

TRASDOSADOS LIGEROS: UNA TECNICA EMERGENTE EN AISLAMIENTO ACUSTICO FRENTE AL RUIDO AEREO

PACS: 43.55.Ev

Antonio Moreno, Francisco Simón, Carlos de la Colina, M^a J. Fernández
Instituto de Acústica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Serrano 144
28006 Madrid. España
Tel: 34 915 618 806
E-mail: amoreno@ia.cetef.csic.es

ABSTRACT

Main factors determining the sound insulation improvement of lightweight linings are analysed under the basis of up-dated theoretical models of sound insulation of double leaf walls. The influence of these factors on numerical curves $\Delta R(f)$, is compared to experimental results of actual lightweight linings concluding on the convenience of further investigations. Some changes on Sharp's model for zero compliance fixations are proposed. The influence of reference curve in computing global quantities (f.e. ΔR_A) is analysed, as well as its influence in design projects emphasizing the existence of smart spectra $\Delta R(f)$ to obtain a given value ΔR_A , as a function of the reference curve and the incident noise spectrum.

RESUMEN

Se estudian las características y condicionantes principales de la mejora del aislamiento acústica de trasdosados ligeros tanto en sus aspectos espectrales como de valoraciones globales. Se analiza la adecuación al cálculo predictivo de varios modelos de propagación comparativamente con valores reales enfatizando los factores de mayor contribución a la mejor de aislamiento. Se propone una modificación de las ecuaciones del modelo de Sharp para el caso de uniones de compliancia nula. Se resalta la importancia de la curva de referencia el en valor global de la mejora de aislamiento de estos elementos y su potencial influencia en el diseño y se indica la existencia de formas espectrales óptimas de la mejora de aislamiento del trasdosado en funcion de la curva de referencia y de espectro del ruido incidente.

ANTECEDENTES

Tal vez la primera consideración de elementos adicionales a un divisorio previo, de los que su caracterización se hace mediante un incremento del aislamiento acústico, cuyo valor es simplemente aditivo aritméticamente, aparece en acústica arquitectónica ligado a los suelos flotantes [1]. Su carácter es mas bien empírico basado en el hecho de que los forjados que los sustentan se encuadran en una gama estrecha de características, sobre todo en cuanto a masa por metro cuadrado.

Los trasdosados ligeros en placa proporcionan un aumento de aislamiento, normalmente importante, sin incremento de masa y con poca invasión de superficie de planta. Su concepto se va perfilando y consolidando aunque se mantienen aspectos oscuros, entre los que caben destacar la unicidad de su definición y caracterización para asegurar un uso propio y adecuado en el proyecto acústico, las condiciones del divisorio portador (sobre todo sus rangos de masa), las condiciones para asegurar su aditividad aritmética y los modelos predictivos eficientes. Sin olvidar aspectos avanzados de su tecnología de montaje en relación con las transmisiones indirectas [2], se dan reglas y orientaciones de uso en vías directas e indirectas y de métodos de medición y valoración global [3].

BASES TEORICAS

Los trasdosados ligeros son un caso particular de los divisorios de doble hoja, y como en éstos la variabilidad de situaciones es prácticamente ilimitada dependiendo fundamentalmente de los tipos de conexión entre el trasdosado y la pared principal (que denominaremos portadora), de la frecuencia crítica de cada hoja, de la separación entre éstas (profundidad de la cavidad), del relleno de la cavidad y en menor medida pero nada despreciable de las dimensiones del divisorio. En edificios reales depende, además, de los divisorios circundantes y de su modo de conexión a ellos.

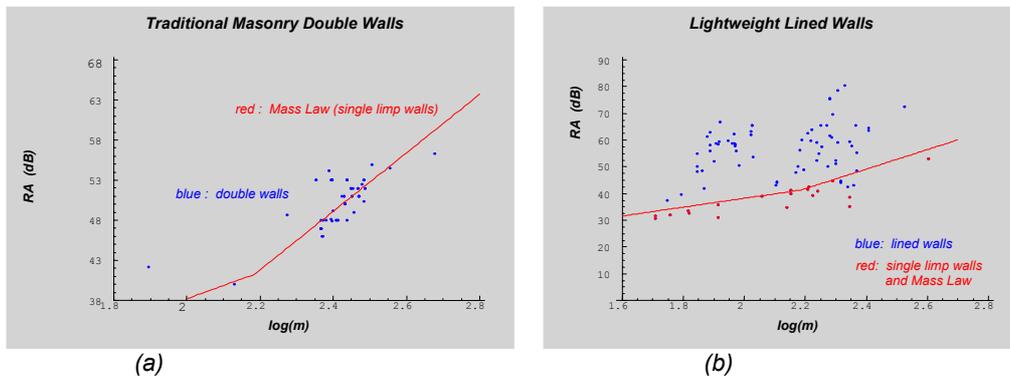


Figura 1. Aislamiento global R_A de divisorios de dos hojas. (a) albañilería tradicional; (b) una hoja de albañilería tradicional con un trasdosado ligero

Frente a los divisorios dobles de albañilería tradicional, Figura 1(a), los divisorios con trasdosados ligeros representan, para masas iguales o incluso bastante inferiores, cotas de aislamiento mayores, Figura 1(b). La gran disparidad de valores de aislamiento para valores semejantes de la masa muestra claramente la dependencia del aislamiento de múltiples factores como se ha indicada anteriormente.

El primer modelo teórico específico del comportamiento de trasdosados ligeros, que nos parece significativo, se debe a Heckl [4], [5] el cual, siguiendo su usual enfoque de utilidad en ingeniería y diseño, proporciona la mejora del aislamiento respecto a la ley de masa para paneles trasdosados fijados a la pared soporte mediante uniones por puntos o por líneas, en términos de magnitudes bien conocidas o fácilmente medibles de los elementos constitutivos. Encuentra las ecuaciones que siguen:

$$\Delta R_{p\text{oint}} = -10 \lg \left[\beta^2 \frac{8}{\pi^3} n'' \frac{c^2}{f_c^2} + \left(\frac{f_0}{f} \right)^4 \right] \quad (1)$$

$$\Delta R_{líne} = -10 \lg \left[0,64 n' \frac{c^2}{f_c^2} + \left(\frac{f_0}{f} \right)^4 \right] \quad (2)$$

β = factor de aislamiento a vibraciones del soporte flexible ($\beta=1$ para un soporte rígido)
 n'' = número de puntos de fijación por unidad de área (en m^{-2})
 n' = número de montantes por unidad de longitud (en m^{-1})

f_c = frecuencia crítica del trasdosado (en Hz)

$f_0 = 60/\sqrt{dm_2}$ frecuencia de resonancia del divisorio doble, (en Hz), (d-anchura de la cavidad)

Estas ecuaciones son válidas entre f_0 y f_c . y se supone además que $m_1 \gg m_2$. Queda claro también que la profundidad de la cavidad debe ser pequeña para que la resonancia asociada sea superior a la frecuencia crítica del trasdosado.

Comienza la mejora con una pendiente de 12 dB/octava hasta alcanzar asintóticamente un valor de meseta que depende del tipo de fijación del trasdosado y de f_c como único parámetro acústico del divisorio combinado. Con esta sencillez y dada la complejidad indicada del aislamiento de divisorios dobles, mas aún si se introducen absorbentes en la cavidad o se añaden elementos amortiguadores, no parece poder esperarse una gran precisión predictiva de estas ecuaciones, tal como se muestra en la Figura 2.

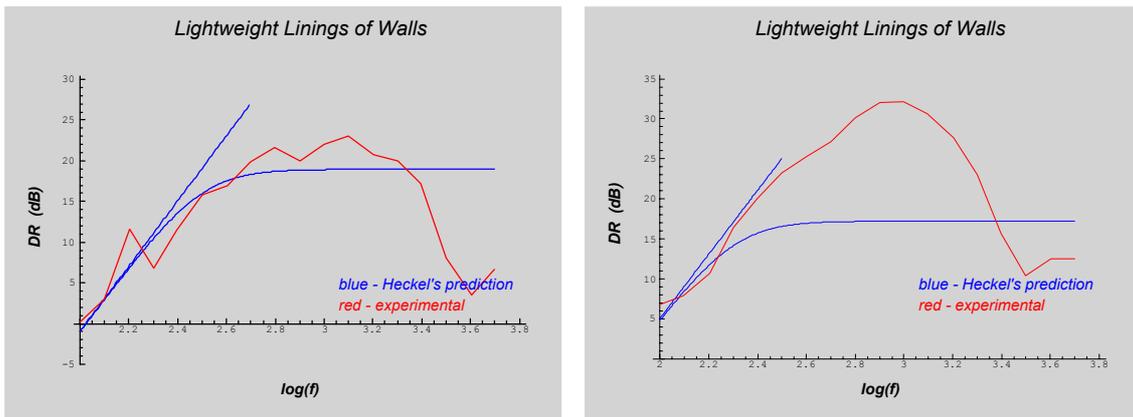


Figura 2. Incremento del aislamiento acústico de trasdosados ligeros sobre paredes de albañilería tradicional (140 Kg/m²). Izq.: YC (8 Kg/m²) unido por puntos y la cavidad (30mm) parcialmente ocupada por lana mineral; Dcha.: YC (10 Kg/m²) autoportante con la cavidad (50mm) parcialmente ocupada por lana mineral

Es necesario un modelo más complejo que permita conseguir una mejor concordancia entre la predicción y los resultados experimentales. Hay por tanto que recurrir a teorías mas elaboradas de la propagación acústica a través de divisorios dobles, que añadan mas características y peculiaridades constructivas y de montaje.

En una primera etapa hemos tomado el modelo de aislamiento de Sharp [6], [7], generalmente aceptado como buen predictor de resultados experimentales, que es de tipo descriptivo y como el anterior bastante adecuado al diseño, antes de recurrir a modelos computacionales de sistemas multicapa [8], [9], [10] más abstractos y por tanto menos adaptados al diseño. La Figura 3 esquematiza este método que distingue cuando la frecuencia límite de cavidad ($f_{cav}=c/2\pi d$) es inferior o superior a la frecuencia de puente (frecuencia a la que la transmisión a través del sistema elástico de anclaje del trasdosado es dominante).

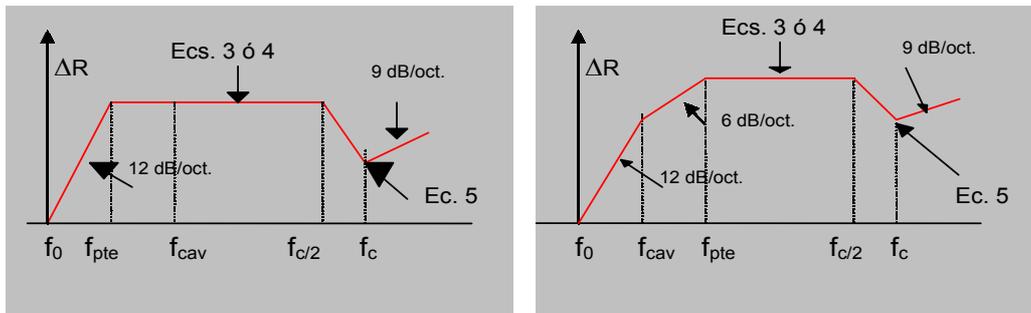


Figura 3. Esquemas operativos del método de Sharp: Izq.-para $f_{pte} < f_{cav}$; Dcha.-para $f_{cav} < f_{pte}$

Las rampas de inicio, a razón de 12 dB/octava, y las mesetas citadas en los esquemas anteriores, se pueden sustituir conjuntamente por las ecuaciones que siguen (adaptación de las inicialmente propuestas por Sharp):

$$\Delta R_{po\text{int}} = -10 \lg \left[(f_{c2} \cdot e \cdot (1 + 2X + X^2))^{-1} + \left(\frac{f_0}{f} \right)^4 \right] - 2 \quad (3)$$

$$X = \frac{77.7 \cdot m_2}{m_1 e \sqrt{f_{c1} f_{c2}}}$$

$$\Delta R_{line} = -10 \lg \left[\left\{ f_{c2} \cdot b \cdot \left(1 + \frac{m_2 \sqrt{f_{c1}}}{m_1 \sqrt{f_{c2}}} \right)^2 \right\}^{-1} + \left(\frac{f_0}{f} \right)^4 \right] \quad (4)$$

El valor de mejora del aislamiento en la frecuencia crítica de coincidencia del panel ligero ($f=f_{c2}$), se relaciona con el valor en $f= f_{c2}/2$ (es decir con el valor de la ecuación (3) o (4), según corresponda) mediante la ecuación:

$$\Delta R(f = f_{c2}) = \Delta R(f = f_{c2} / 2) + 6 + 10 \lg(\eta_2) \quad (5)$$

Según este modelo ΔR aumenta de nuevo a partir de esta frecuencia de coincidencia según un crecimiento lineal de 9 dB/octava.

Aplicado a nuestro segundo caso anterior (Figura 1b) obtenemos la Figura 4. La aproximación es muy razonable exceptuando la posición y cuantía de $\Delta R(f=f_c)$ en la frecuencia de coincidencia (ecuación (5)).

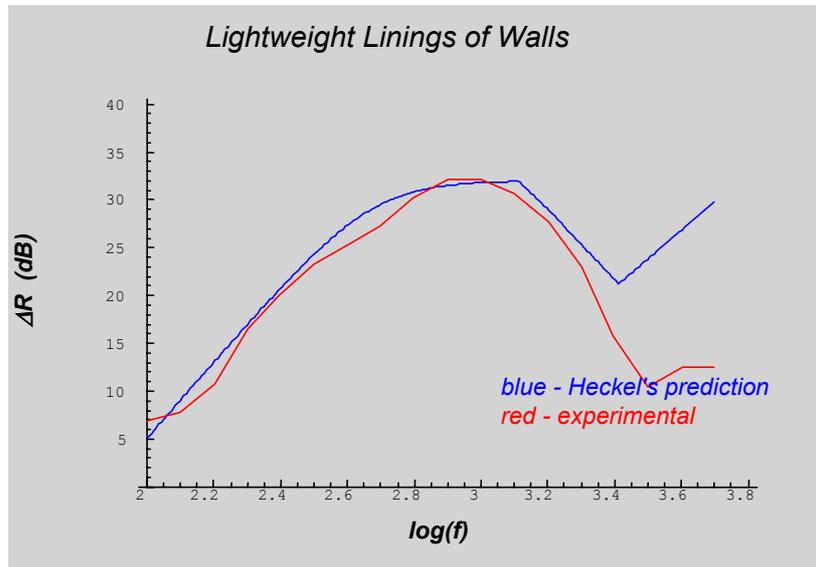


Figura 4. Incremento del aislamiento acústico de un trasdosado ligero de YC (10 kg/m^2), autoportante, sobre una pared de albañilería tradicional (140 kg/m^2). Comparación de la curva experimental y la predicción obtenida con el método de Sharp.

El modelo de Sharp, corresponde a uniones de 'compliance' nula. Para valores de la compliance diferentes de cero Davis [11] ha propuesto otro modelo, que aún en una presentación somera excede las disponibilidades de esta aportación.

Dupond [12], analizando comparativamente estos distintos modelos se muestra partidario de un modelo combinado de los modelos anteriores, que serían aptos en distintos tramos de frecuencia.

Estos modelos son sensibles a f_0 , f_c , η , y d , de la capa de trasdosado y en menor cuantía de la hoja portadora. Estamos realizando un estudio sistemático con el conjunto con los materiales habituales en el mercado para poder determinar con mejor criterio el grado de fiabilidad predictiva estos modelos y la conveniencia de optimizarlos así como evidenciar la influencia de la lana mineral de relleno y sus conexiones a las hojas portadora y de trasdosado.

VALORACION GLOBAL DE LA MEJORA DE AISLAMIENTO DE TRASDOSADOS LIGEROS.

Las reglamentaciones y códigos de control del ruido, principalmente en edificios, suelen usar valoraciones globales del aislamiento, primero por sencillez y segundo porque estas magnitudes globales han mostrado su eficacia en estas tareas de protección frente al ruido. Para divisorios de una hoja hay incluso modelos predictivos (de R_A por ejemplo[13] Moreno el otro trabajo de este congreso) de bastante precisión basados exclusivamente en la masa por metro cuadrado del divisorio.

Al pretender que ΔR , particularmente como magnitud global (por ejemplo ΔR_A) pueda ser una magnitud propia y característica del trasdosado junto con su carácter de término aditivo (aritméticamente) tal como aparece en la norma UNE EN 12354, no hay que olvidar la influencia de la hoja portadora a la que se aplica.

En los apartados anteriores hemos mostrado algunos aspectos de como esta hoja portadora influye el comportamiento de un trasdosado dado. En este apartado consideraremos la influencia aportada por la propia valoración global, que sin pérdida de generalidad focalizaremos en ΔR_A . Denominando Λ_A al operador que proporciona el valor global de una curva de aislamiento acústico dado por la serie de valores X_i , $i=1, 2, \dots, 18$, en los 18 tercios de octava de 100 a 5000 Hz, y análogamente $R_{ref,i}$ a la curva de referencia, el valor global de la mejora de aislamiento del trasdosado viene dado por

$$\Delta R_A = \Lambda_A(R_{ref,i} + \Delta R_i) - \Lambda_A(R_{ref,i}) \quad (6)$$

Como la valoración global Λ_A depende la forma de la curva a la que se aplica [14] el uso de una u otra curva de referencia cambia el valor global. Mediante un modelo de Monte-Carlo [15] hemos encontrado valores medios de unos 2 dB, y valores máximos algo superiores a 5 dB, tanto para ruido rosa como para ruido de tráfico, a favor de las valoraciones obtenidas usando la denominada **curva de referencia de frecuencia de coincidencia media** frente a la **curva de referencia de frecuencia de coincidencia baja** (pared de mayor masa) de la norma ISO/DIS 140-10-2003. Este hecho debe tenerse en cuenta en el proceso de diseño, dando la mejor aproximación el uso de la curva de referencia mas cercana al divisorio al que se vaya a aplicar el trasdosado. En todo caso el uso único de la curva de referencia de frecuencia de coincidencia baja da un mayor margen de garantía.

También se han obtenido para cada curva de referencia las bandas de mayor eficacia en el valor máximo de ΔR_A bastando unos siete tercios de octava para conseguir prácticamente este valor máximo. Se ha obtenido para un valor de mejora global dado una ecuación analítica de la forma espectral $\Delta R(f)$ de mayor rendimiento en función de la curva de referencia y del espectro del ruido incidente.

CONCLUSIONES

Presentamos algunos resultados de interés referentes a la mejoras del aislamiento acústico de trasdosados ligeros tanto en cuanto a sus curvas espectrales como el las valoraciones globales orientadas a una correcta caracterización de estos elementos constructivos.

El modelo predictivo de Heckl, pionero en el tema y primero que señala las posibilidades de considerar estos elementos constructivos como independientes con sus condicionantes fundamentales, y punto de partida de nuestro trabajo, proporciona ordenes de la mejora en el caso de carencia de lana mineral en la cavidad, pero es deficiente cuando la hay.

Para trasdosados ligeros con lana mineral en la cavidad, y conexiones de compliancia nula el modelo de Sharp, resulta bastante adecuado y marca bien la pendiente del comienzo y el valor de la meseta de la mejora mostrando limitaciones respecto al valor de mejora en la frecuencia de coincidencia. Incluye elementos interesantes de la pared portadora en la mejora de aislamiento que estamos usando para valorar los condicionantes que aporta a la caracterización del trasdosado como elemento autónomo. Para este modelo proponemos una modificación en la fórmulas predictivas fundamentada en las distintas vías de transmisión entre portadora y trasdosado que proporciona una mejora significativa en la predicción de las curvas experimentales.

Hemos mostrado la influencia no despreciable de las curvas de referencia en la valoración global de la mejora de aislamiento de trasdosados, siendo en promedio 2 dB superiores cuando se usa la curva de referencia de frecuencia de coincidencia media, respecto a la curva de frecuencia de coincidencia baja, pudiendo alcanzar valores tan importantes como 5 dB. Señalamos que estos aspectos, aditivos a la influencia de pared portadora deben ser tenidos en cuenta en el diseño y planificación de edificios para conseguir una protección frente al ruido adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. Gösele, Zur Bewertung der Schalldämmung von Bauteilen, *Acustica* 15, 1965, pp. 264-270.
- [2] Norma UNE EN 12354/1.
- [3] ISO/DIS 140-10, 2003.
- [4] M. Heckl, « Untersuchungen über die Luftschalldämmung von Doppelwänden mit Schallbrücken », *Proc. Intern. Congr. Acoust., 3d, Stuttgart, 1959, Vol. II*, Elsevier, 1961.
- [5] I. L. Vér et C. I. Holmer, « Improvement in Sound-transmission Loss Obtained by Adding a « Resilient Skin » to a Heavy Partition », L. L. Beranek, *Noise and Vibration Control*, McGraw-Hill, 1971.
- [6] B. H. Sharp, « A study of techniques to Increase the Sound Insulation of Building Elements », *Report WR 73-S, prepared for Department of Housing and Urban Development, Washington, DC, under contract H-1095*, Wyle Laboratories, 1973.
- [7] D. A. Bies et C. H. Hansen, « Double wall transmission loss », *Engineering Noise Control - Theory and Practice*, E & FN SPON, 1996.
- [8] A. Bermúdez et al, Programa predictivo de cálculo del aislamiento acústico de elementos multicapa, U. Santiago de Compostela, 2004.
- [9] J. António, A. Tadeu e L. Godinho, Analytical evaluation of the acoustic insulation provided by double infinite walls, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 263 (1), 2003, 113-129. ;
- J. Alba, Tesis doctoral, Valencia.
- [11] J. L. Davy, « Predicting the sound insulation of stud walls », *Proceedings of Internoise '91*, New Zealand Acoustical Society, 1998.
- [12] L. Dupont, « Etude en transmission acoustique du doublage léger d'une paroi », Memoria de Graduación, ENSIM, Le Mans, 2003 (Preparada en el Instituto de Acústica, CSIC, Madrid).;

[13] Antonio Moreno, Francisco Simón, Carlos de la Colina, M^a J. Fernández, 'Estudios preliminares sobre fundamentos teóricos de la ley de masa empírica para R_A ', Tecniacústica 2005, Tarrasa

[14] A. Moreno, Factors influencing global ratings for sound insulation: incident noise spectrum and shape of the transmission loss curve, Journal Sound Vib. (1984), **97**(2), 337-348

[15] , Moreno A., Colina C. de la, Simón F., Peña M. A , 'Reference Curves for Global Rating of Sound Insulation Improvement of Lightweight Partition Linings', 18th ICA Congress, Kioto 2004

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado dentro del Programa Nacional de Investigación PN 2004, Proyecto: BIA 2004-07 102-CO3-01.