana H, Hamada Y, Sato F. Loudness evaluation of sounds transmitted through walls—Basic experiment with artificial sounds. *J Sound Vib* 1988;127:499–506.
- [10] Vian J, Danner WF, Bauer JW. Assessment of significant acoustical parameters for rating sound insulation of party walls. *J Acoust Soc Am* 1983;73:1236–43.
- [11] Hongisto V, Oliva D, Rekola L. Subjective and objective rating of the sound insulation of residential building façades against road traffic noise. *J Acoust Soc Am* 2018;144:1100–12.
- [12] de la Prida D, Pedrero A, Navacerrada MÁ, Díaz-Chyla A. Methodology for the subjective evaluation of airborne sound insulation through 2-AC and Thurstonian models. *Appl Acoust* 2020;157:107011.
- [13] Chmelík V, Rychtáriková M, Müllner H, Jambrošić K, Zelem L, Benklewski J, et al. Methodology for development of airborne sound insulation descriptor valid for light-weight and masonry walls. *Appl Acoust* 2020;160:107144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107144>.
- [14] de la Prida D, Pedrero A, Navacerrada MÁ, Díaz-Chyla A. An annoyance-related SNQ for the assessment of airborne sound insulation for urban-type sounds. *Appl Acoust* 2020;168:107432. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107432>.
- [15] Park HK, Bradley JS, Gover BN. Evaluating airborne sound insulation in terms of speech intelligibility. *J Acoust Soc Am* 2008;123:1458–71.
- [16] Park HK, Bradley JS. Evaluating standard airborne sound insulation measures in terms of annoyance, loudness, and audibility ratings. *J Acoust Soc Am* 2009;126:208–19. <https://doi.org/10.1121/1.3147499>.
- [17] Pedersen TH, Antunes S, Rasmussen B. Online listening tests on sound insulation of walls – A feasibility study. *Euronoise 2012*, European Acoustics Association; 2012.
- [18] Rychtáriková M, Roozen B, Müllner H, Stani M, Chmelík V, Glorieux C. Listening test experiments for comparisons of sound transmitted through light weight and heavy weight walls. *Akustika* 2013;19:1–10.
- [19] Hongisto V, Oliva D, Keränen J. Subjective and objective rating of airborne sound insulation—living sounds. *Acta Acust United with Acust* 2014;100:848–63.
- [20] Monteiro C, Machimbarrena M, de la Prida D, Rychtarikova M. Subjective and objective acoustic performance ranking of heavy and light weight walls. *Appl Acoust* 2016;110:268–79. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.03.008>.
- [21] Rychtáriková M, Muellner H, Chmelík V, Roozen NB, Urbán D, Garcia DP, et al. Perceived Loudness of Neighbour Sounds Heard Through Heavy and Light-Weight Walls with Equal R

- w+ C 50–5000. *Acta Acust United with Acust* 2016;102:58–66.
- [22] Virjonen P, Hongisto V, Oliva D. Optimized single-number quantity for rating the airborne sound insulation of constructions: Living sounds. *J Acoust Soc Am* 2016;140:4428–36.
- [23] Vardaxis N-G, Bard D. Review of acoustic comfort evaluation in dwellings: Part III—airborne sound data associated with subjective responses in laboratory tests. *Build Acoust* 2018;25:289–305.
- [24] Rychtáriková M, Horvat M. Developing a Methodology for Performing Listening Tests Related to Building Acoustics. *Build. Acoust. throughout Eur. Vol. 1 Towar. a common Framew. Build. Acoust. throughout Eur.*, 2014.
- [25] de la Prida Caballero D, Rodrigues A, Monteiro C, Machimbarrena M. Los listening test como método de caracterización de la molestia e implementación de software de evaluación. *Tec.* 2014, Murcia: Sociedad Española de Acústica; 2014.