



productos

Desarrollo de un tabique acústico de madera

Ventajas Comparativas

RAMIRO. E. GARCÍA PEÑA

CONSTRUCTOR CIVIL

MAGÍSTER EN CONSTRUCCIÓN EN MADERA.

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO. AVDA. COLLAO 1202 CONCEPCIÓN CHILE. FONO: 261433. FAX: 041326139

E-MAIL: RAGARCIA@UBIOBIO.CL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN

CONCEPCIÓN, CHILE.

Resumen

El trabajo de tesis para optar al Magíster en Construcción en Madera, aborda el desarrollo de un tabique de madera con cavidad y propiedades acústicas mejoradas, el que se estudia específicamente en su comportamiento a la Aislación acústica, actuando sobre la base de ensayos acústicos de laboratorio a probetas representativas de Tabiques, para decidir las de mejor comportamiento.

Para llevar a cabo este estudio se construyeron cinco modelos de paneles de prueba, tomando como referencia el panel que dispone de la sola cavidad, el resto de los paneles se estudiaron en base a la disposición de diferentes elementos al interior de la cavidad. Se concluye finalmente con un análisis de las ventajas acústicas comparativas de estos modelos. Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Acústica del IDIEM de la Universidad de Chile y el estudio teórico con el apoyo de la Universidad de Nottingham en Inglaterra.

Abstract

Se presentan mediciones en laboratorio y análisis teórico de cinco probetas- paneles de madera de pino radiata con cavidad, para lo cual se cambia la disposición y tipos de materiales al interior de la cavidad. Se trabaja con una probeta patrón con la sola cavidad.

- 1 estructura de pino radiata de 45 x 90
- 2 fieltro de 15 lb corcheteado a estructura
- 3 plancha o.s.b fibra larga de 16 m.m
- 4 piezas de 20 x 45 para clavado de traslapo
- 5 traslapo rev. ext. 20x90
- 6 placa de yeso-carton 15 mm.

Fig. 1 Disposición de piezas para tabique A1, A2 , B1, B2 y C.

1 Introducción

Uno de los problemas presentes en las ciudades modernas es provocado por la contaminación acústica, la que va aparejada con el desarrollo tecnológico. Se genera, en consecuencia, un deterioro de la calidad de vida, que se traduce en efectos físicos o psicológicos o estrés de las personas. Se trata de analizar el comportamiento acústico de elementos constructivos de madera, en este caso tabiques, apoyado en el desarrollo experimental. La motivación de este trabajo obedece a la mala aislación acústica de nuestras construcciones de madera, cuya solución comienza por diseñar un tabique de madera, para aislar convenientemente la energía acústica. Nuestro país (Chile) presenta un déficit

Foto1 Probetas A1, A2, B1, B2 y C. Revestimiento por cara exterior.

de viviendas importante, las que requieren ser mejoradas en varios aspectos, siendo el de la física de la construcción uno de ellos, luego de lo cual mejora necesariamente la imagen de la madera aplicada a soluciones constructivas.

El propósito de este trabajo es el de desarrollar un tabique de madera, determinando sus ventajas acústicas comparativas como resultado de cambiar o retirar los materiales dispuestos en su interior, incluyendo la Aislación térmica del tabique y, en base a datos, comprobarlo con mediciones de laboratorio y teóricas.

2 Materiales y Métodos

El trabajo se resuelve de manera teórica y experimental, evitando la generación de reverberación en la cavidad. Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de acústica del IDIEM de la Universidad de Chile y el estudio teórico con el apoyo de la Universidad de Nottingham en Inglaterra. Se compararan los resultados de ambos métodos.



Foto 2. Probeta A1

Foto3. Probetas A1, A2, A3, A4 y C.

Foto 4. Probetas A1, A2, A3, A4 y C.

Foto 5. Probeta A2 con lana mineral y B1 con plancha de madera prensada.

Foto 6. Probeta C con dos plan-chas perforadas y aislante

Foto 7. Probeta B2 con madera mineral y B1. con plancha de prensada perforada y aislante.

Las probetas con cavidad sin disposición interior de material, se denominan probetas A1 (foto 2 y 4). Si se agrega lana mineral papel ambas caras en la cavidad, probetas A2 (foto5).

Introduciendo sólo una plancha de madera prensada perforada dentro de la cavidad, probetas B1 (foto 5). Si a esta se le agrega lana mineral, probetas B2 (foto 7). Dos planchas de madera prensada perforada más la aislación térmica al interior de la cavidad, probetas C1 (foto 6).

Con las disposiciones anotadas, más las planchas de yeso cartón, de chip de madera y piezas de traslapo de pino, se busca debilitar el paso del sonido a través de estos medios (Josse Robert. 1970), disponiendo una cámara de aire entre las planchas base OSB y la de yeso cartón más una minicavidad formada entre las planchas de madera aglomerada y el traslapo. En el tabique, los elementos de mayor espesor como el yeso cartón, madera aglomerada y traslapo, son aptos para absorber las longitudes de onda larga del sonido que lleguen a estos elementos en tanto las planchas de madera prensada perforada, absorberán las longitudes de onda largas y cortas por el área perforada. Las planchas permiten una absorción alta controlada, en este caso, por el número de huecos, actuando además mecánicamente como elemento flexible.

Los resultados de los ensayos de

laboratorio para 1000 Hz. resultan ser demasiado bajos, acercándose más a tabiques compactos que con cavidad del tipo de los ensayados.

Para la aplicación de las fórmulas teóricas para tabiques con cavidad se trabajó con rangos valóricos altos de absorción al interior de la cavidad. Se supuso ausencia de resonancia, por lo que los valores obtenidos de aislación acústica aparecen efectivamente altos.

Probetas - Paneles con cavidad

El modelo que se presenta se basa en el análisis de la energía estática (AES) a que son sometidos los paneles o Statical Energy Analysis (SEA). El doble muro consiste en el empleo de dos paneles separados a una distancia d , sin uniones mecánicas entre estos. El método de cálculo implica la aplicación de principios físicos involucrados en los modelos de Price y Crocker. El SEA emplea ciertas aproximaciones de modos dentro de cada banda de frecuencia. Aunque esta consideración no es siempre satisfactoria en las regiones de baja frecuencia, el método da razonables resultados.

Se construyeron las probetas con materiales de empleo habitual en construcción, las que se identificaron como **A1**, **A2**, **B1**, **B2** y **C**, para someterlos a ensayo de aislación acústica.

3 Análisis teórico del comportamiento acústico de los paneles

Se plantea un análisis previo al cálculo de aislación acústica, para cada panel, que se inicia con la aplicación de la ecuación (1). Para efectos de la ley de la masa e incidencia normal (Rodríguez Gabriel, 1980).

Se analiza el comportamiento global de los paneles, se consideró para ello el peso promedio de estos, e incidencia acústica normal para frecuencias determinadas. El peso por $m^2 = 48.47$ Kg. lo que se aproxima a 48.5 Kg.

$$N = 10 \log \left(1.54 \frac{(p \cdot f)^2}{10^6} \right) \text{ dB} \quad (\text{Eq.01})$$

Detalles constructivo de las probetas de madera ensayadas:

En el detalle que muestra la foto 1, se aprecia una cara de la probeta, la cual consta de traslapos de 20×90 clavado sobre piezas de 20×45 mm sobre la plancha de fibra OSB de 16 mm y a su vez queda dispuesta sobre fieltro corcheteado a la estructura de 45×90 . Esta disposición es igual para todos los paneles de madera de pino.

En la siguiente foto (2) se aprecia la otra cara de la probeta, dispuesta para colocar placa de yeso-cartón de



1000 Hz.

Gráfico 1. Resultados de ensayos de laboratorio

16 mm. sobre el fieltro, el cual va corcheteado a la estructura de la probeta. La placa de yeso-cartón va atomillada sobre la estructura. La foto anterior y esta, muestran la cara revestida y por revestir de la probeta denominada A1 (Foto 2) o probeta de referencia.

La foto 3 muestra probetas revestidas con planchas de O.S.B de 16 mm. La foto 4 muestra un panel revestido con plancha de fibra larga O.S.B y marco de 20 x 45. Al interior el fieltro corcheteado.

Aislación acústica de las probetas ensayadas

Ensayos acústicos de laboratorio para los paneles diseñados en el proyecto, se obtuvieron los siguientes resultados (Gráfico 1):

Dado que los ensayos de aislación acústica se efectúan separadamente a cada una de las probetas de 0.17 x 0.42 x 1.63 m. en incidencia acústica normal, para efectos del análisis teórico se supone las probetas compactas, manteniendo la incidencia acústica normal. Los resultados de aislación acústica de laboratorio se diferencian poco de los teóricos, debiendo ser mayores los resultados para paneles con cavidad (gráfico 2).

Esta influencia se considera tomando un valor para $a_0 = 0.4$, para las otras frecuencias se mantiene lo calculado para el panel B1 (Foto5).

Este panel solo se diferencia del A1 por la disposición al centro de la cavidad, de una plancha de madera prensada perforada de 3 mm. Se estima que su influencia en la aislación acústica tiene lugar para la frecuencia de resonancia, determinándose un valor de 258 calculado para el panel A1 (Foto 2 y 4).

Gráfico .2 Presentación gráfica de resultados teóricos aplicando fórmula de la ley de la masa a paneles con cavidad.

Rnr = Pérdidas de transmisión acústica sin resonancia en paneles con cavidad.

l1,l2 = largo y ancho de la probeta

d = ancho de la cavidad

m = masa por unidad de área y f frecuencia considerada.

$f \times m2 = 125 \times 14$ (con f 125 cps y m = 14 kg por m²) $R_o = 20 \log f \times m - 42$ (dB). (Eq. 3)

$f \times m2 = 1750$ $R_o = 20 \log 1750 - 42$

$R_o = 22.86$

$R_{rand} = R_o + 10 \log(0.23 \times R_o)$ (dB). (Eq. 4).

Tabla 1 Resultados numéricos parciales para el panel A1. considerando su cavidad.

Panel	Frecuencia	f · m2	f · m4	Ro(m2)	Ro (m4)	Rrand2	Rrand4	Rnr
A1	125	1750	2693.8	22.86	26.60	29.96	34.47	45.30
	250	3500	5387.5	28.88	32.63	37.10	41.38	56.18
	500	7000	10775	34.90	38.65	43.95	48.14	66.94
	1000	14000	21550	40.92	44.67	50.66	54.78	77.28
	2000	28000	43100	46.94	50.69	57.27	61.36	87.47
	4000	56000	86200	52.96	56.71	63.82	67.86	97.52

Para el cálculo del panel A2 (foto 5, Fig. 2), se consideran los siguientes valores para a_0 . Con la frecuencia de 125 se asume un valor igual a 0.05 y para 250 y mayores, 0.1.

Tabla 2. Resultados numéricos parciales para el panel A2. considerando su cavidad.

Panel	Frecuencia	f · m2	f · m4	Ro(m2)	Ro (m4)	Rrand2	Rrand4	Rnr
A2	125	1750	2693.8	22.86	26.60	29.96	34.47	62.34
	250	3500	5387.5	28.88	32.63	37.10	41.38	76.34
	500	7000	10775	34.90	38.65	43.95	48.14	86.94
	1000	14000	21550	40.92	44.67	50.66	54.78	97.28
	2000	28000	43100	46.94	50.69	57.27	61.36	104.47
	4000	56000	86200	52.96	56.71	63.82	67.86	117.43

Tabla 3. Resultados numéricos parciales para el panel B1. considerando su cavidad.

Panel	Frecuencia	f · m2	f · m4	Ro(m2)	Ro (m4)	Rrand2	Rrand4	Rnr
B1	125	3500	5387.5	22.86	26.60	29.96	34.47	45.30
	250	3500	5387.5	28.88	32.63	37.10	41.38	82.14
	500	7000	10775	34.90	38.65	43.95	48.14	66.94
	1000	14000	21550	40.92	44.67	50.66	54.78	77.28
	2000	28000	43100	46.94	50.69	57.27	61.36	87.47
	4000	56000	86200	52.96	56.71	63.82	67.86	97.52

Consideraciones para el cálculo de la probeta B2

Apegado a la plancha de yeso-cartón se coloca la lana mineral y por la otra cara de esta una plancha de madera prensada perforada. La plancha perforada cumple una función secundaria en términos de absorción acústica, no obstante, en conjunto la absorción acústica mejoraría en relación al probeta A2 (Foto 5 y Fig.2).

Los valores de α_o adoptados son: para f 125 = 0.15, para f 250 = 0.25, para f 500 = 0.30 para f 1000 = 0.35, para f 2000 = 0.30 y para f 4000 = 0.2

Resulta difícil asignar valores de absorción estimativos para la cavidad del panel C1 (Foto 6 y Fig.3), dado que los campos direccionales de las ondas al interior de la cavidad y el comportamiento conjunto de ambas planchas perforadas alejan las posibilidades de una determinación teórica satisfactoria. Basado en lo anterior no se hará un cálculo teórico para el panel denominado C1.

A continuación se presenta un gráfico resumen de los resultados teóricos obtenidos, para probetas con cavidades.

Se considera una cavidad en los cálculos del presente estudio.

4 Análisis de resultados y conclusiones

La tabla 1 muestra los resultados para los paneles con cavidad supuestamente compactos, de manera de conocer su comportamiento, aplicando la ley de la masa.

Si observamos los resultados para paneles con cavidad y a la frecuencia de 1000 Hz de laboratorio, son valores muy parecidos a los obtenidos con la ecuación 1 para probetas compactas, lo cual no debería ser, sino por el contrario, debió obtenerse resultados de laboratorio mayores para probetas con cavidad.

La tabla 2 muestra los resultados teóricos para paneles con cavidad. Los resultados de aislación se observan altos, dado que se obtuvieron para los mayores rangos de absorción para cada frecuencia al interior de la cavidad y condiciones óptimas de amortiguación del sonido, lo cual se

Gráfico 3 curvas de comportamiento acústico de paneles con cavidad.

Tabla 4. Resultados numéricos parciales para el panel probeta B2, considerando su cavidad.

Panel	Frecuencia	$f \cdot m^2$	$f \cdot m^4$	$R_o(m^2)$	$R_o(m^4)$	R_{rand2}	R_{rand4}	R_{nr}
B2	125	1750	2693.8	22.86	26.60	29.96	34.47	67.33
	250	3500	5387.5	28.88	32.63	37.10	41.38	80.32
	500	7000	10775	34.90	38.65	43.95	48.14	91.71
	1000	14000	21550	40.92	44.67	50.66	54.78	102.72
	2000	28000	43100	46.94	50.69	57.27	61.36	112.24
	4000	56000	86200	52.96	56.71	63.82	67.86	120.53

Tabla 5. Resultados finales en decibeles con cavidad supuestamente compactos.

Kg/m^2	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
A1	43.82	16.70	22.26	28.70	34.70	40.72
A2	46.28	17.17	23.20	29.22	35.20	41.26
B1	45.69	17.10	23.10	29.10	35.10	41.10
B2	48.47	17.50	23.60	29.60	35.60	41.60
C1	49.78	17.75	23.77	29.79	35.80	41.80

Tabla 6. Resultados teóricos finales en decibeles, para probetas con cavidad.

Kg/m^2	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
A1	43.82	45.30	56.18	66.94	77.28	87.47
A2	46.28	62.34	76.34	86.94	97.28	107.47
B1	45.69	45.30	82.14	66.94	77.28	87.47
B2	48.47	67.33	80.32	91.71	102.72	112.24
C1	-	-	-	-	-	-

Tabla 7. Resultados finales de Laboratorio en decibeles:

Probeta	Masa por probeta de 1.63 x 0.42 m. (Kg)	Aislación Acústica dB (A)	Clase de transmisión Sonora dB
A1	30.1	30	30
A2	31.7	32	33
B1	31.3	33	33
B2	33.2	35	36
C1	34.1	37	38



productos

puede observar en el cálculo. Las fórmulas teóricas se aplican incorporando variables por tanteos, para valores de "a" elevados. Los resultados son altos, en tanto las diferencias calculadas a partir de 125 Hz. y la comparación entre paneles son perfectamente válidos.

En la tabla similar 2 se presenta un resumen de los cálculos de pérdidas de transmisión acústica teóricas en dB, determinados en base a cálculos teóricos para paneles con cavidad. (Eq.2). No se consideró el panel C (Foto 6), dado que la ponderación de las variables de las cuales depende el cálculo resultan demasiado aleatorias y difíciles de estimar para obtener resultados confiables.

En los valores dados en la tabla 6 se aprecia una aislación mínima para las bajas frecuencias con resultados más cercanos al comportamiento determinado en otras investigaciones para paneles dobles con cavidad. En relación con los resultados obtenidos en laboratorio, practicados a las probetas (de 1.63 m de alto por .42 m de ancho y 0.17 m. de espesor), se obtuvo:

La aislación acústica está directamente relacionada con la masa de las probetas, expresada en función de su densidad superficial y en este caso, si observamos la disposición de diferentes materiales en su interior, tienen una baja incidencia en el peso total de estas, no obstante es importante su análisis. Se tomará como referencia la probeta A1 (Fotos 2 y 4) que no tiene ningún material dispuesto en su cámara de aire y aísla 30 dB.

La probeta A2 (Foto 5 y Fig.2), resulta de agregar aislante de lana mineral de 40 mm. a la probeta A1 (Fotos 2 y 4), resultando un incremento en peso de 1.6 Kg. Para este incremento y calculando la aislación para 1000 Hz. solo aumentan en 0.5 dB. y de acuerdo al ensayo de laboratorio ganamos 2 dB. Lo anterior significa que una parte de la energía incidente es debilitada al interior de la cámara y difundida a través de la lana mineral, dado su espesor y densidad.

En el caso de la probeta B1 (Foto 5) que dispone solo de una plancha prensada perforada en su interior, lo

que incrementa 1.2 Kg. su peso con respecto a A1, ganamos para 1000 Hz 0.4 decibeles según cálculo teórico y 3 dB según ensayo de laboratorio. Análogamente se gana 0.5 decibeles de aislación de A2 (Foto 5 y Fig.2), con respecto de A1 (Fotos 2 y 4), lo cual corresponde a la diferencia de peso que es poco mayor para A2 (Foto 5 y Fig.2), no aportando la plancha de 3 mm. perforada a una mejor aislación para esta frecuencia por efectos de una reflexión parcial del sonido o de elemento disipador de energía. En cambio se ganan 1.6 dB de acuerdo a medición en laboratorio. La probeta B2 (Foto 1 y 7) la cual incluye aislante y una plancha de madera prensada perforada. El incremento de peso de esta probeta es de 3.1 kg. y de acuerdo al ensayo de laboratorio se tiene un aumento de 5 dB con respecto a la probeta A1 (Fotos 2 y 4). Para el cálculo teórico solo se aumenta la aislación en aproximadamente 0.9 dB. Un aumento de 6 dB se podría lograr doblando la masa de la probeta A1 (Fotos 2 y 4), esto es de 30.1 kg. a 60.2 kg por lo que resulta una ganancia importante para esta probeta B2 (Foto 1 y 7). En esta probeta se tendría un efecto de difusión por el aislante térmico, aumentando por la disposición de la plancha de choguan perforado, dispuesto delante de la aislación térmica. Lo anterior no se encuentra en el cálculo teórico dado que solo considera el aumento de peso y no el efecto de las cavidades. La solución para la probeta C (Foto 6), aumentó en 4 kg. su peso, siendo la aislación acústica mayor en 7 dB con relación a la probeta A1, lo cual también es comparable al valor que sería de esperar si se doblara la masa de la probeta A1 (Fotos 2 y 4). Sin embargo, el cálculo teórico solo nos muestra un incremento de 1.1 dB. Finalmente, se puede inferir que hubo aspectos relacionados con el sello en el perímetro de las probetas, empleado para instalarlas en el muro de mediciones. El área de las probetas demasiado pequeñas en relación con los 12 m² de muro en el cual se instalaron y el espesor de 350 mm. del muro, alto en relación al de las probetas. Variables como las anotadas, se estima pudieron haber ocasionado algún grado de distorsión en los resultados obtenidos

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A. Brekke. 1981 "Calculation methods for the transmission loss of Single, Double and Triple Partitions". Applied Acoustics. Volumen 14, pp 225-240.
- A.J. Price y M.J. Crocker, 1970 Sound transmission through double panel using statistical energy analysis. Journal of sound and vibration 47 (3) pp 683-93.
- Bruel Per V. 1975, "Noise, Do We Measure It Correctly", Bruel and Kjaer, Naerum, Denmark.
- Carranza Jorge A. 1980. Métodos del Nivel Sonoro y Loudness Para Ruido Estacionario", Publicación Departamento de Ingeniería Eléctrica-Universidad de Concepción Chile
- Draft ISO Recommendation N° 2204 "Guide to the measurement of Acoustical Noise and Evaluation of its Effects on Man", International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization, 1999. Assessment of Occupational exposure for hearing conservation Purposes.
- Josse Robert. 1970 "Aislación Acústica en Edificios".
- Magrab B.E, 1975 "Environmental Noise Control", John Wiley and Sons., N. Y.
- OSHA Regulation., "Threshold Limit Values for Noise and occupational Noise Exposure", OSHA (Occupational Safety and Health Act) 19.10.95.
- Parkin P.H. Third Edition 1969. Senior Principal Scientific Officer Building Research Station, Ministry of Public Building and Works and H.R. Humphreys Consultant Architect. "Acoustic" Noise And Buildings.
- Rodríguez J. Gabriel, 1980. Publicación en primer congreso nacional de la construcción, Instituto Profesional de Valdivia, Valdivia Chile **A**