



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A200

Predicción eficiente del aislamiento acústico de divisorios de ladrillo

Antonio Moreno ^(a),
Carlos de la Colina ^(b),
María J. de las Heras ^(c),
Francisco Simón ^(d),

Instituto de Acústica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, calle Serrano 144, 28006
Madrid, España.

E-mail: amoreno@ia.cetef.csic.es (Autor para correspondencia)

E-mail: ccolina@ia.cetef.csic.es

E-mail: casona64@yahoo.es

E-mail: iacsh18@ia.cetef.csic.es

Abstract

Spanish brick partitions of identical labelling frequently show important variations of sound insulation from one to another. On the other hand theoretical models give results differing from experimental measurements of these partitions. This paper assumes these differences to be due to constructive differences (brick pieces and arrangements, mortars and finishings). Based on 'the European model' [1] a predictive model of sound insulation including anisotropic partitions has been developed, that uses mechanoacoustic parameters (effective density, loss factor and velocity of longitudinal waves of partitions) as entering data. By means of this model highly accurate predictions of sound insulation expressed by the single number index R_A as well as by the sound reduction index $R(f)$ on frequency domain have been obtained. Groups of partitions, depending of brick pieces type are to be differentiated: hollow brick partitions, perforated brick partitions and thermic block partitions. Mechanoacoustic parameters for these groups have been determined.

Resumen

Los divisorios de ladrillo presentan un aislamiento acústico marcadamente variable aun correspondiendo a denominaciones genéricas idénticas. La aplicación de los modelos analíticos más en uso presentan discrepancias notables con los resultados experimentales. Partiendo de la hipótesis de que las variaciones de aislamiento se deben únicamente a características constructivas (piezas de ladrillo, morteros, enlucidos y aparejos principalmente) se completa un modelo predictivo a partir del incluido en la norma europea [1] dando cabida a un cierto grado de pérdida de isotropismo del divisorio. Por aplicación del mismo se han determinado ecuaciones aptas para predecir con gran precisión no solo el aislamiento global, R_A o R_w , sino también su forma en función de la frecuencia, $R(f)$, y los valores de los parámetros mecano-acústicos característicos (densidad eficaz, módulos elásticos y factor de pérdidas) que resultan ser función del tipo de piezas cerámicas constitutivas: ladrillos huecos, perforados, bloques y bloques térmicos.

1 Introducción y objetivos

Es un hecho bien conocido que los divisorios de mampuestos en general y muy particularmente los de ladrillos presentan un aislamiento acústico variable aun correspondiendo a denominaciones genéricas idénticas.

Tabla 1 Divisorios de igual denominación

Variabilidad de divisorios de ladrillo hueco para la misma denominación genérica. (Lab. Instituto de Acústica, CSIC)			
Tipo de divisorio	Masa (Kg/m ²)	R _A (dBA)	Descripción
LHS	67,3 77	32 31,7	tabique LHS_GF, 60 e10(2c) tabique LHS 36,5(YESO)+e.15(2c)
LHD a tabicón	51 58,5 64 149	30,6 32 30,6 39,5	tabique LHD_GF 70 + [- sin enlucidos] tabique LHD GF 70 + e.5(2c) tabique LHD_GF 70 [- sin enlucidos] tabique LHD 80 + e.15(2c) (escayola-perlita)
LHD a ½ pié	135 138 195	39.6 34.8 44.8	pared LHT_GF_110+e.15(2c) pared LHD 1/2pie + e.10(2c) pared LHD 110 + ec.15(2c)

La variación de aislamiento se debe a las variaciones mecano-acústicas resultantes de la contribución de todos los elementos implicados en la formación de un divisorio: tipología de ladrillos, variación de éstos dentro de cada tipo, variabilidad de morteros, tanto de distinta como de igual denominación, variabilidad de los guarnecidos, enfoscados y enlucidos y finalmente variabilidad constructiva en la formación del divisorio

El tema que aquí nos interesa no es la variabilidad del aislamiento acústico debido o atribuible al proceso de medición, (tanto en aspectos de repetibilidad cuando se consideran distintos laboratorios, como de reproducibilidad cuando se considera un solo laboratorio) aun cuando sea, como lo es, un problema de la máxima importancia. Nos interesa la caracterización técnica fiable debida a la variabilidad del producto en si mismo, y sobre todo en cuanto a su uso en diseño y en programas predictivos y de cumplimiento de requisitos en un determinado país, requisitos que usualmente se establecen para edificios terminados. Y nos interesan tanto las curvas espectrales de aislamiento como los valores globales: $R(f)$ y R_A , respectivamente.

Antecedentes teóricos y experimentales

1.1 Modelo clásico

De los numerosos modelos teóricos del aislamiento acústico derivados por otros tantos autores [2], [3], [4], elegimos uno híbrido bastante comúnmente aceptado. El comportamiento aislante de los divisorios se separa en tres zonas de frecuencia en relación con la frecuencia crítica:

$$a) f < f_c \quad R(0) = 20 \lg(mf) - 42 \text{ dB} \quad (1)$$

que es la bien conocida *ley de masa* para incidencia normal. Algunos autores [5], [6], prefieren la ecuación para campo difuso $R_d = R(0) - 10 \lg [0.23 R(0)]$ dB y otros, [7], la ecuación para incidencia de campo ($0-78^\circ$): $R_f = R(0) - 5$ dB.

Para divisorios separando dos salas de dimensiones (a, b) habituales aparecen las influencias del tamaño del divisorio, de las resonancias y del amortiguamiento de la muestra:

$$R = R(0) - 10 \lg (P_r + P_{nr}) \text{ dB} \quad (1b)$$

en donde la parte no resonante dada por $P_{nr} = (3/2) + \ln (2f / \Delta f)$, vale - 5.6 dB para bandas de 1/3 de octava y - 4 dB para bandas de octava; y la parte resonante viene dada por $P_r = \{ 4 c^2 (a^2 + b^2) / \pi^2 \eta (a^2 b^2) \} \cdot \{ (1 + (2f/f_c) + 3(f/f_c)^2) / (1/f_c \sqrt{f/f_c}) \}$ que aumenta al disminuir el área de la muestra y al aumentar el factor de pérdidas η . En casos prácticos de divisorios entre salas es mas importante (unos 3 - 6 dB) que para muestras soportadas en muros de gran tamaño (en teoría infinitos).

$$b) f > f_c \quad R = R(0) + 10 \lg ((f/f_c) - 1) + 10 \lg \eta - 44 \text{ dB} \quad (2)$$

con un incremento del aislamiento con la frecuencia a razón de 9 dB/octava, así como una influencia significativa del amortiguamiento η . Esta ecuación ha sido obtenida tanto para divisorios infinitos [2] como para una pared entre dos salas [3].

$$c) f \cong f_c \quad R = R(0) + 10 \lg (2 \eta / \pi) (\Delta f / f_c) \quad (3)$$

ecuación, que está controlada por el amortiguamiento, para una banda de frecuencia Δf , en torno a la frecuencia crítica, que cumpla $(\Delta f / f_c) > (\lambda_c / 2\pi a), (\lambda_c / 2\pi b)$.

Este modelo que expresa el aislamiento en función de magnitudes y parámetros mecano-acústicos, se adapta bien al diseño para conseguir curvas prefijadas de aislamiento acústico

1.2 Modelo europeo (norma (UNE) EN 12354

Es un modelo un tanto paralelo al anterior pero introduce el factor de radiación, σ , el factor de pérdidas totales, η_{tot} , que tiene en cuenta la contribución de los elementos constructivos conectados al divisorio de interés, y la ecuación del aislamiento a incidencia normal como elementos fundamentales de definición del aislamiento acústico. Haciendo uso de la relación habitual entre el factor de transmisión y el aislamiento, $R = -10 \lg \tau$, y en particular $R(0) = -10 \lg \tau(0)$, se resume en las ecuaciones siguientes:

$$a) f > f_c \quad \tau = \tau(0) ((\pi f_c \sigma^2) / 2f \eta_{tot}) \quad (4)$$

$$b) f \cong f_c \quad \tau = \tau(0) ((\pi \sigma^2) / 2 \eta_{tot}) \quad (5)$$

$$c) f < f_c \quad \tau = \tau(0) \{ 2\sigma_f + [(a+b)^2 / (a^2 + b^2)] (\sigma^2 / \eta_{tot}) (\sqrt{f_c / f}) \} \quad (6)$$

siendo σ_f el factor de radiación para excitación forzada [4], (a, b lados del divisorio) y el significado ya indicado para los restantes símbolos.

Usa para el factor de radiación una variante del modelo de factor medio de Maidanik, [8], y deja abierto el uso de otras expresiones más recientes [9], [10]. Incluye también el efecto del espesor de la pared para frecuencias mayores que la frecuencia crítica [11], [12].

1.3 Valoraciones globales: ley de masa para R_A

Desde el punto de vista de las reglamentaciones suele ser más útil establecer las exigencias en términos de valoraciones globales del aislamiento por la doble razón de simplificación de las tablas de valores límite y de incluir efectos y reacción de los humanos frente al ruido, caso de incluir $R_{A, \text{tipo de ruido}}$ [13], o equivalentemente $R_w + C_{\text{tipo, ruido}}$ [14].

Varios países europeos han obtenido ‘leyes de masa’ de R_A o R_w , para uso en sus reglamentaciones (Véase el Apéndice B de EN 12354-1). En España, desde 1981, se usa la definición contenida en las dos ecuaciones siguientes, actualizadas en el CTE:

$$m \leq 150 \text{ kg/m}^2 \quad R_A = 16,6 \log m + 5 \text{ dBA} \quad (7)$$

$$m \geq 150 \text{ kg/m}^2 \quad R_A = 36,5 \log m - 38,5 \text{ dBA} \quad (8)$$

en función de la masa por unidad de superficie m , en kg/m^2 , ecuaciones obtenidas por ajuste de los valores globales calculados según la ecuación

$$R_A = -10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_{rA,i} - R_i)/10} \quad (9)$$

a partir del aislamiento normalizado $R(f)$ (en la ecuación escrito en forma discreta para las distintas bandas de frecuencia señaladas con el índice i), de un amplio conjunto de divisorios ensayados en laboratorio, según la norma UNE EN ISO 140-3. Se han tomado valores del laboratorio del Instituto de Acústica, CSIC de Madrid, complementados con algunos valores de otros laboratorios de reconocido prestigio [15], [16], [17], para cubrir algunos ‘huecos’ en la serie inicial del IA.

La posición de la zona de coincidencia (particularmente la frecuencia crítica $f_c = c_o^2 / 1,8 c_L e$) en el intervalo de las frecuencias de interés (100-5000 Hz) y la cuantía del aislamiento en ella juegan un papel decisivo en los valores del índice global del aislamiento R_A (o bien en R_w):

- cuando está por encima de este intervalo domina la masa y las curvas $R(f)$ presentan pendientes en torno a 5 dB/octava;
- cuando está por debajo de este intervalo, domina el factor de pérdidas totales, y las curvas $R(f)$ presentan pendientes medias efectivas en torno a 10 dB/octava, (cuando, además, los divisorios son suficientemente gruesos la última parte de la curva $R(f)$ es decreciente);
- cuando está dentro del intervalo de frecuencias de interés es el elemento dominante en el valor global R_A (o R_w), pudiendo neutralizar en buena medida valores de aislamiento grandes en el resto del intervalo de frecuencia.

Para un material dado la variación del espesor ocasiona movimientos de la curva $R(f)$ tanto en cuantía (eje de ordenadas) como en la posición de la zona de coincidencia (eje de abscisas).

En el uso de este modelo, hemos programado dos variantes relativas a la cuantía del aislamiento en la frecuencia crítica: una conforme a la norma citada EN 12354/1, y otra conforme a [8]. En cuanto a la frecuencia también se han previsto dos variantes, una para tercios de octava y otra para ‘frecuencia continua’ (1000 puntos, equiespaciados, entre 100 Hz y 5000 Hz). Cuando se usa la aproximación de Maidanik las curvas obtenidas para las leyes de masa son continuas, apareciendo discontinuidades cuando se usa la aproximación EN. Las discontinuidades se acentúan algo cuando se pasa de frecuencia continua a tercios.

Se ha demostrado [18], que cada material (conformado en pared de una hoja homogénea) posee su propia ley de masa $R(m)_A$. Si no se limita en intervalo de masas considerado, todas estas leyes de masa responden a un mismo tipo de curva: al aumentar la masa presentan una primera zona prácticamente recta de pendiente en torno a 5 dB al duplicar la masa, la cual termina cuando el espesor hace que la frecuencia de coincidencia ‘entre’ por el extremo superior del intervalo de frecuencia. Al seguir aumentando la masa comienza una zona curva con disminución de R_A , primero y aumento progresivo después hasta un espesor para el cual $R(f)$, tiene ya la coincidencia en el extremo inferior del intervalo de frecuencia (usualmente 100 Hz) situación a la que sigue otro tramo prácticamente recto de pendiente del orden de 12 dB por duplicación de masa. Si todavía es posible aumentar mas la masa del material nos encontramos con una progresiva disminución de la pendiente de $R_A(m)$ que suele estabilizarse de nuevo en unos 6 dB por duplicación de la masa.

Las amplitudes de cada una de las zonas anteriores así como su posición en el rango de masas considerado puede variar, incluso fuertemente, de unos materiales a otros dependiendo de su densidad y velocidad de propagación c_i .

Para el caso de divisorios en placa conformados con material cerámico de ladrillos, con los valores comúnmente aceptados: $\rho = 1600 \text{ Kg/m}^3$, $c_i = 3100 \text{ m/s}$, $\eta = 0.01$ se obtiene para la ley de masa mediante este modelo la curva de la figura que sigue. También se han dibujado dos rectas con pendientes de unos 5 dB/octava y 12 dB/octava, para ilustrar los comentarios precedentes. En esta figura quedan fuera del intervalo de masa, hacia arriba, la parte curva con pendientes cero o negativas y por abajo la parte recta de pendiente en torno a 5 dB/octava.

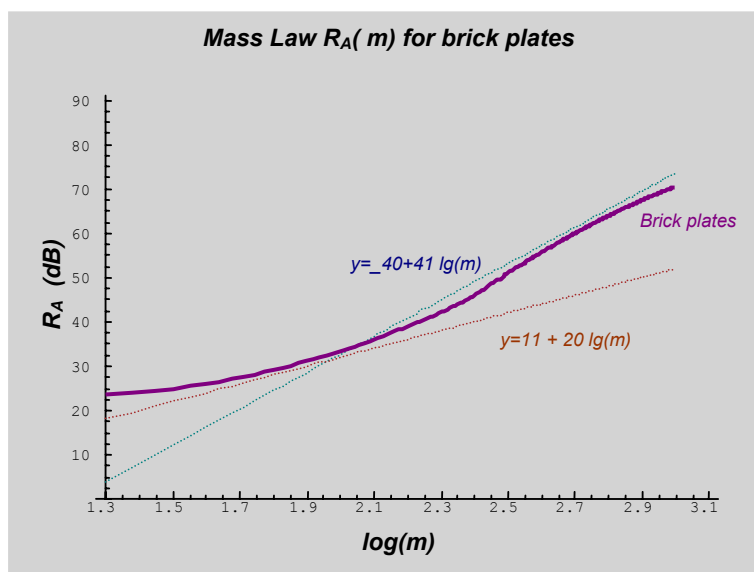


Figura 1. Ley de masa y asintotas para divisorios de ladrillo s/modelo europeo.

Los divisorios de ladrillo presentan grandes variaciones constructivas: distintas piezas de ladrillo, distintos morteros, distintos guarnecidos y enlucidos y distintos aparejos [19]. Todo ello hace que los valores anteriores de la densidad, velocidad de propagación de las ondas longitudinales y factor de pérdidas tomen valores diferentes, de un divisorio a otro que optimistamente se espera que se mantengan suficientemente reducidos. Otro factor reciente de dispersión pueden ser los montajes con bandas elástica perimetrales cada vez mas en uso [20].

En la práctica experimental es bien conocido que la frecuencia crítica, f_c si sitúa en frecuencias medias para tabiquería, en frecuencias bajas para paredes y por debajo de 100 Hz para muros de espesor suficiente [21].

Cuando se comparan las curvas $R(f)$ de divisorios de ladrillo calculadas con este método predictivo con las curvas experimentales la discrepancia puede ser importante: se admite comúnmente que los valores numéricos conducen a valores globales R_A unos 2 dB por debajo de los experimentales conforme a UNE EN ISO 140-3. La figura que sigue, correspondiente a un divisorio de ladrillo de 120 mm de espesor, podría descorazonar a más de algún acústico no necesariamente principiante. Estas discrepancias de forma refuerzan más la hipótesis de las variaciones de ρ , c_l y η respecto de los usados anteriormente. Las discrepancias entre valores numéricos de este métodos y experimentales se minimizan en materiales realmente isótropos.

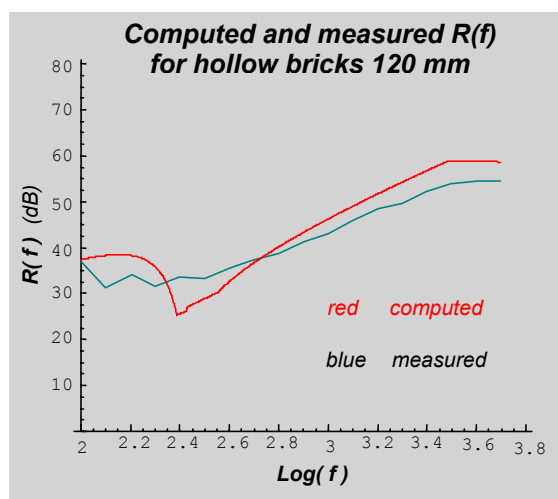


Figura 2. Curvas de aislamiento experimental y numérica para un divisorio

En este sentido resulta instructivo retomar la curva teórica $R_A(m)$ correspondiente a los valores $\rho = 1600 \text{ Kg/m}^3$, $c_l = 3100 \text{ m/s}$, $\eta = 0.01$, de una figura anterior y compararla con una serie de resultados experimentales, de calidad, distribuidos lo mas homogéneamente posible en un intervalo amplio de m . Se observa que hay una relativamente buena coincidencia excepto para $m < 240 \text{ Kg/m}^2$, en que los resultados experimentales quedan situados por encima de esta curva pero por debajo de la Ley de Masa general, ecuaciones (7) y (8). Figura 3.

En esta figura, cuyos puntos experimentales corresponden a divisorios de ladrillos huecos, de ladrillos perforados y de bloques de arcilla termoaislante (popularmente termoarcilla), se ha superpuesto en rojo el polinomio de mejor ajuste por mínimos cuadrados, de grado 7, y la ley de masa de un material de características $\rho = 800 \text{ Kg/m}^3$, $c_l = 1550 \text{ m/s}$, y $\eta = 0.03$ que aproxima muy bien el polinomio anterior. Parece que el problema está resuelto pero al aplicar estos valores para obtener las curvas $R(f)$ se comprueba que para cualquier valor de m , la aproximación entre las curvas calculadas y las experimentales es aún peor que antes.

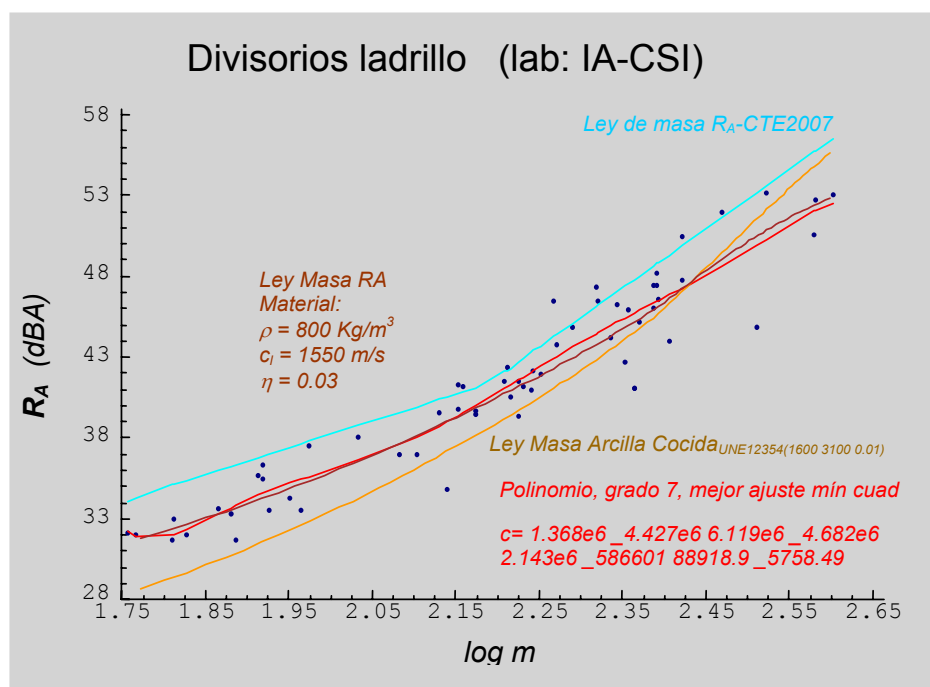


Figura 3. Comparación de resultados experimentales y numéricos para $R_A(m)$

2 Leyes de masa empíricas para algunas clases principales de divisorios de ladrillo

Si admitimos el modelo europeo de aislamiento acústico de divisorio isótropos de un hoja, la relación entre f_c y c_l ya indicada aquí con anterioridad, y la relación del aislamiento con en la zona de coincidencia, hemos obtenido para el conjunto de todas las curvas experimentales seleccionadas las secuencias de las magnitudes ρ , c_l y η . Se observa que forman grupos coherentes las secuencias correspondientes a divisorios de ladrillos huecos, a divisorios de ladrillos perforados y a bloques de termoarcilla. Los valores medios respectivos conducen a curvas numéricas $R_A(m)$ que aproximan bastante bien los valores experimentales correspondientes. Todavía hemos optimizado algo estos valores mediante comparación con los polinomios de grado 3 o 4, dependiendo del grupo, que por mínimos cuadrados dan la mejor aproximación de los valores experimentales. La tabla 2 resume los resultados.

La desviación típica de las predicciones es de 1,6 dBA en todos los grupos excepto en el de bloques térmicos si se consideran los dos tipos de montaje conjuntamente en cuyo caso el valor asciende a 3 dBA. En todos los casos estas dispersiones son válidas para divisorios con dos enlucidos, y los que con espesores superiores a 12 cm, de piezas machihembradas, llevan mortero en los machihembrados y enlucido en una cara.

Tabla 2 Parámetros mecano-acústicos por grupos de divisorios

Piezas constitutivas de los divisorios		Densidad ρ Kg/m ³	Velocidad c_l m/s	Factor de pérdidas η
Ladrillos huecos		1011	2200	0,03
Ladrillos perforados		1850	1800	0,09
Bloques térmicos	Llagas plenas	1060	1650	0,065
	Llagas en dos hiladas	1000	950	0,05

3 Modelo de aislamiento para divisorios no isótropos. Aplicación a divisorios de ladrillo

Pero usando las ternas del apartado anterior las curvas $R(f)$ numéricas, todavía no constituyen buenas aproximaciones de las curvas experimentales correspondientes.

Por ello y después de un nuevo análisis de la forma de las curvas experimentales desde un prisma fenomenológico, hasta ahora limitado a los divisorios de ladrillos huecos, se tienen indicaciones claras de que podrían presentar dos o más zonas de coincidencia, como si se tratase de divisorios como mínimo ortotrópicos [22].

Se ha construido un modelo numérico de este tipo a partir del ya reiteradamente citado modelo europeo y se ha verificado que todo coincide impresionantemente bien. Es más parece que incluso pueden aparecer hasta tres frecuencias críticas, en cuyo caso aumentaría aún más la coherencia entre los resultados experimentales y los numéricos. A título ilustrativo, la figura 4 presenta la comparación para tres valores de m , uno hacia el extremo inferior (número 2), otro hacia el centro (número 18) y otro hacia el extremo superior (número 37) de m para los citados divisorios de ladrillos huecos. También se ha incluido el número 32, que corresponde al mismo caso presentado con anterioridad, en la Figura 2.

Se observa una excelente coincidencia de las curvas numéricas y experimentales. No obstante hemos observado en la mayoría de los casos la presencia de una tercera frecuencia crítica por lo que por el momento no pospondremos el estudio de la estadística de las magnitudes ρ , c_l y η que proporcionan una buena aproximación de las curvas $R(f)$, y por ende de las leyes de masa respectivas para los distintos grupos de divisorios mencionados.

4 Conclusiones

El modelado numérico preciso del comportamiento acústico de los divisorios de ladrillos cerámicos requiere distinguir como mínimo tres grupos: divisorios de ladrillos huecos, divisorios de ladrillos perforados y divisorios de bloques térmicos.

El estudio comparado con el modelo europeo de aislamiento acústico de divisorios de una hoja en placa homogénea permite encontrar valores de ρ , c_l , η para cada uno de estos grupos que conduce a buenas aproximaciones del índice global de aislamiento acústico R_A que se pueden simplificar en polinomios de grado 1, en función exclusiva de la masa por metro cuadrado, m , del divisorio, más propiamente en función de $\lg(m)$. Estas aproximaciones constituyen sus leyes de masa particulares, más precisas que la ley de masa general de R_A para materiales en placa independientemente del país que se considere.

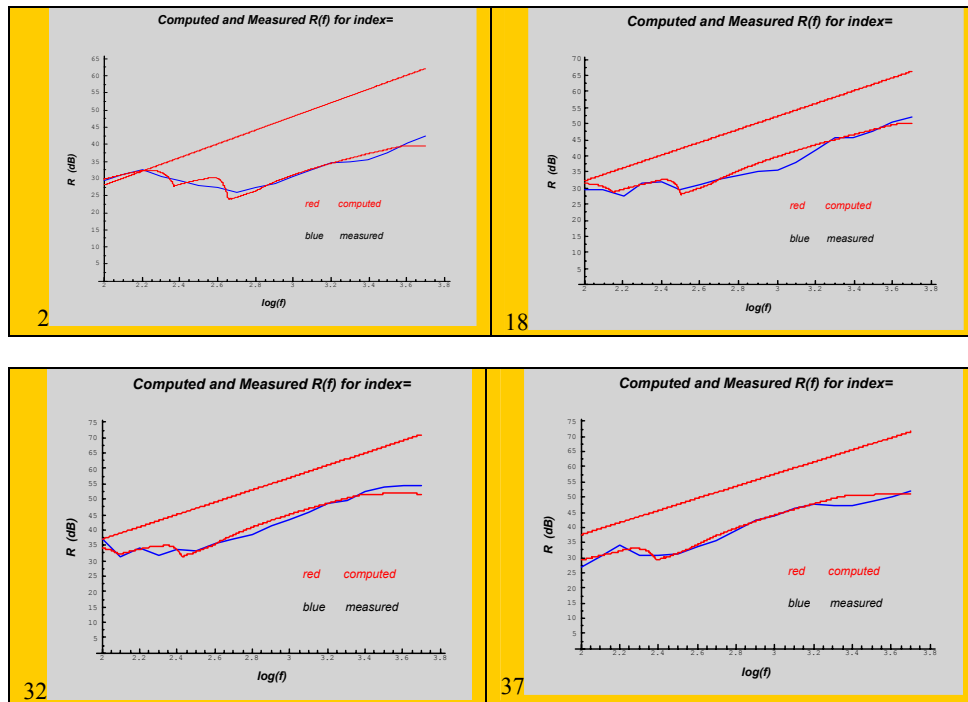


Figura 4. Comparación de resultados experimentales y numéricos de $R(f)$ para varios divisorio de ladrillos huecos.

Cuando se necesita conocer el detalle de las curvas de aislamiento en función de la frecuencia, el método europeo, constituye una aproximación bastante deficiente. La incorporación de característica de anisotropía permite desarrollar modelos basados en el modelo europea que constituyen aproximaciones bastante precisas del índice de aislamiento acústico $R(f)$.

La incorporación de estos modelos al modelo europeo repredicción del aislamiento acústico en edificios terminados a partir de sus elementos componentes, aparte de una mayor precisión le dota de una gran agilidad operativa de particular interés en diseño y optimización, ya que permite 'variaciones' continuas de la masa.

Agradecimientos

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

Referencias

- [1] UNE EN 12354: 2003, “Acústica de edificios. Estimación de las propiedades de los edificios a partir de las propiedades de sus elementos”
- [2] Cremer, L., (1942), “Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall”, Akust. Zeitschrift (7), 81-104
- [3] Josse, R. ; Lamure, J., (1964), “Transmission du son par une paroi simple”, Acustica (14), 266-280
- [4] Sewell, E. C., (1970), “Transmission of reverberant sound through a single-leaf partition surrounded by an infinite rigid baffle”, Journal of Sound and Vibration (12), 21-32
- [5] Quirt, J. D., (1982), “Sound transmission through windows. Single and double glazing”, JASA (72), 3, 834-844
- [6] Pierce, A. D.,(1981), “Acoustics: An introduction to its physical principles and applications”, McGraw-Hill, new York
- [7] Fahy, F., (1985), “Sound and Structural Vibration”, Academic Press, London
- [8] Maidanik G., (1962), “Response of ribbed panels to reverberant acoustic fields”, JASA (34), 809-826
- [9] Novac, R. A., (1995) “Radiation from partially excited plates”, Acta Acustica (3), 461-567
- [10] Anderson, J.; Bratos-Anderson, M., (2005), “Radiation efficiency of rectangular orthotropic plates”, Acustica united Acta Acustica (91), 1, 61-76
- [11] Gerretsen, E.,(1979) Calculation of sound transmission between dwellings by partitions and flanking structures, Applied Acoustics, 12 , 413-433;
- [12] Ljunggren, S., (1991), “Airborne sound insulation of thick walls”, JASA 89, 2338-2345
- [13] Moreno, A.; Colina, C., (1994), “Single number ratings for airborne sound insulation. Psychoacoustic foundations, analysis and new definitions”, Current Topics in Acoust. Res. (1), 591-600
- [14] Moreno, A., (1987), “The dependence of R_w on the shape of the transmission loss curve. Towards a definitive understanding of the correlation between R_w and R_A ”, Journal Sound Vib. (117), 3, 543-553
- [15] R. Josse et al., Acoustique, REEF-Volume II; Publication du CSTB, 1982
- [16] Reports of the Building Research Establishment, Watford, UK;
- [17] J. Sadowski et al, “Noise protection in apartments” , Building Research Institute, Warsaw,.
- [18] Moreno, A.; Simón, F.; Colina, C.; Fernández, M^aJ., (2006), “Trasdosantes duros a la flexión de gran eficiencia acústica”, Revista de Acústica (37), 3-4, Núm Especial,
- [19] Fombella, R., (1986), “Estructuras de Ladrillo”, Ed. UNED y Fundación Escuela de la Edificación
- [20] Moreno, A. (2006), “Divisórios ligeros de ladrillo que superan las exigencias del CTE”, ponencia en I Congreso Nacional de Aislamiento Térmico y Acústico, Organiza: AECOR, Madrid
- [21] Josse, R., (1973), “Notions d’acoustique á l’usage des architectes, ingénieurs et urbanistes“, Ed. Eyrolles, Paris
- [22] Vèr, I. L.; and Holmer, C. I., (1971), Cap. 11 “Interaction of sound waves with solid structures”, en “Noise and Vibration Control”, (ed L. L. Beranek), 287-296, Ed. McGraw-Hill, New York