



**III ENCONTRO NACIONAL  
I ENCONTRO LATINO-AMERICANO**  
Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

**DISEÑO DE LABORATORIO DE MEDICION DE PROPIEDADES  
ACUSTICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION**

Enrique Suárez Silva(1) · Felipe Vergara Miranda(1) · José Luis Barros(2)

(1) Tesista Ingeniería Acústica · (2) Profesor Instituto de Acústica

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Universidad Austral de Chile

Casilla 567 · Valdivia · Chile

Fono : (063) 221339

Fax : (063) 213986

**RESUMÉN**

En Chile no existen las instalaciones normalizadas que permitan evaluar y clasificar adecuadamente las propiedades de Transmisión Sonora de materiales y sistemas constructivos. Observando el desarrollo nacional y las exigencias actuales en el campo internacional, se realizó el diseño del laboratorio conforme a las normas internacionales ISO, ASTM, DIN, UNE, IRAM, y el estudio de laboratorios ya existentes a nivel mundial. Este trabajo describe el diseño de laboratorio del medición de Transmisión Sonora Aérea, de Impacto y Absorción Sonora de materiales. Esta investigación es parte de una memoria de tesis y de un proyecto de desarrollo del Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile.

**ABSTRACT**

Chile has not standardized laboratory that allows suitable evaluation and classification of the sound transmission of materials and constructive system's Properties. Take a look the national development and present international. Requirements, has been developed the design of a laboratory according the ISO, ASTM, DIN, UNE, IRAM standards, including the study of world wide laboratories. The final aim of this work is to show the design of Sound Absorption, measurement and Airborne and Impact Sound Transmission, laboratory. This research is a part of a project at Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile.

**PALABRAS CLAVES**

Laboratorio; Diseño Transmisión Sonora; Absorción Sonora.

## 1. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN

La Transmisión Sonora Aérea es la razón entre la energía sonora transmitida por una partición y la energía sonora incidente a ella desde el lado opuesto (Coeficiente de Transmisión Sonora Aérea  $\tau$ ), cuyo valor depende de la frecuencia. Se representa mediante la Pérdida de Transmisión Sonora Aérea TL, definida como diez veces el logaritmo en base diez del inverso del Coeficiente de Transmisión Sonora Aérea. Se consideran como particiones paredes, tabiques, paneles, ventanas, puertas y otros elementos de edificación.

El laboratorio de Transmisión Sonora Aérea consiste en dos salas reverberantes horizontalmente adyacentes con una abertura de ensayo entre ellas donde es instalada la muestra. Dada las condiciones de que ambas salas aseguren un campo sonoro difuso en su interior y que la transmisión de sonido de una sala a otra sea sólo a través de la muestra a ensayar, se puede expresar la Pérdida de Transmisión Sonora Aérea como:

$$TL = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \left( \frac{S}{A} \right) \quad (1)$$

donde  $L_{p1}$  es el promedio espacial del nivel de presión sonora en el local de emisión, en [dB];  $L_{p2}$  es el promedio espacial del nivel de presión sonora en el local de recepción, en [dB]; S es la superficie de la muestra a ensayar, en [m<sup>2</sup>] y A es el área de absorción sonora equivalente del local de recepción, en [m<sup>2</sup>]. En la ecuación (1) se aprecia un factor de corrección que corresponde a la influencia de la sala receptora en la medida del nivel de presión sonora.

La Transmisión Sonora de Impacto es definida como la energía sonora radiada por un elemento de construcción de pisos cuando éste es excitado por una Máquina de Impactos Normalizados, su valor depende de la frecuencia. Se representa mediante el Nivel de Presión Sonora de Impacto Normalizado  $L_n$ , definido en la ecuación (2). Aquí también se aprecia un factor de corrección de la influencia de la sala receptora en la medida del nivel de presión sonora.

El laboratorio de Transmisión Sonora de Impacto consiste en una sala reverberante con una abertura de ensayo en su techo donde es construida la muestra, sobre la cual se instala la Máquina de Impactos Normalizados.

$$L_n = L_{p2} + 10 \log \left( \frac{A}{A_0} \right) \quad (2)$$

donde  $L_{p2}$  es el promedio espacial del nivel de presión sonora en el local de recepción, en [dB]; A es el área de absorción sonora equivalente del local de recepción, en [m<sup>2</sup>], y  $A_0$  es el área de absorción sonora equivalente de referencia (10 [m<sup>2</sup>]).

En las normas consultadas sólo se consideran los laboratorios en los cuales las transmisiones sonoras laterales no influyen en las mediciones.

El Coeficiente de Absorción Sonora  $\alpha$  es la razón entre la energía sonora absorbida y la energía sonora incidente sobre una superficie, y su valor depende de la frecuencia.

El laboratorio de Absorción Sonora es una sala reverberante de grandes proporciones, en la cual se mide el cambio que se produce en la absorción sonora equivalente de la sala, cuando se recubre parte de sus paredes con el material que se investiga. El Coeficiente de Absorción medido en sala reverberante es considerado el más representativo del comportamiento real del material ensayado, y se calcula a partir de las siguientes mediciones:

$$A = 55,3 \frac{V}{c} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (3) \qquad \alpha_s = \frac{A}{S} \quad (4)$$

donde  $\alpha_s$  es el coeficiente de absorción sonora medido en sala reverberante; A es el área de absorción sonora equivalente de la muestra, en [m<sup>2</sup>]; S es la superficie de la muestra, en [m<sup>2</sup>]; V es el volumen de la sala vacía, en [m<sup>3</sup>]; c es la velocidad del sonido en el aire, en [m/s]; T<sub>1</sub> es el tiempo de reverberación de la sala vacía, en [s]; y T<sub>2</sub> es el tiempo de reverberación de la sala con la muestra de ensayo, en [s]. La variación de la absorción sonora de la sala está calculada a partir de los tiempos de reverberación según la fórmula de Sabine.

## 2. CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE SALAS DE LABORATORIOS

La intensidad sonora incidente en una cara de un panel en un campo sonoro perfectamente difuso es:

$$\bar{I}_1 = \frac{P_1^2 \text{ RMS}}{4 \rho_0 c} \quad (5)$$

La energía radiada por el panel a la sala de recepción es:

$$W_2 = \tau S \frac{P_1^2 \text{ RMS}}{4 \rho_0 c} \quad (6)$$

La potencia que radia el panel a la sala receptora es igual a la potencia absorbida por la misma sala si esta es también un campo sonoro difuso, es decir:

$$W_2 = W_{\text{ABS}} = \frac{P_2^2 \text{ RMS}}{4 \rho_0 c} A \quad (7)$$

Igualando (6) y (7), se obtiene:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{S}{A} \frac{P_1^2 \text{ RMS}}{P_2^2 \text{ RMS}} \quad \rightarrow \quad TL = L_{P1} - L_{P2} + 10 \log \left( \frac{A}{S} \right)$$

Por lo tanto, la validez de esta expresión dependerá de cuán difusos y homogéneos sean los campos sonoros en las salas de ensayo [15].

El número de modos normales de una sala determinará la homogeneidad del campo sonoro en su interior. En un ancho de banda de frecuencia, este número está dado por:

$$\Delta N = \left[ \frac{4 \pi f^3 V}{c^3} + \frac{\pi f^2 S}{2 c^2} + \frac{f L}{8 c} \right] \frac{\Delta f}{f} \quad (8)$$

donde  $\Delta N$  es el número de modos normales; V, S, L son volumen, superficie y longitud de arista de la sala en metros; f es la frecuencia central de la banda considerada y  $\Delta f/f = 0.23$  es el valor para banda de tercio de octava [8]. Si se necesita un campo sonoro difuso, se habla de la existencia de 15 a 20 modos normales que deben ser excitados en cada frecuencia. El caso más crítico es el de la frecuencia más baja considerada, dado que la densidad modal aumenta con el cubo de la frecuencia [7]. Tomando en cuenta las relaciones de Bolt para las dimensiones de salas rectangulares ( $1:2^{1/3}:4^{1/3}$ ), consideradas como las más adecuadas para obtener una densidad modal satisfactoria [6], es posible calcular a partir de (8) que para un volumen de 200 [m<sup>3</sup>] se tienen 21 modos excitados en la banda de tercio de octava de 100 [Hz], para un volumen de 125 [m<sup>3</sup>] se tienen 15 modos en la misma banda de frecuencia y para un volumen de 80 [m<sup>3</sup>] se obtienen 18 modos en la banda de tercio de octava centrada en 125 [Hz].

### 3. CONSIDERACIONES DE NORMAS INTERNACIONALES PARA EL DISEÑO DE LABORATORIOS

Estos son los aspectos más importantes y exigentes considerados por el conjunto de normas internacionales consultadas:

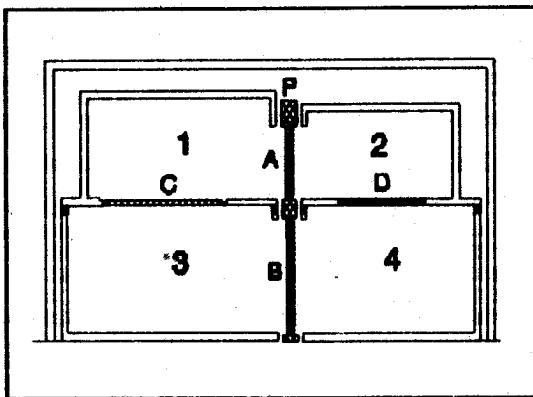
**3.1 Laboratorio de Transmisión Sonora Aérea.** Para las salas un volumen mínimo de 125 [m<sup>3</sup>] para mediciones a partir de 100 [Hz]; 10 % variación mínima de volumen entre ellas; 2 como razón máxima entre dos dimensiones de una sala; 2.5 [m] dimensión mínima de una sala; 0.5 [m] variación mínima de la dimensión perpendicular a la muestra y las dimensiones para salas rectangulares en la razón  $1:2^{1/3}:4^{1/3}$ . Para la abertura de ensayo 10 [m<sup>2</sup>] como mínimo y con 2.4 [m] de dimensión lateral mínima.

**3.2 Laboratorio de Transmisión Sonora de Impacto.** Para la sala receptora un volumen mínimo de 125 [m<sup>3</sup>] para mediciones a partir de 100 [Hz] y 50 [m<sup>3</sup>] para sala emisora; 2 como razón máxima entre dos dimensiones de una sala; para salas rectangulares las dimensiones en la razón  $1:2^{1/3}:4^{1/3}$ ; y 2.5 [m] como dimensión mínima. Para abertura de ensayo, las mismas que en 3.1. Para losa patrón una superficie mínima de 10 [m<sup>2</sup>] a una distancia de a lo menos 0.5 [m] de los bordes de la sala.

**3.3 Laboratorio de Coeficiente de Absorción.** Para la sala un volumen mínimo de 200 [m<sup>3</sup>]; 3.44 [m] dimensión mínima;  $1.9 V^{1/3}$  [m] máxima longitud en línea recta; las dimensiones distintas y en proporción menor que 2; 5 [s] de tiempo de reverberación mínimo para frecuencias desde 125 a 500 [Hz], y 4.7, 3.5 y 2.5 [s] en 1, 2 y 4 [KHz] respectivamente. Para la muestra una superficie mínima de 10 [m<sup>2</sup>] en forma rectangular.

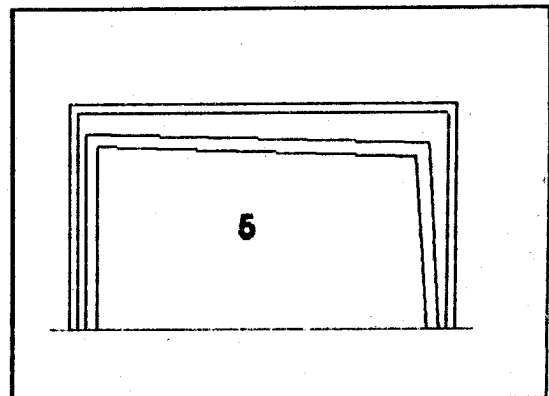
#### 4. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

El diseño, expuesto en el esquema de elevación de las Figuras 1 y 2, consta de cuatro salas de transmisión sonora (salas 1, 2, 3 y 4) y una sala reverberante para medir coeficiente de absorción (sala 5). Las proporciones de todas las salas están en la razón sugerida por Bolt para salas rectangulares, excepto la sala de mayor tamaño, en la que se inclinan las paredes hacia su interior, entre  $5^\circ$  y  $15^\circ$ , evitando superficies paralelas [7]. Las salas de transmisión se distribuyen de manera que cada sala está comunicada con otras dos por medio de portamuestras; uno para transmisión sonora aérea, horizontalmente, y uno para transmisión sonora de impacto, verticalmente. Esta distribución permitirá el ensayo simultáneo de transmisión sonora aérea o de impacto utilizando las salas como pares independientes. Las salas cuentan con paredes dobles, la interior de concreto de 0.3 [m] y la exterior de albañilería de 0.3 [m], con un espacio de separación 0.1 [m] de aire. El comportamiento teórico de aislación sonora en función de la frecuencia según la teoría de London [16] determina una pérdida de transmisión sonora aérea de 86.5 [dB] en 63 [Hz], 92.5 [dB] en 80 [Hz], 98.4 [dB] en 100 [Hz], y asciende sobre 100 [dB] desde los 125 [Hz] en adelante, hasta 185.7 [dB] en 8 [KHz]. Estos cálculos teóricos son satisfactorios para el ruido de fondo del lugar donde se proyecta construir el laboratorio.



**Figura 1**  
Salas de Transmisión Sonora

Sala 1 : 102.6 [m <sup>3</sup> ]	Sala 2 : 86.2 [m <sup>3</sup> ]
Sala 3 : 132.6 [m <sup>3</sup> ]	Sala 4 : 149.1 [m <sup>3</sup> ]



**Figura 2**  
Sala Reverberante

Sala 5 : 224.9 [m<sup>3</sup>]

La sala 2 tiene en su piso una abertura de 14 [m<sup>2</sup>] (D) con un portamuestra dotado con un sistema elástico que evita la transmisión lateral y sobre el cual se debe construir la muestra de piso a ensayar, usando la sala 3 como receptora. La sala 1 tiene en su piso una losa patrón de 12 [m<sup>2</sup>] (C) para ensayar sobre ella cubiertas de pisos, pisos flotantes, etc. Aquí la sala 4 hace el papel de receptora. Entre las salas 3 y 4 se proyecta una abertura de 12 [m<sup>2</sup>] (B) para realizar ensayos de transmisión sonora de paredes y tableros de grandes proporciones. Además, entre las salas 1 y 2 existe una abertura de 5.76 [m<sup>2</sup>] (A) para realizar pruebas de transmisión sonora aérea de particiones de menor tamaño como elementos de construcción (ventanas, puertas, paneles, etc.). Esta última abertura tiene 2.4 [m] de alto, como la mayoría de los materiales que se comercializan en planchas en nuestro país, además de ser la altura común de construcción de

una habitación.

El portamuestra (P) para transmisión sonora aérea es una estructura totalmente independiente del resto de la edificación. Las salas para transmisión sonora de impacto se encuentran aisladas estructuralmente por un sistema elástico. El acceso a las salas es mediante puertas dobles que comunican con la sala de control y oficinas. Se proyecta el uso de un sistema de ventilación portátil en el caso que las muestras a ensayar necesiten un proceso especial de secado.

El diseño propuesto cumple con todas las exigencias de las normativas internacionales consideradas. Además, la sala para medir coeficiente de absorción cumple con los requisitos para realizar en ella mediciones de potencia sonora [19], de aislamiento de encierros (como cabinas audiométricas) [3] y estudiar el comportamiento de parlantes y micrófonos en campo sonoro difuso.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] ASTM C 423 - 90a, *Standard test method for sound absorption and sound absorption coefficients by the reverberation room method*, 1990.
- [2] ASTM E492-90, *Standard test method for laboratory measurement of impact sound transmission through floor-ceiling assemblies using the tapping machine*, 1990.
- [3] ASTM E596-90, *Laboratory measurement of the noise reduction of sound isolating enclosure*, 1990.
- [4] ASTM E90-90, *Standard test method for laboratory measurement of airborne sound transmission loss of buildings partitions*, 1990.
- [5] DIN 52 210, *Architectural acoustical tests airborne and impact sound reduction*, 1974.
- [6] DONATO, R., *Angular Distribution of Lower Room Modes*, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 41, Nº 6, 1967, p. 1496 - 1499.
- [7] DUANQUI, ZHENG and JINJING, *Acoustic Design of a Reverberation Chamber*, Applied Acoustic (32), 1991, p. 83 - 91.
- [8] GINN, K., *Architectural Acoustics*, Brüel & Kjaer, Dinamarca, 1978, p. 45.
- [9] INGERSLEV, F., PEDERSEN, O. and MELLER, P., *New Rooms for Acoustic Measurements at Danish Technical University*, Acustica, Vol. 19, Nº 4, 1967/68, p. 185 - 199.
- [10] IRAM 4 063, *Transmisión de sonidos en edificios. Métodos de medición*, 1982.
- [11] IRAM 4065, *Método de medición del coeficiente de absorción de sonido en sala reverberante*, 1970.
- [12] SCHULTZ, T., *New Acoustical Test Facilities of the National Gypsum Company*, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 45, Nº 1, 1969, p. 20 - 36.
- [13] ISO 140, *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements*.
- [14] ISO 354, *Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room*, 1985.
- [15] JOSSE, R., *La Acústica en la Construcción*, Edit. Gustavo Gili, Barcelona, 1975, p. 133.
- [16] LONDON, A., *Transmission of Reverberant Sound Through Double Walls*, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 22, Nº 2, 1950, p. 270 - 279.
- [17] MENDEZ, A., *Descripción y Detalles Constructivos del Laboratorio de Acústica de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires*, Separata de la Revista de Ingeniería, Octubre 1985-Septiembre 1986, Nº 124, Argentina.
- [18] MYNCKE, H., *Conception des Nouvelles Chambres de Mesures Acoustiques de L'Université Catholique de Louvain*, Institut de Basses Températures et de Physique Appliquée, Bélgica, 1967.
- [19] OCHOA, Juan, *Medida y Control del Ruido*, Marcombo Editores, 1990, p. 80 - 89.
- [20] PARKIN, P. and STACY, E., *The Anechoic and Reverberant Rooms At the Building Research Station*, J. of Sound and Vibration, 19 (3), 1971, p. 277 - 286.
- [21] SADOWSKI, J. and ZUCHOWICZ-WONDNIKOWSKA, I., *Approval and Certification as problems Affecting Collaboration Between Acoustic Laboratories of European Countries*, Applied Acoustic (40), 1993, p. 267 - 280.
- [22] SATO, K. and KOYASU, M., *Measurement of the Sound Absorption Coefficient and Transmission Loss at the Kobayasi Institute of Physical Research*, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 32, Nº 3, 1960, p. 376 - 379.
- [23] UNE 74-040-84, *Medida del aislamiento acústico de los edificios y de los elementos constructivos*, 1984.
- [24] UNE 74-041-80, *Medida de Coeficientes de Absorción en Cámara Reverberante*, 1980.