

# Investigaciones en materiales acústicos

*De la Colina, C; Rodríguez, R.M.; Pfretzschner, J.;  
Santiago, S.; Simón, F.; Moreno, A.  
Instituto de Acústica del CSIC. Serrano144 Madrid 28006 España  
Tel: +34 91 561 88 06  
Fax: +34 91 411 76 51*

PACS 43.55.-n, 43.55.Br, 43.55.Cs, 43.58.-e

## Resumen

**Se describe al actividad del Instituto de Acústica en relación al estudio, desarrollo e innovación de materiales y dispositivos acústicos. Desde la construcción en los momentos de su fundación, de instalaciones pioneras en nuestro país, dedicadas a la metrología de materiales acústicos, el Instituto de Acústica ha contribuido al establecimiento de un sistema normativo, tanto a nivel nacional como internacional, así como al fomento y asesoramiento a la Administración en la elaboración de reglamentos y documentos técnicos, además de mantener una línea constante de investigación, a través de los Planes Nacionales o de colaboraciones con el sector privado.**

## Summary

**The activity of the Instituto de Acústica with regard to the study, development and innovation of acoustical materials is presented. Since the construction, in the early 60's, of new measurement laboratories, pioneers in Spain, the Instituto de Acústica has contributed to the development of a normative system, both in national and international terms, as well as the advice to the Public Administration in setting up new bylaws and technical documents. In the same way, the Instituto de Acústica has maintained a continuous research line in acoustical materials, supported by the National Research Plans and through collaborations with private companies.**

## Introducción

Una parte fundamental de la actividad dentro del Instituto de Acústica, desde su fundación, ha estado dedicada al estudio, desarrollo e innovación de materiales y dispositivos acústicos.

La Metrología de los productos acústicos había constituido el aspecto más importante en las realizaciones previas a la fundación, condicionada en parte por la necesidad de adquirir experiencia directa en esta temática y en parte por la propia estructura empresarial española, en aquellos momentos interesada más en el soporte técnico que en una colaboración de desarrollo e innovación de nuevos productos. Su base estaba constituida por las instalaciones con que los pioneros acústicos\* (principio de la década de los sesenta) lograron dotarse con buen sentido: cámara reverberante y cámaras de aislamiento a ruido aéreo y de impactos, más un conjunto de tubos de ondas estacionarias con fines específicos en los absorbentes anecoicos.

Desde entonces se ha ido evolucionando, manteniendo siempre la idea de aplicación y utilidad para el entramado comercial y social del país, desde la asistencia técnica mencionada hasta el desarrollo y la innovación, con incidencia particularmente centrada en el sector de la construcción. Esta idea de desarrollo e innovación ha sido una constante en la interacción con las empresas españolas y nos cabe el honor de haber contribuido en cuantía considerable al desarrollo y enraizamiento de la misma en su componente acústica. En el presente, las empresas comienzan a interesarse por nuevos productos y mejoras de productos, compatibles con sus tecnologías. Desde mediados de los setenta se ha pasado de “medir” media docena de productos al año, a firmar un nu-

mero equivalente o superior de contratos de I+D. No pensamos que con esto ya se haya conseguido todo pues queda pendiente la inducción a una sustancial mejora de tecnologías más novedosas y nuevos productos con propiedades más destacadas.

A este clima hemos contribuido también con acciones en favor del establecimiento de un sistema normativo. Por una parte, desde el punto de vista de técnicas experimentales de caracterización de los productos y dispositivos, a través de IRANOR y AENOR, incluso fomentando y facilitando su constitución y asegurando decisivamente su actividad continuada a través del actual comité AEN/CTN 74 Acústica. La participación en organizaciones equivalentes con actuación a escala europea e internacional (ISO, CEN etc.) no es sino una proyección y continuidad de aquella. También hay que citar en este sentido la intervención en la Directiva Europea 106/88 sobre productos de construcción.

Por otra parte se ha fomentado y asesorado a la Administración, general y local, en la elaboración de reglamentaciones y documentos técnicos de aplicación en la convivencia ciudadana diaria. Cabe destacar en este sentido la contribución decisiva en la NBE-CA Condiciones acústica en los edificios, ordenanza municipal de Madrid, legislaciones del País Vasco etc. Cursos seleccionados de especialización en materiales acústicos a entidades y empresas (Andima, Atecir, Cristalería Española, Epysa etc.) que creemos han contribuido a la capacitación de profesionales como medio de un mejor conocimiento y más juiciosa utilización de los materiales y dispositivos acústicos. En un nivel formativo más básico, hay que señalar la constante colaboración con la fundación Escuela de la Edificación, en cursos regulares de especialización en el seno de la UNED, orientados preferentemente a arquitectos técnicos, y en cursos puntuales con un buen número de Colegios Oficiales, de distintas autonomías y provincias.

Otra contribución al desarrollo de los materiales acústicos en España ha consistido en el asesoramiento de la construcción de nuevas cámaras acústicas para otros laboratorios y entidades. Entre ellas destacamos las intervenciones en las instalaciones del actual M. de Fomento en Madrid, (calle J. Camarillo), y en las del Laboratorio de Ensayos e Investigaciones de la Generalidad de Cataluña (LGAI), en Bellaterra.

Al aseguramiento de la calidad de productos y Laboratorios se ha contribuido a través de asesorías al Sistema de Calibración Industrial (SCI). Nuestra propia calidad la hemos mantenido a través de intercomparaciones internacionales de redes de laboratorios, tanto en aislamiento como en absorción. Los tiempos actuales implican no sólo actuar como asesores en ENAC o anteriormente en RELE, sino también en establecer los sistemas preconizados por la normativa ISO, serie 5000, o UNE equivalentes, tarea en que continuamos colaborando.

Usualmente el desarrollo de un producto conlleva investigaciones básicas orientadas, que proporcionen aspectos del comportamiento acústico de los materiales no difundidos en la bibliografía, o sencillamente ignorados y que resultan vitales en el desarrollo de nuevas aplicaciones. En ocasiones, estos estudios sólo pueden llevarse a cabo a través de los Planes Nacionales de Investigación. Sólo en contadas ocasiones pueden acometerse a un nivel satisfactorio a través de los contratos con las empresas.

## Productos absorbentes

A lo largo de estos años se han analizado, investigado y desarrollado materiales y dispositivos absorbentes muy variados, de la práctica totalidad de los tipos: porosos, fibrosos, granulares, espumas, acolchados, anecoicos, techos suspendidos, biombos de compartimentación parcial en oficinas diáfanas, etc.. En las fases de diseño, el tubo de ondas estacionarias suele usarse de manera preferente, generalmente en conjunción con unas instalaciones para la medición de la resistencia al flujo de aire y la porosidad. Como generalmente las propiedades acústicas de los productos son función del tamaño, se hace imprescindible disponer de una buena cámara reverberante, cuyo mantenimiento y optimización hay que asegurar (en una comunicación a *Tecniacústica 2000* pueden verse las características actuales de nuestra cámara).

Por su interés y actualidad mencionaremos a continuación dos temas estudiados. Fruto de la colaboración con las industrias cerámicas, de tanta tradición en nuestro país, fue el desarrollo, a través de Hispalyt, de piezas cerámicas absorbentes de banda ancha. En base a asociaciones de sistemas resonadores, se elaboró un modelo de diseño asistido por ordenador, mediante el cual, para tamaños habituales en cerámicas de construcción, se definieron varios prototipos, contruidos posteriormente por empresas asociadas a Hispalyt. En la primera fase experimental, el estudio se realizó en tubo de ondas estacionarias, concluyéndose más tarde con una verificación en cámara reverberante. Su aplicación fundamental está orientada a la absorción acústica en exteriores, con productos resistentes a la intemperie. En conjunto se obtuvieron resultados de utilidad en barreras acústicas. En esta realización fue necesario completar la teoría relativa al término resistivo, con la introducción de un término adicional de origen externo para conseguir concordancia con los resultados experimentales. En la primera figura aparece este término resistivo de acuerdo a la teoría completa, para tres frecuencias de resonancia, en función de la longitud,  $l$ , y del radio,  $a$ , del cuello cilíndrico, elemento clave en el proceso de diseño.

En la tabla siguiente se dan los datos geométricos de la asociación de resonadores serie-paralelo, cuyos resultados de

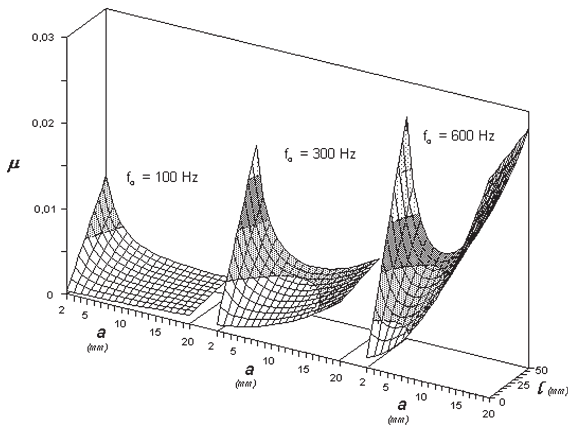


Figura 1. Término resistivo de resonadores de Helmholtz

previsión teórica y de medición experimental aparecen en la figura que sigue.

$\ell$ (mm)	a (mm)	V (cm <sup>3</sup> )
17.5	4	149
18.7	6	89
6.8	6	119

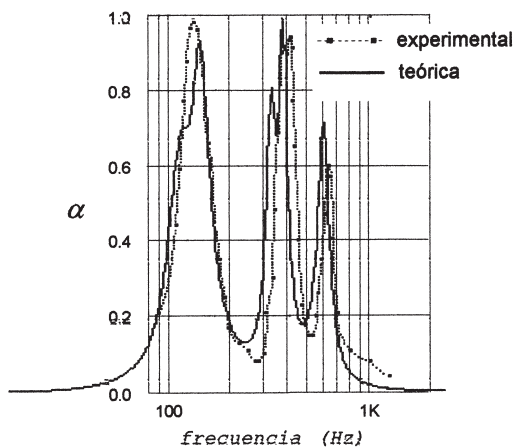


Figura 2. Coeficientes de absorción, teóricos y experimentales, de asociación de resonadores serie-paralelo.

Como segundo caso referimos una línea de investigación que se ha venido desarrollando en los últimos años, sobre la elaboración de productos absorbentes a base de granza de caucho resultante de la recuperación de productos de desecho como es el caso de los neumáticos usados, contribuyen-

do, de paso, a reducir la contaminación medioambiental. La participación durante dos años en el proyecto LIFE-RUE-NUV de la Unión Europea concluyó con la realización de un prototipo de pantalla acústica absorbente.



Figura 3. Estudio integral de la absorción acústica de la granza de caucho en cámara reverberante.

En este estudio se han desarrollado modelos matemáticos de predicción del comportamiento del material, en función de su composición y de su forma geométrica, obteniendo una absorción controlada y compatible con los procesos de fabricación y conformación. Los modelos se contrastaron con ensayos en tubo de ondas estacionarias y en la cámara reverberante.

La figura 4 muestra dos prototipos de paneles (40 x 40 cm<sup>2</sup>) de uso preferente en pantallas anti-ruido. (La granza de caucho también incluye propiedades destacadas como material aislante del ruido de impactos, que se están estudiando con resultados bastante prometedores hasta el momento presente).



La figura 4. Absorbente de granza de caucho para tratamiento superficial de barreras acústicas.

## Productos y dispositivos aislantes

Las investigaciones en este campo han versado sobre la práctica totalidad de las magnitudes con una influencia decisiva en el aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos: efecto de capas adhesivas en vidrios laminares, sistemas de montaje y absorbentes en divisorios multicapa de yeso-cartón, elementos livianos de compartimentación en buques, aditivos de amortiguamiento adicional, efecto en las constantes elásticas con repercusión en el aislamiento acústico de aditivos inertes en productos cerámicos, introducción de capas de espumas plásticas elásticas compatibles con el sistema estructural de forjados habituales en España, etc. La lista se haría interminable así como el de las entidades interesadas en estos estudios.

Pensamos haber influido enormemente en la mentalidad innovadora de las empresas, pero queda aún bastante camino por recorrer para conseguir una colaboración con todas las posibilidades de desarrollo e innovación imprescindibles en la agresiva competitividad requerida por el mercado actual.

Por su incidencia medioambiental quizá deba citarse el desarrollo de un dispositivo transparente, a base de vidrio, para conseguir la reducción del ruido ambiental que, la estación Puerta de Atocha, produce en el entorno circundante, particularmente hacia la zona de la calle de Méndez Alvaro. Se realizó el desarrollo a partir de un estudio sistemático en nuestras cámaras de aislamiento, tomando como base la multiplicidad de ruidos generados en la explotación de la estación, y los datos ambientales y percepciones subjetivas de los vecinos del entorno obtenidos en un estudio anterior.

En todo este proceso ha sido necesario el uso y optimización de métodos avanzados de caracterización de las condiciones experimentales reales de nuestras cámaras de transmisión horizontal, pudiendo afirmar que en la actualidad el  $R_w$  máximo es de 80 dB.

Aunque de forma puntual, se han realizado incursiones, inicialmente por proximidad temática y después por la importante información complementaria a los temas anteriores, en la interacción campo acústico aéreo y vibraciones inducidas en sólidos. Una, para estudiar el efecto de un tratamiento químico en la calidad de maderas para construcción de instrumentos musicales (véase un resumen presentado en *Tecniacústica 98*, en Lisboa). Otra, en colaboración con la industria aeroespacial, a través de CASA, sobre los efectos que esta interacción produce en la respuesta dinámica de paneles para antenas reflectoras de los satélites de comunicaciones bajo condiciones de altos niveles de presión sonora.

Para terminar mostraremos un ejemplo de la utilidad de la caracterización sistemática de productos acústicos, en este caso aislantes del ruido aéreo: derivación de las leyes empíricas de la ley de masa para elementos divisorios en placa de una sola capa microscópicamente homogénea, y para productos homogéneos tales como vidrieras, puertas etc., usados en la NBE-CA 88. En la Figura 5 aparece la correspondiente a divisorios en general, construidos con materiales y tecnologías españolas, a partir de los valores experimentales obtenidos en el Instituto. Este tipo de estudios, por su precio y extensión en el tiempo, no se adaptan a los planteamiento de los planes nacionales de investigación.

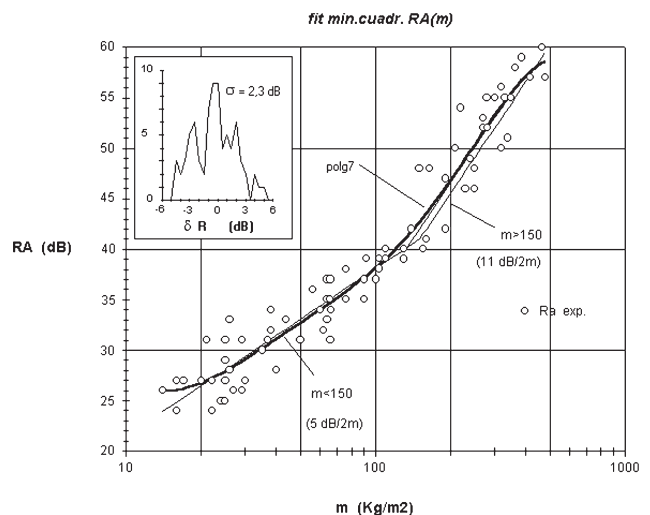


Figura 5. Derivación de la ley de masa a partir de valores experimentales de aislamiento acústico de divisorios verticales.

Esta figura muestra que a partir de la masa por metro cuadrado de pared, puede tenerse una previsión buena del aislamiento acústico a ruido aéreo, valorado a través de su índice global  $R_A$  (aumentando los valores de aislamiento en 1 dB puede servir para el índice  $R_w$ , mas tradicional en la norma ISO 717). La curva ondulada, corresponde al mejor ajuste por mínimos cuadrados de un polinomio de 7º grado, que justifica la sustitución por dos rectas que se cortan para  $m = 150 \text{ Kg/m}^2$ , de pendientes 5 dB/dup.masa ( $m < 150$ ), y 11 dB/dup.masa. También se muestra el histograma de las diferencias entre los valores experimentales y los del ajuste, que con la desviación típica  $\sigma = 2,3 \text{ dB}$  dan información adicional sobre los errores de su uso.

Otro resultado importante obtenido ha sido la clasificación en familias o tipos de forma de las curvas de aislamiento (tipos /, \, /, \, /, /, /) que están en la base de un método

do de Monte Carlo mediante el cual hemos elaborado una teoría de sólida fundamentación del índice global  $R_A$ , o aislamiento en decibelios A, y su análisis comparativo con el índice  $R_w$ . Ahora, esta norma engloba ambos índices. Por su importancia, aparece desarrollado en otra contribución específica a la celebración del 25 Aniversario del Instituto de Acústica.

## Epílogo

De cara al futuro, el Instituto de Acústica seguirá atendiendo las necesidades del mercado, colaborando tanto con la industria como con las administraciones en una creciente mejora de la calidad acústica. En este sentido, las exigencias de aislamientos en edificación serán elevadas como consecuencia de las necesidades mostradas por los ciudadanos, y se hará necesario seguir investigando en la búsqueda de nuevos materiales y soluciones que garanticen un confort

acústico adecuado. Por otra parte, la nueva normativa, en curso de elaboración, se orienta hacia el control de la obra terminada en línea con los planteamientos de los países del entorno europeo. Los sistemas constructivos y la ejecución son dos factores clave, condicionantes del aislamiento final. El Instituto de Acústica deberá jugar un papel fundamental en llevar a buen término este proyecto, para lo cual se está elaborando un convenio con el Ministerio de Fomento. En este sentido, dentro de los objetivos del Instituto de Acústica, se contempla la contrastación de las previsiones teóricas con la realidad constructiva española, lo que requerirá para los años siguientes, la realización de nuevos laboratorios para la medición de las transmisiones indirectas en el aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos

---

(\*) NOTA: Hay que mencionar a Andrés Lara, Antonio Pérez López, Miguel Estarellas y Vicente Bañuls. Por actuaciones temporales, merece mención Luis Sánchez Pina.