

MEZA MARÍN, LEONARDO G.; RECUERO LÓPEZ, MANUEL

Modelo Simplificado de Valoración de Aislamiento Acústico de Viviendas Frente a
Ruido Exterior

Revista de la Construcción, vol. 6, núm. 2, 2007, pp. 16-25

Pontificia Universidad Católica de Chile

Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=127619405002>



Revista de la Construcción

ISSN (Versión impresa): 0717-7925

mandradg@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile

Chile

¿Cómo citar?

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista

Simplified Model for
Acoustics Insulation to
Outdoors Noise in Dwellings

Modelo Simplificado de Valoración de Aislamiento Acústico de Viviendas Frente a Ruido Exterior



Autores

LEONARDO G. MEZA MARÍN

Doctor en Ingeniería Acústica, Universidad Politécnica de Madrid.
Académico Escuela de Construcción Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile
email: lmezam@uc.cl

MANUEL RECUERO LÓPEZ

Doctor en Ciencias Físicas, Universidad Autónoma de Madrid.
Grupo de Investigación en Instrumentación y Acústica Aplicada (I2A2).
Universidad Politécnica de Madrid. INSIA - Campus Sur UPM.
Ctra. Valencia km. 7, 28031 – Madrid, España
email: manuel.recuero@upm.es

Fecha de recepción 27/08/07

Fecha de aceptación 21/09/07

Resumen

En los últimos años se ha comenzado a incluir en la legislación internacional de construcción de viviendas la exigencia de requisitos mínimos de aislamiento acústico, los cuales en algunos casos se basan en la utilización de soluciones constructivas aprobadas previamente por la autoridad correspondiente [1,2] o se exige el cumplimiento de las disposiciones legislativas mediante la realización de ensayos en las viviendas cuando se ha terminado la construcción [2,3]. Este camino obviamente es el más preciso para cuantificar el aislamiento acústico de una vivienda nueva, pero la realización de ensayos *in situ* tiene un alto costo que repercute en el comprador de la vivienda.

En este trabajo se presenta un procedimiento simplificado de medición del

aislamiento acústico de viviendas a ruido exterior, el cual cumple con un estándar de precisión de ingeniería que se ha generado a partir de 400 ensayos de acuerdo a la normativa de medida ISO 140 [4,5] realizados en viviendas tanto unifamiliares como colectivas, lo que permite simplificar los ensayos con un alto grado de precisión en sus resultados.

El método considera una estimación de la absorción sonora del recinto a partir del volumen y de su destino, y la determinación del número de puntos de medida necesarios para caracterizar adecuadamente el ambiente sonoro interior, con la precisión que se desee, obtenido a partir de un análisis de varianza del nivel sonoro según el volumen del recinto.

Palabras clave: acústica, aislamiento, viviendas.

Abstract

During the last years, the demand of sound insulation basic requirements has been included in the international legislation of house construction. This requirements are in some cases, based on the utilization of constructive solutions previously approved by the corresponding authority [1, 2] and in other cases the fulfillment of the legislative provisions are demanded by testing the dwellings when the construction is finished [2, 3]. This is the most suitable way in order to quantify more accurately the sound insulation of a new dwelling, but doing this test in-situ has an elevated cost that affects on the dwelling buyer.

In this paper a simplified measurement method of dwellings sound insulation

on exterior noise is presented, which fulfill an engineering precision standard, that has been generated from 400 tests in accordance with the measurement regulation ISO 140 [4, 5] made on both collective and single-family dwellings, which allows to simplify the tests with a high level of precision in its results.

This method considers an estimation of the precinct's sound absorption from the volume and its destination, and the determination of the number of points of measurements needed to characterize the indoor sound environment, with the desired precision, obtained from a sound level variance analysis according to the volume of the precinct.

Key words: acoustics, insulation, dwellings.

1. Número de puntos de medida necesarios para la caracterización del nivel sonoro en los recintos

El campo sonoro en el interior de un recinto varía entre un punto y otro debido, por una parte, a la reflexión y absorción que se produce en paredes y elementos que se encuentran en su interior, y por otra, a la forma geométrica del recinto [6]. Debido a esto, para su caracterización es necesario realizar un muestreo del nivel sonoro en el espacio mediante diferentes posiciones de micrófono fijo o realizando un recorrido por el espacio con un micrófono móvil.

La cantidad de puntos de medida necesaria con micrófono fijo, para caracterizar el nivel sonoro en el interior de los recintos, varía según la metodología de ensayo utilizada, conforme a diferentes métodos normalizados. Así encontramos que la norma francesa AFNOR [7] define que el muestreo se debe llevar a cabo con un solo punto de medida. En la normativa ISO de ensayos acústicos de la serie 140 [4,5] define que se debe caracterizar el sonido en base a cinco puntos de medida con micrófono fijo, y la normativa ASTM [8,9] indica que se deben realizar 6 medidas de nivel sonoro en cada recinto.

En aquellos ensayos que se utiliza la opción de micrófono móvil se realiza el promediado espacial y temporal mediante un barrido que abarca el mayor espacio posible del recinto en estudio, pero este es un instrumental de poco uso por su elevado costo y su utilización se ha restringido a ensayos de laboratorio [4,5].

En este estudio se analiza la medida del nivel sonoro en recintos, en función de su volumen, así como la dispersión existente entre medidas y la calidad de la medida según el número de puntos utilizados para realizar el ensayo de modo de identificar el número adecuado de puntos de medida que garantice la calidad de los resultados según la precisión requerida. Se presenta la dispersión obtenida en cada banda de frecuencias en ensayos *in situ* realizados con 10 puntos de medida. Por otra parte se analiza la aceptación de ensayos con menor número de puntos de medida en base a criterios estadísticos.

1.1 Medidas realizadas

Para llevar a cabo este trabajo se realizó una campaña de medidas de nivel sonoro en salones y dormitorios de viviendas unifamiliares y edificios, donde se registraron 10 medidas de nivel sonoro en cada uno de los recintos. Se definieron intervalos de volumen de 10 m³ cubriendo el rango de 10 m³ a 110 m³ y se trabajó con 10 ensayos por cada uno de los rangos, con un total de 100 ensayos realizados. De esta manera, se asume que quedan representados la gran mayoría de dormitorios y salones de diseño arquitectónico tradicional.

Las medidas fueron realizadas conforme a las disposiciones de la norma internacional UNE-EN ISO 140 partes 4 y 5 de ensayos *in situ* [4,5], las cuales señalan que se debe realizar al menos 5 medidas de nivel sonoro en cinco posiciones que no deben estar a menos de 0,7 m entre posiciones de micrófono, 0,5 m entre cualquier posición del micrófono y bordes del recinto o difusores, y 1,0 m entre cualquier posición del micrófono y la fuente acústica. Las medidas se realizaron en bandas de tercio de octava desde 100 a 5.000 Hz.

1.2 Instrumental utilizado

La campaña de medidas acústicas se realizó con equipamiento específico para medidas de campo: Fuente Sonora Sonómetro modelo 2260, Micrófono Prepolarizado modelo 4189, Amplificador modelo 2716, Calibrador modelo 4231, todos marca Brüel & Kjaer, Ecuilizador 131, marca DBX, Equipo Microfónico Inalámbrico WMS 4000, marca AKG y Medidor de Condiciones Ambientales. Los equipos fueron calibrados en laboratorios autorizados.

1.3 Resultados obtenidos

El nivel sonoro resultante en cada uno de los casos está determinado por el nivel sonoro medio y la desviación típica asociada. Se ha considerando como valor verdadero del nivel sonoro el resultante del ensayo con 10 medidas. Para evaluar el grado de concordancia de los resultados obtenidos, se han seguido las indicaciones de la norma UNE 66543-1 IN [10], y se ha calculado el error normalizado (En) del resultado obtenido con un determinado número de medidas del nivel sonoro seleccionadas aleatoriamente, de acuerdo a:

$$En = \frac{|\overline{L}_{10} - \overline{L}_i|}{\sqrt{\sigma_{10}^2 + \sigma_i^2}} \quad (1)$$

Donde:

\overline{L}_{10} es el nivel sonoro medio en 10 puntos de medida
 σ_{10} es la desviación típica de las 10 medidas realizadas
 \overline{L}_i es el nivel sonoro medio en i puntos de medida
 σ_i es la desviación típica de las i medidas realizadas,
 con $i = 1$ a 9

En las Tablas 1, 2 y 3 se muestra la evolución de la desviación típica y una estimación del error normalizado, en función del número de medidas realizadas, en cada banda de frecuencia para algunos de los rangos de volumen definidos. Para el estudio solo se aceptaron como válidos aquellos ensayos en los

que el error normalizado ha resultado menor o igual que 1 [11], indicando en cada Tabla el número de ensayos rechazados (R).

En la Tabla 4 se observa el número de ensayos rechazados en función del intervalo de volumen, según el número de puntos de medida seleccionados. De manera práctica, se ha rechazado un ensayo en el caso de que el valor de En haya resultado mayor que 1, en al menos en una de las bandas de frecuencia.

Como se puede observar en la Tabla 4, el nivel sonoro obtenido con una o dos posiciones de micrófono no es convergente con el nivel sonoro obtenido con 10 posiciones de micrófono, considerado en este estudio como valor verdadero del nivel sonoro. A su vez, a partir de 4 posiciones de medida se obtiene un grado de concordancia adecuado, para todas las bandas de frecuencia y para todos los rangos de volumen.

TABLA 1 Desviación típica media resultante en cada banda de frecuencia según el número de medidas realizadas, error normalizado y número de casos rechazados para el rango de volumen 20 m³ - 30 m³

Número de medidas	100			125			160			200			250			315			400			500			630		
	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R
2	1,8	0,3	4	1,5	0,4	2	1,6	0,4	2	1,4	0,5	0	1,4	0,5	0	1,6	0,4	1	1,3	0,5	2	1,1	0,4	0	1,2	0,5	1
3	2,7	0,2	0	2,0	0,3	0	1,8	0,3	0	1,8	0,3	0	1,7	0,4	0	1,9	0,2	0	1,3	0,4	1	1,3	0,3	0	1,5	0,3	0
4	2,4	0,1	0	1,9	0,3	0	1,8	0,2	0	2,0	0,2	0	1,9	0,2	0	1,9	0,2	0	1,6	0,2	0	1,5	0,1	0	1,5	0,2	0
5	2,2	0,0	0	2,2	0,1	0	1,9	0,0	0	2,0	0,0	0	1,9	0,0	0	1,9	0,0	0	1,6	0,0	0	1,4	0,0	0	1,5	0,1	0
6	2,3	0,2	0	2,2	0,1	0	1,8	0,1	0	1,9	0,1	0	1,8	0,1	0	1,8	0,1	0	1,5	0,1	0	1,3	0,1	0	1,5	0,1	0
7	2,4	0,2	0	2,1	0,1	0	1,8	0,1	0	1,9	0,1	0	1,8	0,1	0	1,8	0,1	0	1,5	0,1	0	1,3	0,1	0	1,5	0,1	0
8	2,3	0,1	0	2,1	0,1	0	1,8	0,1	0	1,9	0,1	0	1,8	0,2	0	1,8	0,1	0	1,5	0,2	0	1,3	0,1	0	1,5	0,1	0
9	2,2	0,0	0	2,0	0,1	0	1,8	0,1	0	2,0	0,1	0	1,8	0,1	0	1,8	0,1	0	1,5	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0

Número de medidas	800			1000			1250			1600			2000			2500			3150			4000			5000		
	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R
2	1,1	0,5	1	1,2	0,3	1	1,2	0,3	1	1,3	0,3	1	1,5	0,4	0	1,5	0,4	1	1,3	0,4	1	1,1	0,4	2	1,3	0,3	2
3	1,5	0,3	0	1,6	0,2	0	1,3	0,2	0	1,3	0,3	0	1,4	0,3	0	1,6	0,3	0	1,5	0,2	0	1,4	0,3	0	1,4	0,2	0
4	1,5	0,2	0	1,6	0,1	0	1,2	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0	1,5	0,1	0	1,5	0,1	0	1,3	0,2	0	1,4	0,1	0
5	1,5	0,1	0	1,4	0,1	0	1,2	0,0	0	1,3	0,0	0	1,4	0,0	0	1,4	0,0	0	1,4	0,0	0	1,3	0,1	0	1,3	0,1	0
6	1,5	0,1	0	1,4	0,1	0	1,1	0,1	0	1,2	0,2	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0	1,4	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,2	0
7	1,5	0,1	0	1,4	0,1	0	1,1	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0	1,4	0,1	0	1,4	0,1	0	1,3	0,1	0	1,5	0,1	0
8	1,4	0,1	0	1,4	0,1	0	1,1	0,1	0	1,2	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0	1,4	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0
9	1,5	0,1	0	1,4	0,0	0	1,1	0,1	0	1,2	0,0	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0	1,4	0,0	0	1,3	0,1	0	1,4	0,0	0

TABLA 2 Desviación típica media resultante en cada banda de frecuencia según el número de medidas realizadas, error normalizado y número de casos rechazados para el rango de volumen 50 m³ - 60 m³

Número de medidas	100			125			160			200			250			315			400			500			630		
	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R
2	1,6	0,4	2	1,7	0,3	1	2,0	0,3	2	1,7	0,3	1	1,5	0,5	2	1,8	0,3	0	1,4	0,4	0	1,6	0,3	1	1,3	0,5	0
3	1,9	0,3	1	2,1	0,3	0	2,0	0,4	0	1,8	0,3	0	1,6	0,4	0	1,6	0,3	0	1,2	0,4	0	1,5	0,2	0	1,3	0,3	0
4	2,1	0,4	0	2,1	0,3	0	2,2	0,1	0	1,9	0,1	0	1,7	0,2	0	1,6	0,2	0	1,6	0,1	0	1,4	0,1	0	1,4	0,2	0
5	2,4	0,1	0	2,1	0,0	0	2,1	0,0	0	1,9	0,0	0	1,9	0,0	0	1,5	0,0	0	1,5	0,0	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0
6	2,4	0,1	0	2,1	0,1	0	2,0	0,1	0	1,8	0,1	0	1,9	0,2	0	1,5	0,2	0	1,5	0,1	0	1,2	0,1	0	1,5	0,2	0
7	2,4	0,1	0	2,0	0,1	0	2,1	0,1	0	1,9	0,1	0	1,9	0,2	0	1,5	0,1	0	1,5	0,1	0	1,3	0,1	0	1,5	0,1	0
8	2,3	0,1	0	2,1	0,1	0	2,0	0,1	0	1,8	0,1	0	1,8	0,2	0	1,5	0,2	0	1,4	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0
9	2,3	0,1	0	2,1	0,1	0	2,1	0,1	0	1,8	0,1	0	1,8	0,1	0	1,6	0,1	0	1,5	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0

Número de medidas	800			1000			1250			1600			2000			2500			3150			4000			5000		
	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R
2	1,3	0,4	0	1,3	0,3	0	0,9	0,3	2	1,2	0,3	0	1,3	0,4	1	1,4	0,3	2	1,3	0,4	0	1,6	0,4	0	1,5	0,4	0
3	1,5	0,3	0	1,1	0,3	0	0,9	0,3	0	1,1	0,2	0	1,3	0,2	0	1,3	0,2	0	1,2	0,2	0	1,5	0,3	0	1,5	0,3	0
4	1,5	0,1	0	1,2	0,1	0	1,0	0,1	0	1,2	0,1	0	1,3	0,1	0	1,2	0,2	0	1,3	0,1	0	1,5	0,1	0	1,5	0,1	0
5	1,5	0,1	0	1,1	0,1	0	1,0	0,1	0	1,1	0,1	0	1,3	0,0	0	1,3	0,0	0	1,3	0,1	0	1,5	0,1	0	1,5	0,1	0
6	1,4	0,1	0	1,1	0,1	0	1,0	0,2	0	1,1	0,1	0	1,3	0,1	0	1,2	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,2	0	1,4	0,2	0
7	1,4	0,1	0	1,1	0,1	0	1,0	0,1	0	1,2	0,1	0	1,3	0,1	0	1,3	0,1	0	1,3	0,1	0	1,5	0,1	0	1,5	0,1	0
8	1,4	0,1	0	1,1	0,1	0	1,0	0,1	0	1,1	0,1	0	1,2	0,1	0	1,2	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0	1,5	0,1	0
9	1,6	0,1	0	1,1	0,1	0	1,0	0,0	0	1,2	0,0	0	1,3	0,1	0	1,2	0,1	0	1,3	0,1	0	1,4	0,1	0	1,5	0,0	0

TABLA 3 Desviación típica media resultante en cada banda de frecuencia según el número de medidas realizadas, error normalizado y número de casos rechazados para el rango de volumen 90 m³ - 100 m³

Número de medidas	100			125			160			200			250			315			400			500			630		
	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R
2	1,9	0,2	1	1,9	0,5	0	1,1	0,5	1	1,6	0,5	0	1,5	0,4	0	1,4	0,3	2	1,5	0,3	0	1,7	0,3	0	1,5	0,3	0
3	1,9	0,3	0	2,0	0,2	1	1,5	0,4	0	1,5	0,5	0	1,5	0,4	0	1,6	0,2	0	1,5	0,3	0	1,5	0,3	0	1,6	0,3	0
4	1,9	0,2	0	1,9	0,2	0	1,9	0,2	0	1,7	0,2	0	1,7	0,2	0	1,7	0,1	0	1,5	0,2	0	1,5	0,2	0	1,6	0,2	0
5	1,9	0,1	0	1,9	0,1	0	1,8	0,1	0	1,8	0,0	0	1,7	0,0	0	1,7	0,0	0	1,5	0,1	0	1,5	0,1	0	1,6	0,1	0
6	1,9	0,2	0	1,9	0,2	0	1,8	0,2	0	1,7	0,2	0	1,6	0,2	0	1,7	0,2	0	1,4	0,2	0	1,4	0,2	0	1,5	0,2	0
7	1,9	0,1	0	2,0	0,1	0	1,8	0,1	0	1,8	0,1	0	1,7	0,1	0	1,8	0,1	0	1,6	0,1	0	1,6	0,1	0	1,7	0,1	0
8	2,0	0,1	0	2,0	0,1	0	1,8	0,1	0	1,8	0,2	0	1,7	0,1	0	1,7	0,1	0	1,6	0,1	0	1,5	0,1	0	1,7	0,1	0
9	2,0	0,1	0	1,9	0,1	0	1,8	0,1	0	1,7	0,1	0	1,7	0,1	0	1,8	0,1	0	1,6	0,0	0	1,5	0,0	0	1,7	0,1	0

Número de medidas	800			1000			1250			1600			2000			2500			3150			4000			5000		
	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R	σ	En	R
2	1,8	0,4	0	1,8	0,4	0	1,8	0,4	0	1,5	0,4	0	1,6	0,4	0	1,6	0,4	0	1,6	0,4	0	1,3	0,5	0	1,4	0,5	1
3	1,7	0,4	0	1,9	0,3	0	1,8	0,3	0	1,6	0,3	0	1,6	0,4	0	1,6	0,3	0	1,7	0,3	0	1,4	0,4	0	1,5	0,4	0
4	1,7	0,2	0	1,9	0,1	0	1,9	0,1	0	1,7	0,2	0	1,8	0,1	0	1,7	0,2	0	1,8	0,1	0	1,6	0,1	0	1,7	0,1	0
5	1,7	0,1	0	1,9	0,1	0	1,8	0,1	0	1,6	0,1	0	1,7	0,1	0	1,6	0,1	0	1,7	0,1	0	1,6	0,1	0	1,6	0,1	0
6	1,6	0,2	0	1,8	0,2	0	1,7	0,2	0	1,5	0,2	0	1,6	0,2	0	1,6	0,2	0	1,6	0,2	0	1,5	0,2	0	1,6	0,2	0
7	1,8	0,1	0	1,9	0,1	0	1,8	0,1	0	1,6	0,1	0	1,7	0,1	0	1,7	0,1	0	1,7	0,1	0	1,6	0,1	0	1,7	0,2	0
8	1,7	0,1	0	1,9	0,1	0	1,8	0,1	0	1,7	0,1	0	1,7	0,1	0	1,6	0,1	0	1,7	0,1	0	1,5	0,1	0	1,6	0,1	0
9	1,7	0,1	0	1,9	0,1	0	1,9	0,0	0	1,7	0,0	0	1,7	0,1	0	1,6	0,1	0	1,7	0,0	0	1,6	0,0	0	1,7	0,1	0

TABLA 4 Ensayos rechazados por rango de volumen

Intervalo de volumen [m ³]	1 medida	2 medidas	3 medidas	4 medidas	5 medidas	6 medidas	7 medidas	8 medidas	9 medidas
10 a 20	10	7	1	0	0	0	0	0	0
20 - 30	10	6	1	0	0	0	0	0	0
30 - 40	10	6	1	0	0	0	0	0	0
40 - 50	10	5	2	0	0	0	0	0	0
50 - 60	10	6	1	0	0	0	0	0	0
60 - 70	10	5	1	0	0	0	0	0	0
70 - 80	10	6	2	0	0	0	0	0	0
80 - 90	10	6	0	0	0	0	0	0	0
90 - 100	10	4	1	0	0	0	0	0	0
100 - 110	10	3	2	0	0	0	0	0	0

2. Método de estimación del tiempo de reverberación en viviendas

En acústica de la edificación es necesario contar con el tiempo de reverberación en el recinto receptor para realizar las correcciones a las medidas realizadas de aislamiento a ruido aéreo y de impacto. Los métodos clásicos de cálculo del Tiempo de Reverberación (Sabine, Eyring y Millington-Sette) muestran que el tiempo de reverberación depende fundamentalmente del volumen del recinto y de la absorción sonora de las superficies y elementos al interior del recinto [12].

Una manera de simplificar los ensayos antes mencionados puede ser a través de estimar el tiempo de reverberación a lo largo de la banda de frecuencias del recinto receptor en función de su volumen, puesto que la absorción de paredes y objetos presentes en los recintos se pueden considerar similares en el universo de dormitorios y recintos y no varían significativamente como en otros casos de la acústica arquitectónica.

La norma internacional ISO 10052 [13] propone un método de medición de aislamiento acústico en edificación con una precisión denominada de Control. En dicho método se establece que no se debe medir el tiempo de reverberación, sino que se obtiene de una tabla que contiene valores de tiempo de reverberación

en octava dependiendo del destino del recinto, del tipo de pared y en rangos de volumen de 35 m³ aproximadamente.

Para esta etapa del estudio se consideraron 174 viviendas, donde se ensayaron 204 salones y 296 dormitorios. Las viviendas fueron construidas entre 1940 y 2001. El volumen de los salones ensayados es entre 20,2 y 111,0 m³ con una media de 62,6 m³ y de 14,3 a 66,6 m³ con una media de 29,8 m³ para dormitorios. Todos los recintos estaban amueblados, lo cual puede considerarse como la situación más desfavorable que al realizar ensayos en recintos sin amueblar. El amueblado influye en una mayor absorción del sonido y la forma paralelepédica de los dormitorios favorece la formación de ondas estacionarias. Por esta razón se analizaron, los salones y dormitorios por separado.

2.1 Tiempo de reverberación en salones

Los recintos destinados a salones normalmente presentan mayor número de muebles que los destinados a dormitorios, y su forma suele ser más irregular que la de los dormitorios que son de forma paralelepédica.

En las Figuras 1 a 4 se presentan los resultados de las medias de tiempo de reverberación para cada rango de volumen en bandas de tercios de octava en forma de líneas de regresión a partir de valores numéricos.

FIGURA 1 *Tiempo de reverberación en salones de volumen entre 30 y 40 m³*

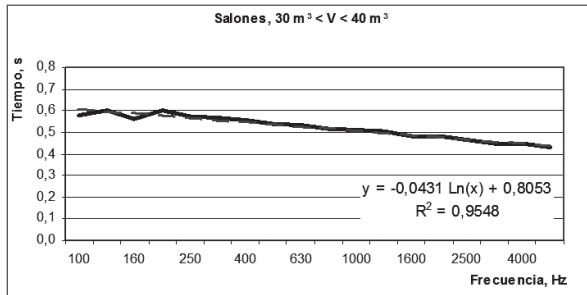


FIGURA 2 *Tiempo de reverberación en salones de volumen entre 40 y 50 m³*

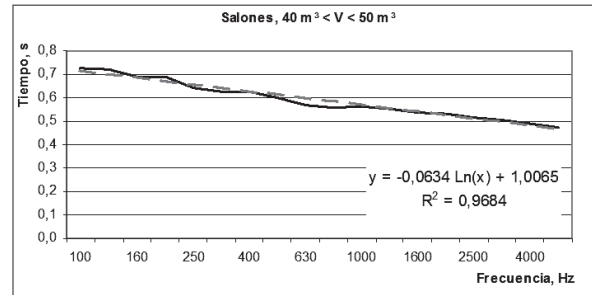


FIGURA 3 *Tiempo de reverberación en salones de volumen entre 50 y 60 m³*

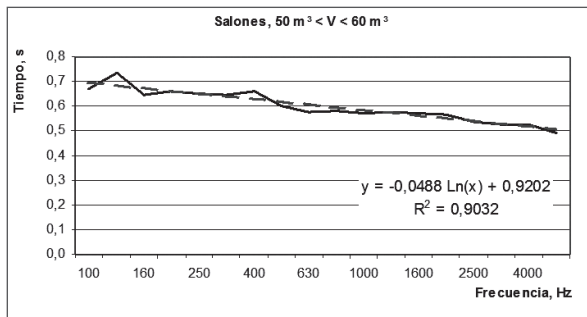
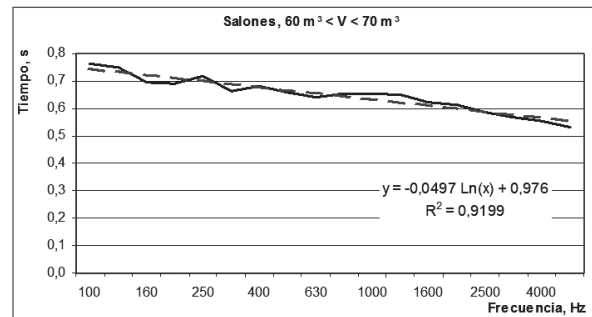


FIGURA 4 *Tiempo de reverberación en salones de volumen entre 60 y 70 m³*



En las Tablas 5 y 6 se muestran los resultados obtenidos en salones para diferentes rangos de volumen. Se obtuvo una ecuación logarítmica que permite de-

terminar el tiempo de reverberación para cada banda de octava. También se muestra la media obtenida de las mediciones realizadas.

TABLA 5 *Ecuación de predicción para salones*

Rango de Volumen (m ³)	Nº Recintos	Media	Desv. Típica	Función	R ²
20 - 30	6	25,2	3,3	T = - 0,0261 Ln(F) + 0,5435	R ² = 0,6683
30 - 40	21	35,0	3,0	T = - 0,0431Ln(F) + 0,8053	R ² = 0,9544
40 - 50	43	44,8	2,7	T = - 0,0634 Ln(F) + 1,0065	R ² = 0,9683
50 - 60	35	55,7	2,9	T = - 0,0488 Ln(F) + 0,9202	R ² = 0,9032
60 - 70	25	63,5	3,1	T = - 0,0497 Ln(F) + 0,9760	R ² = 0,9199
70 - 80	22	76,2	2,6	T = - 0,0749 Ln(F) + 0,6941	R ² = 0,7790
80 - 90	28	84,8	2,9	T = - 0,0304 Ln(F) + 0,7729	R ² = 0,7760
90 - 100	15	96,6	2,7	T = - 0,0435 Ln(F) + 0,8552	R ² = 0,7826

TABLA 6 Tiempo de reverberación medio en salones según volumen

Volumen (m ³)		Frecuencia (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
20 - 30	Media	0,38	0,47	0,46	0,40	0,39	0,39	0,39	0,36	0,36	0,35	0,36	0,35	0,34	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33
	SD	0,07	0,14	0,10	0,10	0,09	0,11	0,15	0,10	0,13	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09
30 - 40	Media	0,58	0,60	0,56	0,60	0,58	0,57	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,48	0,48	0,47	0,45	0,45	0,43
	SD	0,18	0,23	0,20	0,17	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14	0,16	0,16	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
40 - 50	Media	0,73	0,72	0,69	0,69	0,64	0,62	0,63	0,60	0,57	0,56	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48
	SD	0,33	0,30	0,29	0,25	0,22	0,20	0,23	0,20	0,20	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
50 - 60	Media	0,67	0,73	0,65	0,66	0,65	0,65	0,66	0,60	0,58	0,58	0,57	0,58	0,57	0,56	0,54	0,53	0,53	0,49
	SD	0,22	0,39	0,20	0,22	0,23	0,23	0,32	0,21	0,20	0,21	0,20	0,21	0,18	0,17	0,16	0,16	0,17	0,14
60 - 70	Media	0,76	0,75	0,69	0,69	0,72	0,67	0,68	0,66	0,64	0,66	0,66	0,65	0,62	0,61	0,58	0,57	0,55	0,53
	SD	0,26	0,25	0,23	0,29	0,29	0,25	0,24	0,27	0,26	0,30	0,29	0,28	0,25	0,26	0,22	0,20	0,18	0,16
70 - 80	Media	0,80	0,71	0,65	0,65	0,55	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48	0,49	0,47	0,47	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42
	SD	0,24	0,26	0,19	0,25	0,20	0,18	0,20	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12
80 - 90	Media	0,65	0,58	0,60	0,64	0,59	0,58	0,60	0,59	0,59	0,57	0,57	0,58	0,57	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48
	SD	0,09	0,16	0,13	0,22	0,17	0,18	0,20	0,16	0,23	0,19	0,21	0,23	0,22	0,19	0,16	0,14	0,13	0,13
90 - 100	Media	0,63	0,67	0,63	0,69	0,65	0,61	0,57	0,54	0,53	0,53	0,56	0,54	0,54	0,54	0,52	0,52	0,50	0,49
	SD	0,14	0,17	0,16	0,17	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10

2.2 Tiempo de reverberación en dormitorios

En las Figuras 5 a 7 se muestran los resultados de tiempos de reverberación medidos en dormitorios normalmente amueblados según el rango de volumen.

FIGURA 6 Tiempo de reverberación en dormitorios de volumen entre 30 y 40 m³

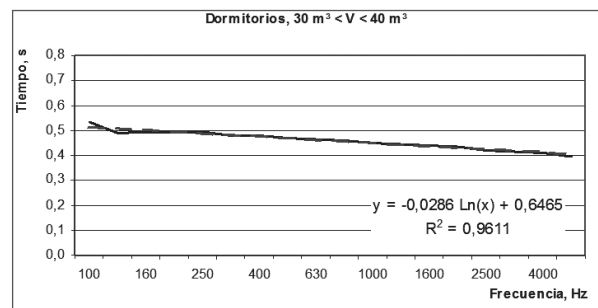


FIGURA 5 Tiempo de reverberación en dormitorios de volumen entre 20 y 30 m³

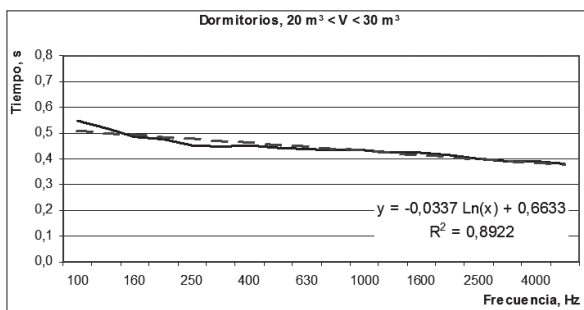
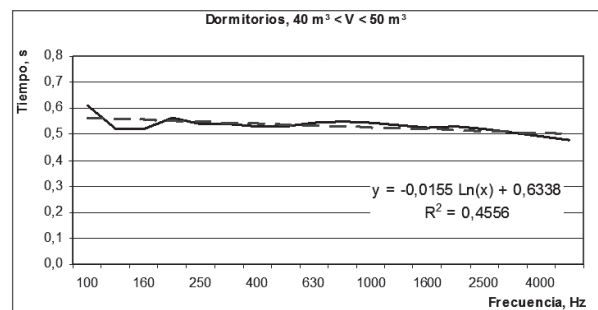


FIGURA 7 Tiempo de reverberación en dormitorios de volumen entre 40 y 50 m³



En las Tablas 7 y 8 se muestran los resultados obtenidos en dormitorios para diferentes rangos de volumen. Se obtuvo una ecuación logarítmica que

permite determinar el tiempo de reverberación para cada banda de octava. También se muestra la media obtenida de las mediciones realizadas.

TABLA 7 Ecuación de predicción para dormitorios

Rango de Volumen (m ³)	Nº Recintos	Media	Desv. Típica	Función	R ²
10 - 20	15	17,8	1,8	$T = - 0,0333 \ln(F) + 0,6306$	R ² = 0,8257
20 - 30	159	25,5	2,8	$T = - 0,0337 \ln(F) + 0,6633$	R ² = 0,8922
30 - 40	100	34,2	2,8	$T = - 0,0286 \ln(F) + 0,6465$	R ² = 0,9611
40 - 50	18	44,3	3,0	$T = - 0,0155 \ln(F) + 0,6338$	R ² = 0,4556
50 - 60	6	56,1	2,9	$T = - 0,0613 \ln(F) + 0,8802$	R ² = 0,7384
60 - 70	1	66,6			

TABLA 8 Tiempo de reverberación medio en dormitorios según volumen

Volumen (m ³)		Frecuencia (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
10 - 20	Media	0,51	0,49	0,49	0,45	0,42	0,40	0,40	0,41	0,41	0,40	0,40	0,41	0,39	0,40	0,37	0,36	0,36	0,35
	SD	0,25	0,27	0,16	0,14	0,12	0,18	0,13	0,13	0,16	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
20 - 30	Media	0,55	0,52	0,49	0,48	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,43	0,43	0,42	0,42	0,41	0,40	0,39	0,39	0,38
	SD	0,19	0,22	0,16	0,22	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12
20 - 30	Media	0,53	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44	0,44	0,42	0,41	0,41	0,40
	SD	0,21	0,17	0,20	0,21	0,18	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12
30 - 40	Media	0,61	0,52	0,52	0,56	0,54	0,54	0,53	0,53	0,54	0,55	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48
	SD	0,24	0,20	0,18	0,28	0,22	0,22	0,24	0,24	0,25	0,27	0,28	0,25	0,25	0,26	0,25	0,21	0,21	0,19
40 - 50	Media	0,75	0,56	0,53	0,56	0,55	0,51	0,47	0,47	0,42	0,46	0,43	0,44	0,43	0,43	0,41	0,40	0,40	0,39
	SD	0,30	0,14	0,08	0,11	0,12	0,10	0,09	0,06	0,05	0,09	0,07	0,08	0,08	0,07	0,05	0,05	0,04	0,03

Conclusiones

El trabajo realizado permite proponer un método simplificado de ensayos de aislamiento acústico a partir de la precisión requerida según sea el caso. Se ha demostrado que con el registro en 4 puntos de medida se logra caracterizar el nivel sonoro y los resultados son convergentes respecto de un muestreo realizado con 10 registros.

Por otra parte, se ha comprobado que el tiempo de reverberación se puede estimar con alta precisión (a partir de los R² obtenidos) en bandas de tercio de octava para salones y dormitorios de dimensiones normales y amueblado tradicional de viviendas.

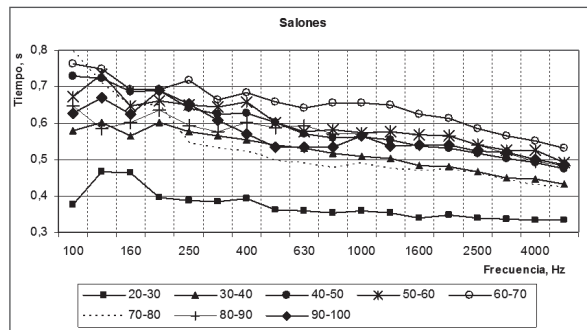
Con los resultados obtenidos se observa que el grado de exactitud con 1 ó 2 puntos de medida no es el adecuado la caracterización del nivel sonoro en el interior de recintos de viviendas.

No se han encontrado diferencias significativas de desviación típica entre los distintos rangos de volúmenes de recintos. De esta forma, el error normalizado es prácticamente el mismo en los diferentes rangos de volumen.

De la clasificación de los ensayos realizados según el uso del recinto, permite visualizar claramente que en dormitorios (Figura 9) a un mayor rango de volúmenes mayor es el tiempo de reverberación, produciéndose un desplazamiento en paralelo de la curva, cosa que no ocurre en los salones (Figura 8),

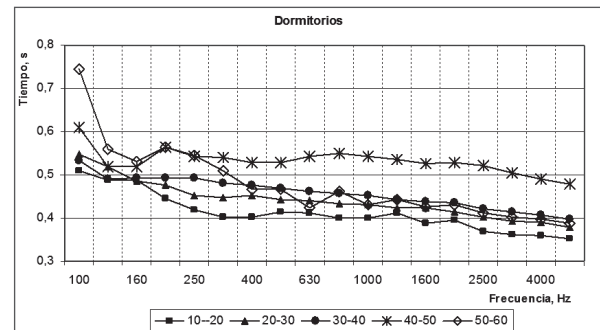
probablemente debido a sus formas más irregulares y a la mayor cantidad de muebles que aumentan la absorción de sonido.

FIGURA 8 Tiempo de reverberación en salones. Valores medios de cada rango de volumen (m^3)



El uso de ecuaciones de estimación del tiempo de reverberación de un recinto real permite simplificar las metodologías de medida sin perjudicar los resultados obtenidos del ensayo de diferencia de niveles a ruido aéreo o a ruido de impacto.

FIGURA 9 Tiempo de reverberación en dormitorios. Valores medios de cada rango de volumen (m^3)



Referencias

1. Minvu 2007. Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Aislamiento Acústico. Recuperado el 13 de septiembre de 2007, de http://www.minvu.cl/opensite_20070611111640.aspx#
2. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HR Protección frente al ruido. VERSIÓN 01. Catálogo de elementos constructivos. España.
3. Reglamentación Acústica Francesa. Reglamentos del 30 de junio de 1999: "Relatif aux caractéristiques acoustiques de bâtiments d'habitation" y del 30 de junio de 1999: "Relatif aux modalités d'application de la réglementation acoustique"
4. UNE-EN ISO 140-4:1999 Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición "in situ" del aislamiento a ruido aéreo entre locales.
5. UNE-EN ISO 140-5:1999 Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Mediciones "in situ" del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas.
6. Maekawa, Z. y Lord, P. (1997). Environmental and Architectural Acoustics. E&FN SPON.
7. AFNOR NF S31-057 1982 Acoustique - Vérification de la qualité acoustique des bâtiments.
8. ASTM E336-971 Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Insulation in Buildings.
9. ASTM E966-04 Standard Guide for Field Measurements of Airborne Sound Insulation of Building Facades and Facade Elements.
10. UNE 66543-1:1999 IN Ensayos de aptitud por intercomparación de laboratorios. Parte 1: desarrollo y aplicación de programas de ensayos de aptitud.
11. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, OIML. (1993).
12. Arau, Higini. ABC de la Acústica Arquitectónica. Editorial Ceac. 1999.
13. UNE-EN ISO 10052:2005. Acústica. Medición *in situ* del aislamiento al ruido aéreo y de la transmisión de ruidos de impacto y de equipamientos. Método de control (ISO 10052:2004).
14. Díaz, C. y Pedrero, A. The reverberation time of furnished rooms in dwellings. Revista Applied Acoustics, Volumen 66, Número 8, Agosto 2006, Páginas 945-956.