

Determinación de la absorción e impedancia acústica del corcho: método del tubo de impedancia

Por D. Pedro Muñoz Díaz

Dr. Ingeniero de Montes

Profesor de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes

OBJETIVO Y FUNDAMENTO DEL APARATO

El presente estudio consiste en la medida de coeficientes de absorción e impedancia acústica mediante la formación de ondas estacionarias en un tubo de KUNDT.

Este método, junto con el de las Cámaras reverberantes, ha contribuido al desarrollo de la técnica de fabricación de absorbentes acústicos, los cuales son el arma más eficaz en la construcción actual en su lucha contra los ruidos.

El fundamento del aparato es el siguiente:

Una onda plana longitudinal, cuya amplitud de presión sonora es A, procedente de un oscilador de frecuencias es enviada a lo largo del llamado tubo de impedancia, mediante un altavoz situado en un extremo del mismo. La citada onda incide sobre la muestra cuya absorción se desea medir y que está situada en su portaprobetas colocado en el extremo opuesto del citado tubo. Cuando las ondas inciden en la muestra parte de la energía sonora es absorbida y otra parte reflejada, regresando la onda a través del tubo con una amplitud de presión B. Como resultado del fenómeno de interferencia entre las ondas incidente y reflejada, se forma una onda estacionaria, cuyo estudio aporta los datos necesarios para el cálculo del coeficiente de absorción.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ABSORCION

Como se observa en la figura que describe el aparato productor de ondas estacionarias existe un tubo microfónico montado sobre un pequeño micrófono de carro móvil, el cual

envía los niveles de presión de la onda estacionaria a un espectrómetro analizador de audiofrecuencia, que medirá el coeficiente de absorción. Los máximos de presión A+B, de dos vientres consecutivos, están a una separación de media longitud de onda y entre ambos se encuentra un nudo con una amplitud mínima A - B.

De la relación
$$n = \frac{A+B}{A-B} = \frac{P_{\text{máx}}}{P_{\text{mín}}}$$

entre los máximos y mínimos de presión y, teniendo en cuenta que la energía es proporcional al cuadrado de la amplitud, tenemos para el coeficiente de absorción a

$$Q = 1 - \frac{B^2}{A^2} = 1 - \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2}$$

el cual se define como la relación entre las energías absorbidas e incidente en la correspondiente muestra.

Esta última es la que permite calibrar la escala del espectrómetro de audiofrecuencia, la cual nos da la lectura directa del coeficiente de absorción. Hay que reseñar que este coeficiente es de absorción normal, y que, en general, varía con la frecuencia del sonido, ángulo de incidencia de las ondas y del montaje del material.

Existe una expresión logarítmica, que relaciona el coeficiente de absorción con la diferencia L en decibelios, de las amplitudes del máximo y mínimo de presión en la onda estacionaria patrón.

$$a = 1 - \left[\frac{\log^{-1}(L/20) - 1}{\log^{-1}(L/20) + 1} \right]^2$$

La relación entre a y L , que permite la determinación del coeficiente de absorción, se muestra en la figura 1.

Caso de existir espacios de aire entre el material absorbente y la pared del soporte, variaciones de espesor del mismo, o cambios de porosidad entre otros factores, todo ello repercute notoriamente en las medidas del coeficiente de absorción.

Sin embargo, el aparato tiene sus limitaciones en su correcta utilización. Así, sólo es posible la medida de pequeñas muestras, tales como ladrillos, lana de roca, losetas acústicas o probetas de corcho.

La limitación anteriormente citada viene dada por la condición de que el diámetro D del tubo sea aproximadamente igual a media longitud de onda, de la correspondiente estacionaria.

La relación exacta entre ambos es exactamente

$$\lambda > 1,7 D$$

Así tenemos que no es posible medir absorciones de materiales cuyo poder absorbente esté basado en la vibración de amplias superficies, como es el caso de los paneles de resonancia.

Por todo ello el aparato consta de dos tubos, según la frecuencia correspondiente.

Así el tubo de 10 cm, de diámetro interior, cubre las frecuencias de 90 a 1.800 Hz, y el más pequeño, de 3 cm de diámetro, cubre la gama de 800 a 6.500 Hz.

Hay que reseñar que las medidas por encima de los 5.000 Hz tienen poco poder significativo, debido al alto grado de absorción que poseen los materiales sometidos a altas frecuencias.

IMPEDANCIA ACUSTICA

El método de tubo acústico permite también el cálculo de la Impedancia Acústica. Dicha magnitud se define como la relación entre las amplitudes de la presión del sonido y de la velocidad de las partículas de aire en la superficie del material.

La forma compleja de la impedancia surge de la diferencia de fase existente entre la presión y velocidad anteriormente mencionadas y se expresa:

$$Z = r + j x$$

siendo: Z = impedancia normal específica
 r = resistencia normal específica
 $j = \sqrt{-1}$
 x = reactancia normal específica

La impedancia está relacionada matemáticamente con el coeficiente de absorción e interviene en el cálculo de los factores acústicos de transmisión y reflexión. Dicha relación es la siguiente:

$$Q = 1 - \left[\frac{Z/pc - 1}{Z/pc + 1} \right]^2$$

siendo: pc = impedancia característica del aire
 $= 41,5$ unidades c. g. s.

Con el fin de determinar la impedancia acústica

$$Z = r + j x$$

es necesario determinar L representativo de la diferencia en decibelios de las amplitudes del máximo y mínimo de presión en la onda estacionaria. También se precisa D_1 que representa la distancia de la muestra al primer mínimo de presión, y D_2 distancia entre el primero y segundo mínimos.

Estas dos distancias se miden en una escala calibrada, junto al raíl del micrófono carro.

Llevados estos valores a la expresión

$$\frac{Z}{pc} = \coth (A + j B)$$

$$A = \coth^{-1} \left[\log^{-1} (L/r_0) \right]$$

$$B = \pi \left(\frac{1}{2} - D_1 / D_2 \right)$$

Los valores de $\frac{r}{pc}$ y de $\frac{x}{pc}$

pueden leerse una vez obtenidos L y $\frac{D_1}{D_2}$

en la llamada "Carta de Smith", que se representa en la figura 2.

La impedancia o resistencia acústica es $Z = p \cdot v$

siendo: p la densidad del medio, y

v la velocidad de propagación del sonido en dicho medio

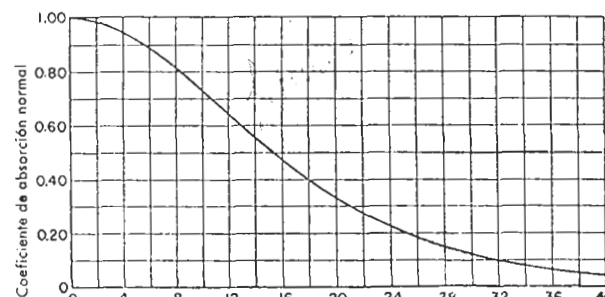


Fig. 1. Diferencia entre máx. y mín. de presión sonora L (db)

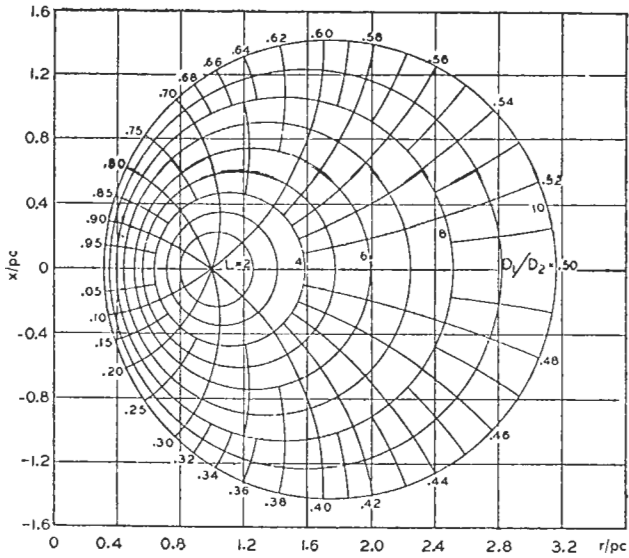


Fig. 2. Valores de r/pc y x/pc a partir de D1/D2 y L de 0 a 10

y, con arreglo a la definición anteriormente dada se puede expresar:

$$Z = \frac{P}{u}$$

siendo P y u las respectivas amplitudes de presión y de la velocidad de vibración de las partículas del medio.

Dicha impedancia varía de uno a otro medio, por ejemplo, para el agua es 4.000 veces mayor que para el aire.

La energía sonora transmitida por una superficie de separación entre dos medios, cuyas impedancias son

$$Z_1 \text{ y } Z_2$$

viene dada por el llamado "factor de transmisión", que representa la relación entre las energías transmitida y la incidente, y viene expresada por:

$$\text{Factor de transmisión} = \frac{4r}{(1+r)^2}$$

donde: $r = \frac{Z_2}{Z_1}$

Por lo tanto, si r es casi igual a la unidad, la energía incidente pasa casi íntegramente al segundo medio, mientras que si r es muy grande

$$Z_2 \gg Z_1 \text{ o muy pequeño } Z_2 \ll Z_1$$

la energía incidente será reflejada en la superficie de separación de ambos medios. Análogamente, el "factor de reflexión" en función de r, se expresa:

$$\text{Factor de reflexión} = 1 - \frac{4r}{(1+r)^2}$$

De lo anterior, se deduce que una buena transmisión requiere que las impedancias de los medios contiguos sean casi iguales, mientras que cuando son muy distintas la mayor parte de la energía es devuelta por reflexión.

DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DEL APARATO

En primer lugar conviene indicar que el equipo posee dos tubos de impedancia, de 10 y 3 cm de diámetro, y su elección depende de la frecuencia que se utilice.

El tubo por uno de sus extremos va atornillado a la caja del altavoz, y en el otro se coloca la muestra cuya absorción se desea medir.

El tubo microfónico es una varilla delgada, que se mueve a través del tubo de impedancia por su centro, y atraviesa el altavoz comunicando con el micrófono carro. La posición del tubo microfónico se lee en una escala paralela a los raíles del micrófono carro, existiendo dos varillas diferentes, según el tubo que se utilice.

Hay tres tipos de portaprobetas, con unas profundidades respectivas de 2,5 cm y 5 cm, 1 o dos primeros, y el tercero consiste en un tubo de 15 cm, con una especie de pistón,

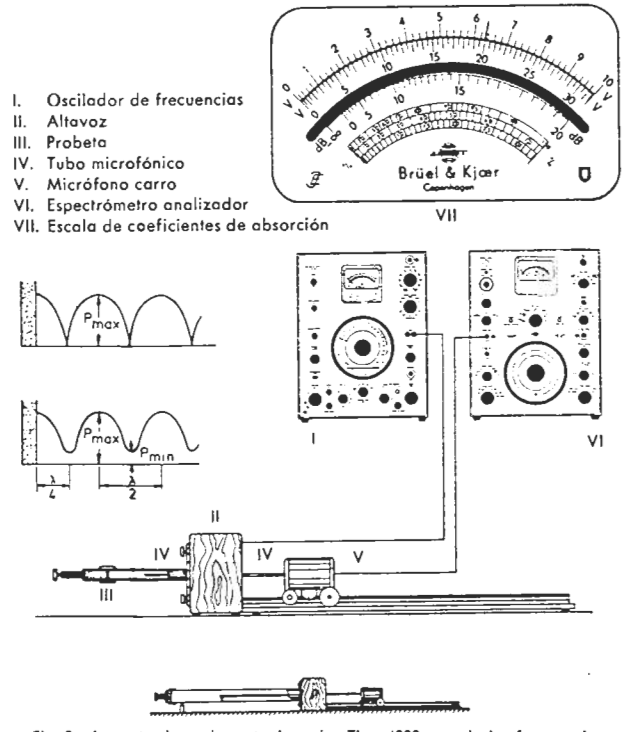


Fig. 3. Aparato de ondas estacionarias Tipo 4002 para bajas frecuencias

que puede deslizarse en su interior, y que permite medidas de absorción cuando existe una cierta separación, entre la muestra y la pared del portaprobetas.

El equipo consta de los aparatos que se indican a continuación:

Oscilador de frecuencias Brüel y Kjaer, tipo 1022 ó 1024.

Aparato completo de ondas estacionarias Brüel y Kjaer, tipo 4002.

Espectrómetro de audiofrecuencias analizador Brüel y Kjaer, tipo 2112.

Los citados aparatos, se muestran en la figura 3.

El funcionamiento es el siguiente:

En primer lugar se calibran el oscilador y el espectrómetro analizador.

Posteriormente se sitúa el tubo microfónico en la presión máxima.

Para frecuencias inferiores a 200 Hz no es posible encontrar la citada presión máxima y entonces la presión justamente enfrente de la probeta se toma como máxima.

Se mueve el micrófono hasta el mínimo y se lee directamente el coeficiente de absorción en la escala del espectrómetro.

Se leen las distancias D_1 (correspondiente al primer mínimo) y D_2 (distancia entre el primer y segundo mínimos de presión), que permiten calcular la impedancia acústica, según se ha explicado anteriormente.

En los ensayos realizados en el Laboratorio del Corcho, del INIA, se prepararon, mediante el correspondiente juego de brocas, probetas de aglomerado expandido puro de corcho, de forma circular y de 10 y 3 cm de diámetro. Cada probeta grande se colocó en contacto con la pared dura del portaprobetas, y se utilizaron frecuencias basadas en la serie R_{10} de "Preferred Numbers": 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1.000, 1.250, 1.600, 2.000, 2.500 y 3.150 Hz.

En la frecuencia de 1.000 Hz se ha estudiado cada una de las cuatro probetas grandes, según sucesiva separación de 1 cm en 1 cm de la cara posterior de la probeta, respecto a la placa dura del portaprobetas.

Con las probetas pequeñas se han estudiado las siguientes frecuencias: 800, 1.000, 1.250, 1.600, 2.000, 2.500, 3.150, 4.000, 5.000, 6.300 y 8.000 Hz con la cara de la probeta en contacto con el portaprobetas.

En los diferentes ensayos se han determinado,

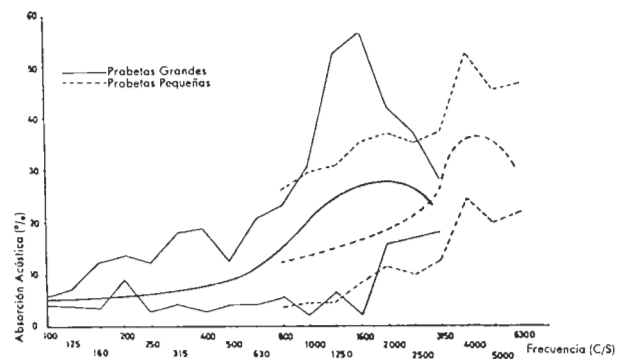


Figura 4. Curva de absorción acústica media, del aglomerado expandido puro de corcho, en placas para aislamiento acústico. Entorno envolvente, de la absorción acústica, para el conjunto de las muestras

basados en la Norma A. S. T. M. C-384-58 "Impedance and absorption of acoustical materials by the tube method" el coeficiente de absorción y la impedancia acústica para cada frecuencia y probeta.

Se han efectuado después las medias de los valores anteriores, lográndose un cuadro de valores medios para cada frecuencia, y según las dos clases de probetas, obteniéndose un gráfico de la curva de absorción.

También se ha determinado el coeficiente de reducción de ruidos (NCR), y que representa la media de los coeficientes de absorción acústica obtenidos con las frecuencias de 125, 250, 500, 1.000 y 2.000 Hz.

En la figura 4 se representa la curva de absorción acústica media, ajustada de la poligonal correspondiente, para los dos tipos de probetas y según las diferentes frecuencias.

A continuación se muestra la variación media de absorción, en función de la distancia probeta-placa, y para una frecuencia de 1.000 Hz. (ver figura 5).

En lo que a la densidad respecta, interesa utilizar muestras poco densas, ya que serán más porosas

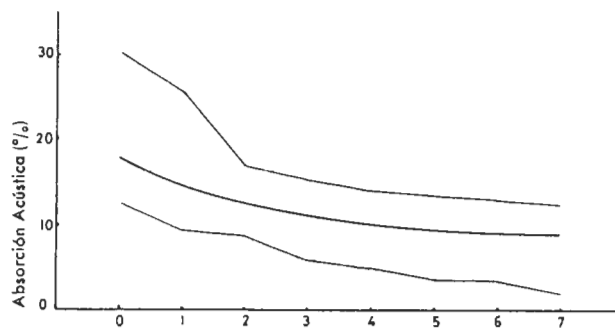


Fig. 5. Distancia Probeta-Placa Dura (cm)

y en consecuencia más absorbentes, condición ésta que califica a los llamados “correctores” acústicos, entre los que tenemos al corcho, el cual no se puede considerar aislante acústico.

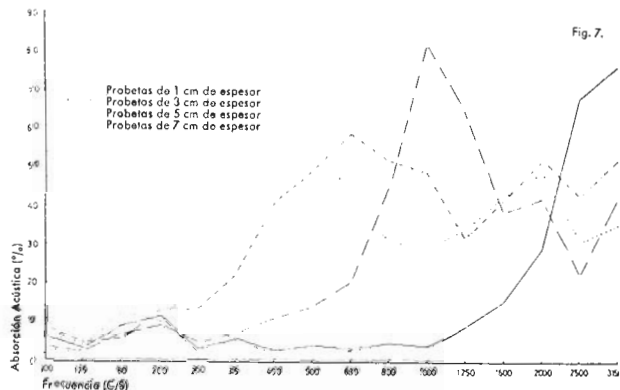
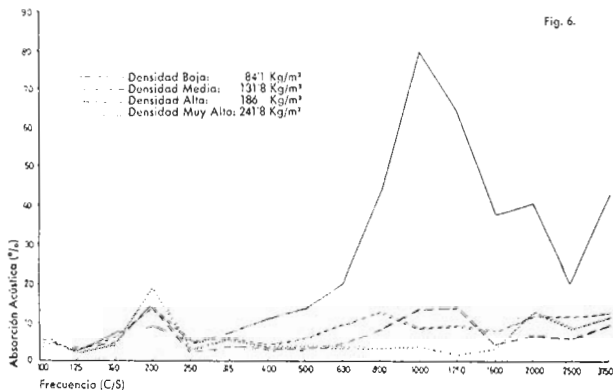
En la figura 6 se muestra la variación de la absorción, con la densidad para las diferentes frecuencias. En ella se observa que pequeñas variaciones en la densidad pueden representar grandes variaciones en la absorción acústica.

En lo referente al ancho de las probetas hay que señalar que, a mayor espesor corresponde una

mayor absorción.

Como se observa en la figura 7, a medida que disminuye el espesor el máximo de absorción, que el aglomerado presenta, corresponde cada vez a frecuencias más altas.

Finalmente, he de expresar mi profundo agradecimiento al Dr. Ingeniero de Montes, D. Luis Velasco Fernández, Jefe del Laboratorio del Corcho, del INIA, por la ayuda prestada en la realización del presente trabajo.



INTERCAMBIOS AITIM-TRADA (Timber Research and Development Asociation)

En el pasado mes de marzo, y dentro de los programas de relaciones con otros Centros de Investigación, Mr. Arnold V. Page, Ingeniero de TRADA, visitó la sede de AITIM y los Laboratorios de Control de Calidad.

Mr. Page, se interesó por las actividades de AITIM, que cumple funciones parecidas al TRADA en Inglaterra.

Especial atención mereció el proyecto de investigación sobre el Pino Insignis, sobre el que trabajan en su Centro, y se establecieron intercambios de información para la mejora de los trabajos.

Asimismo se habló de cooperación para la realización de programas y cursos conjuntos sobre el desarrollo de la vivienda prefabricada de madera, de gran tradición en Inglaterra,

sobre la que el TRADA ejerce una parte importante de su control de calidad.

La Asociación de Investigaciones para el Desarrollo de la madera, se fundó en el año 1934. Es la única Asociación científica y técnica del Reino Unido, trabajando solamente en la madera y sus productos derivados, y en el alcance y la profundidad de sus ocupaciones se encuentra entre las primeras organizaciones de su tipo en el mundo.

La A. I. D. M. es una entidad independiente, cuyos fondos se proveen de los suministradores y utilizadores de madera nacionales; de subvenciones del gobierno nacional, de la Comunidad Europea y de la O. N. U. D. I.; así como de empresas y personas privadas que necesitan su ayuda.