



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A072

Análisis de variables en mediciones de fonoabsorbentes

Ariel Velis^(a),
Federico Iasi^(a),
Nilda Vechiatti^(a),
Horacio Bontti^(a),
Alejandro Armas^(a),
Daniel Tomeo^(a).

(a) Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (LAL-CIC). Camino Centenario y 506, (1897) Gonnet, Buenos Aires, Argentina. TE/FAX: (54 221) 484-2686. E-mail: ciclal@gba.gov.ar

Abstract

The sonorous absorption coefficient measurement of materials used in acoustic treatments is fundamentally based on two standardized methods: reverberant chamber and standing wave tube. Frequently, it is tried to evaluate the behavior of sound absorbers from the test in tube, since this method requires minor amount of material and infrastructure that the one of the chamber. Nevertheless, the results of both methods are not clearly correlated. Also, great divergences in the measurements results of samples of the same materials can be found, and they depends on the assembly and the geometry of the samples. In this work the variables that affect the behavior of diverse materials are analyzed, when they are measured under different assembly conditions and methods.

Resumen

La medición del coeficiente de absorción sonora de materiales empleados en tratamientos acústicos, se basa fundamentalmente en dos métodos normalizados: cámara reverberante y tubo de onda estacionaria. Frecuentemente, se pretende evaluar el comportamiento de fonoabsorbentes a partir del ensayo en tubo, ya que este método requiere menor cantidad de material e infraestructura que el de la cámara. Sin embargo, los resultados de ambos métodos no están claramente correlacionados. A su vez, dentro de las mediciones por el método del Tubo, se pueden encontrar grandes divergencias en los resultados entre muestras del mismo material, dependiendo del montaje y de la geometría de las mismas. En este trabajo se analizan las variables que inciden en el comportamiento de diversos materiales, cuando se mide cada uno de ellos con distinto método y bajo diferentes condiciones de montaje.

1 Introducción

Los ensayos de fonoabsorbentes se realizan, fundamentalmente, mediante dos métodos normalizados: en tubo de onda estacionaria y en cámara reverberante. Mientras que con el método de la cámara reverberante se obtiene el coeficiente de absorción sonora para incidencia aleatoria (campo difuso), con el del tubo se miden el coeficiente de absorción sonora para incidencia normal y la impedancia acústica normalizada.

Por ambos métodos se obtienen diferentes parámetros que, en algunos casos tienen correlación entre sí, y en otros no. Las diferencias obtenidas dependen de varios factores, entre otros: el tipo de material y el montaje.

El coeficiente de absorción para incidencia normal depende fuertemente de las condiciones de montaje de la muestra. La colocación de las probetas en el tubo, es de gran importancia para obtener resultados confiables.

Por este motivo, resulta importante conocer las diferencias del coeficiente de absorción obtenido por ambos métodos para distintos tipos de materiales y con diferentes consideraciones de montaje.

2 Metodologías de ensayo y clasificación de materiales

Las mediciones en cámara se realizaron de acuerdo con los lineamientos de la Norma IRAM 4065¹, en la cámara reverberante del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, que cumple con los requisitos especificados en dicha norma. Para estas mediciones se utilizaron 2 posiciones diferentes de las fuentes sonoras y 6 posiciones del micrófono, realizándose 2 registros por cada combinación fuente-micrófono, con lo cual, cada tiempo de reverberación fue el resultado del promedio de 24 caídas de nivel sonoro.

Las mediciones en el tubo de onda estacionaria, se realizaron según la parte 1 de la Norma ISO 10534², utilizándose un tubo de onda estacionaria Brüel & Kjaer modelo 4002. El modo de colocación de las probetas en el portamuestras del tubo, tiene influencia en los resultados obtenidos. En esta norma ISO se dan algunas indicaciones generales, tales como no comprimir la muestra o no dejar intersticios alrededor de los bordes, pero no se especifica el grado de dispersión que puede obtenerse al ensayar diferentes probetas de un mismo material que, de un modo indirecto, está relacionado con la cantidad mínima de probetas a ensayar. Con estas mediciones se obtuvieron los coeficientes de absorción, a partir de generar tonos puros coincidentes con las frecuencias centrales de las bandas de tercios de octavas comprendidas entre 100 y 5000 Hz, en dos rangos de ensayo: de 100 a 1600 Hz para probetas de 10 cm de diámetro (tubo grande), y de 800 a 5000 Hz para probetas de 3 cm de diámetro (tubo chico).

Los resultados se obtuvieron como promedio de mediciones realizadas sobre cinco probetas de cada tamaño. Además, la curva para el rango de 800 a 1600 Hz se obtuvo promediando las mediciones de ambos tubos.

¹ Norma IRAM 4065/95: "Acústica. Medicion de absorcion de sonido en sala reverberante". Se corresponde totalmente con la ISO 354/85: "Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room".

² ISO 10534-1/96: "Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 1: Method using standing wave ratio".

Por otra parte, se tuvo en cuenta la incidencia del modo de montaje de las probetas en los valores medidos, por lo que se presentan en un mismo gráfico las curvas obtenidas para las diferentes probetas de cada material con el fin de mostrar la dispersión de los resultados.

De este modo, para cada material se obtuvo un par de curvas de absorción en función de la frecuencia (una con cada método de ensayo), que se presentan en un mismo gráfico con el objeto de apreciar el grado de correlación entre ambas.

Para este trabajo, los materiales ensayados se han clasificado del siguiente modo:

- i. Fonoabsorbentes homogéneos de superficie regular: compuestos por un sólo material y que no presentan irregularidades en su superficie en comparación con el tamaño de la probeta ensayada. En este grupo se midieron dos muestras de lana de vidrio: una de 50 mm de espesor (fotografía 1), y otra de 20 mm de espesor (fotografía 2).
- ii. Fonoabsorbentes homogéneos de superficie irregular: compuestos por un sólo material y que presentan irregularidades en su superficie en comparación con el tamaño de la probeta ensayada. Se midió una muestra de espuma de poliuretano, comúnmente denominada “facetada” o con cuñas anecoicas (fotografía 3).
- iii. Fonoabsorbentes heterogéneos: conformados por dos materiales diferentes, adheridos entre si, formando un único fonoabsorbente con una composición volumétrica diferente a la superficial. En este grupo se midieron dos paneles de lana de vidrio de 20 mm de espesor que diferían en el material de la superficie. Uno de ellos con velo de vidrio pintado (fotografía 4), y el otro con una lámina de PVC (fotografía 5).

Para los ensayos en el tubo, al recortar las probetas, se tuvo la precaución de que no quedaran comprimidas dentro del portamuestras, ni tampoco excesivamente flojas como para evitar espacios alrededor del perímetro del material.

Para el ensayo del material homogéneo irregular, las probetas se recortaron de tal manera que las irregularidades presentes en su superficie abarcaran la mayor cantidad de posibilidades, incluyendo “picos y valles”, especialmente para las del tubo chico (según se expresa en la norma ISO de aplicación).

Para el ensayo de los materiales heterogéneo, también se tuvo en cuenta si el material superficial (generalmente más rígido que el volumétrico) quedaba comprimido en el portamuestras, ya que esta condición modifica el grado de libertad de vibración de dicha superficie.



Fotografía 1. Lana de vidrio de 50 mm



Fotografía 2. Lana de vidrio de 20 mm



Fotografía 3. Espuma de poliuretano “facetada”



Fotografía 4. Lana de vidrio de 20 mm con velo de vidrio pintado



Fotografía 5. Lana de vidrio de 20 mm con lámina de PVC

3 Resultados obtenidos

3.1 Fonoabsorbentes homogéneos de superficie regular

3.1.1 Lana de vidrio de 50mm de espesor

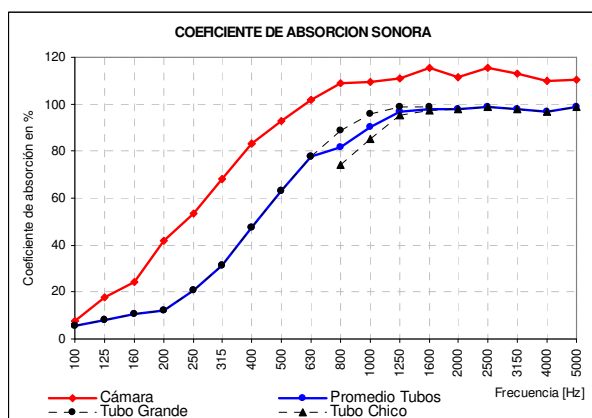


Gráfico 1. Coeficiente de absorción sonora obtenido por ambos métodos

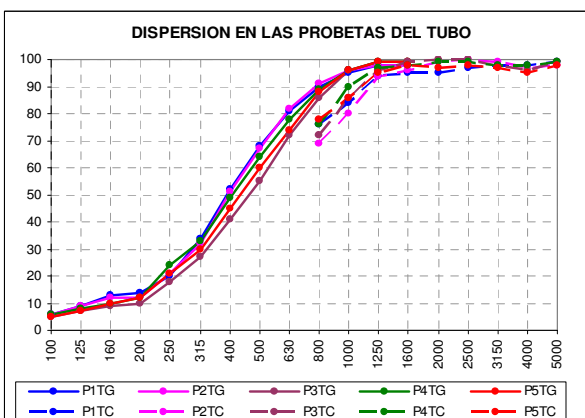


Gráfico 2. Dispersión del coeficiente para las diferentes probetas en tubo

3.1.2 Lana de vidrio de 20mm de espesor

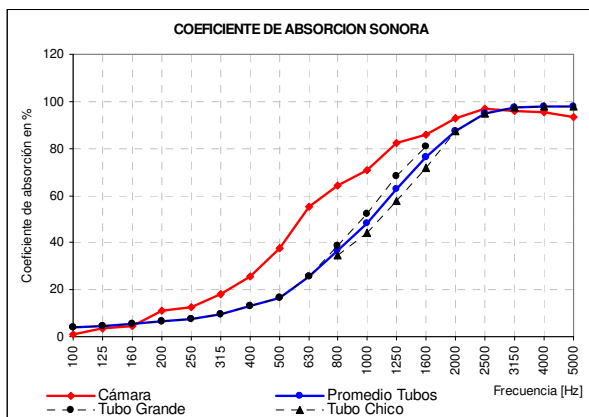


Gráfico 3. Coeficiente de absorción sonora obtenido por ambos métodos

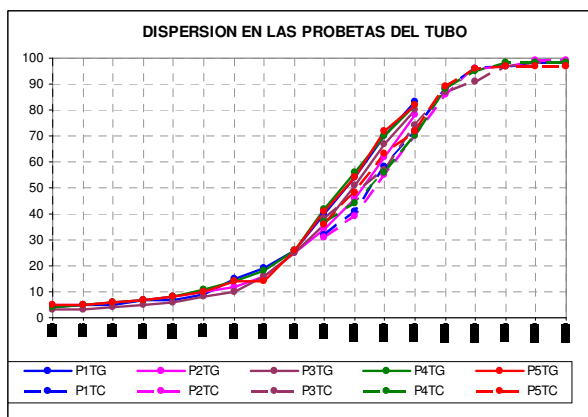


Gráfico 4. Dispersión del coeficiente para las diferentes probetas en tubo

3.1.3 Análisis de los resultados obtenidos

Correlación tubo-cámara: en los gráficos 1 y 3 se puede apreciar una importante correlación entre los resultados obtenidos por ambos métodos de ensayo para este tipo de materiales. Se mantiene la “forma” de la curva, pudiéndose predecir con una buena aproximación el comportamiento en cámara a partir del comportamiento en tubo.

Dispersión de las mediciones en tubo: en los gráficos 2 y 4 se puede apreciar que la dispersión de las mediciones de las diferentes probetas es muy baja. Si bien en este caso se han medido cinco probetas, hubiese sido suficiente con medir al menos dos, tal cual lo expresa la norma.

3.2 Fonoabsorbentes homogéneos de superficie irregular

3.2.1 Espuma de poliuretano de superficie facetada

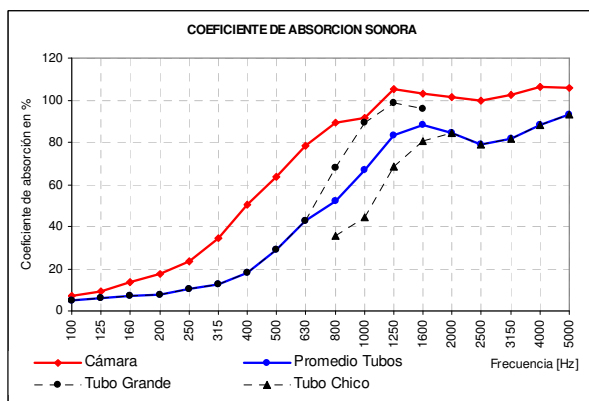


Gráfico 5. Coeficiente de absorción sonora obtenido por ambos métodos

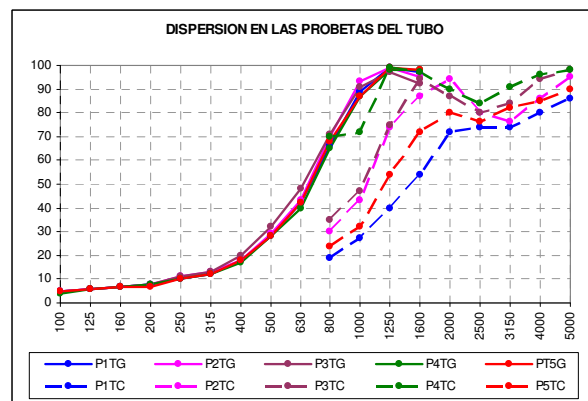


Gráfico 6. Dispersión del coeficiente para las diferentes probetas en tubo

3.2.2 Análisis de los resultados obtenidos

Correlación tubo-cámara: en el gráfico 5 se puede apreciar una importante correlación entre los resultados obtenidos por ambos métodos de ensayo, al igual que en el caso anterior.

En principio, tratándose de un material homogéneo y poroso, podía esperarse un comportamiento similar al caso anterior.

Dispersión de las mediciones en tubo: en el gráfico 6 se puede apreciar una elevada dispersión en las mediciones de las diferentes probetas ensayadas en el tubo chico. Esto concuerda con lo esperado, ya que las dimensiones de las irregularidades superficiales son del mismo orden de magnitud que el diámetro de la probeta. Mientras que en las mediciones en tubo grande, al emplear probetas de mayor diámetro, las dimensiones de las irregularidades dejan de ser comparables con el diámetro de las mismas. En este caso también se han medido 5 probetas en cada tubo, y se deduce que si bien en el tubo grande podría haberse ensayado un número menor de probetas, en el tubo chico es necesario medir una cantidad mayor.

3.3 Materiales Heterogéneos

3.3.1 Panel de lana de vidrio de 20 mm de espesor con velo de vidrio pintado en su superficie (montaje A en tubo)

Condiciones de montaje en cámara: apoyado directamente sobre el piso.

Condiciones de montaje A en tubo: apoyado directamente sobre la superficie rígida del portamuestras y material superficial sin comprimir (borde de superficie libre, sin tocar el portamuestras).

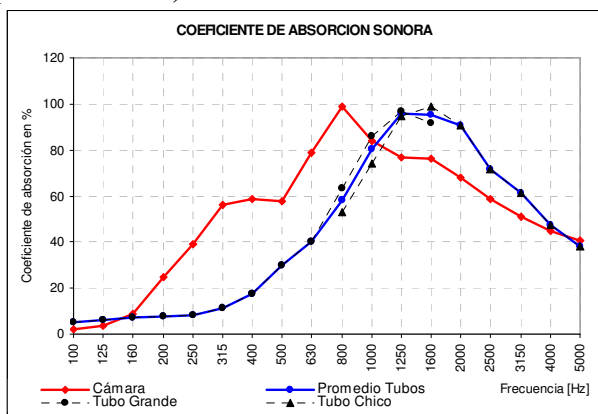


Gráfico 7. Coeficiente de absorción sonora obtenido por ambos métodos

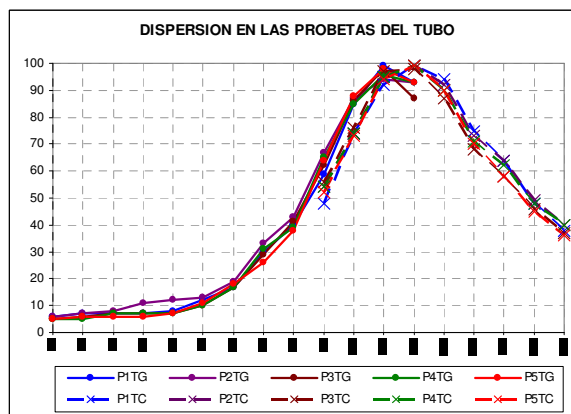


Gráfico 8. Dispersión del coeficiente para las diferentes probetas en tubo

3.3.2 Panel de lana de vidrio de 20 mm de espesor con lámina de PVC en su superficie (montaje A en tubo)

Condiciones de montaje en cámara: apoyado directamente sobre el piso.

Condiciones de montaje A en tubo: apoyado directamente sobre la superficie rígida del portamuestras y material superficial sin comprimir (borde de superficie libre, sin tocar el portamuestras).

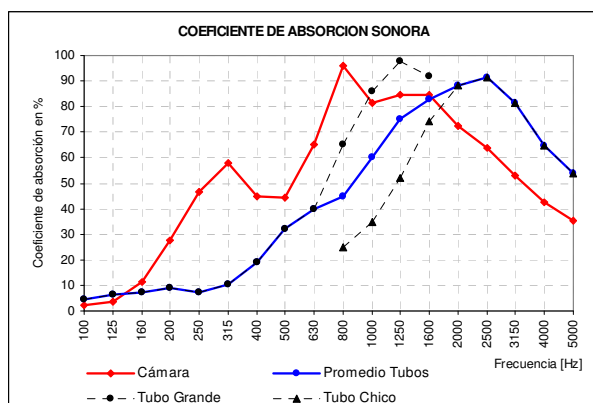


Gráfico 9. Coeficiente de absorción sonora obtenido por ambos métodos

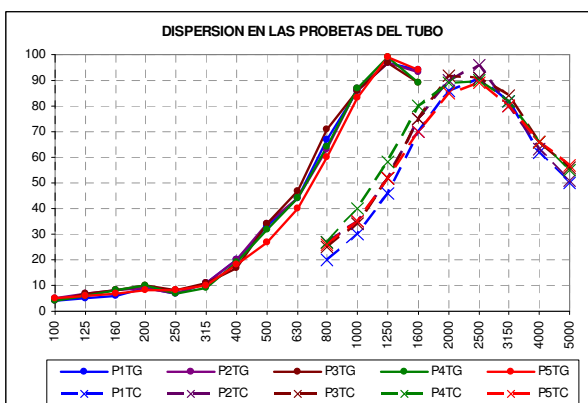


Gráfico 10. Dispersión del coeficiente para las diferentes probetas en tubo

3.3.3 Análisis de los resultados obtenidos

Correlación tubo-cámara: en los gráficos 7 y 9 se puede apreciar que existe una notable diferencia entre los resultados de ambos métodos de ensayo. Esto se debe a los diferentes tamaños requeridos para las muestras en ambos métodos (12 m^2 en cámara, y probetas de $0,008$ y de $0,0007 \text{ m}^2$, en tubo), que en combinación con el efecto “membrana” de su superficie, revelan distintos comportamientos de vibración según las características geométricas de la muestra ensayada. Refuerza esta hipótesis, la gran diferencia existente entre las mediciones en tubo grande y tubo chico, para el material con membrana más rígida (PVC).

Además, el análisis del comportamiento en cámara, devela resonancias debidas a la geometría, cuyas frecuencias no coinciden con las de resonancia en el tubo.

Dispersión de las muestras en tubo: en los gráficos 8 y 10 se puede apreciar una pequeña dispersión de los resultados obtenidos en el tubo para las diferentes probetas de un mismo material. Cabe destacar que para lograr esto, a diferencia de los materiales homogéneos, se debió tener extrema precaución en el corte de las probetas, teniendo los siguientes recaudos:

- Las probetas no deben estar comprimidas contra las paredes del tubo, especialmente el material de la superficie expuesta al sonido (más rígido que el material interior). Debe cortarse de un modo tal que permita la libertad de acomodamiento del fonoabsorbente dentro del tubo.
- No deben dejarse rendijas entre el tubo y la muestra. Es decir, las probetas no deben tener un tamaño menor al diámetro interior del tubo, ni deben poseer perforaciones ni partes defectuosas.

3.3.4 Panel de lana de vidrio de 20 mm de espesor con velo de vidrio pintado en su superficie (montaje B en tubo)

Condiciones de montaje en cámara: apoyado directamente sobre el piso.

Condiciones de montaje B en tubo: apoyado directamente sobre la superficie rígida del portamuestras y material superficial levemente comprimido (borde de superficie no libre, tocando ligeramente el portamuestras).

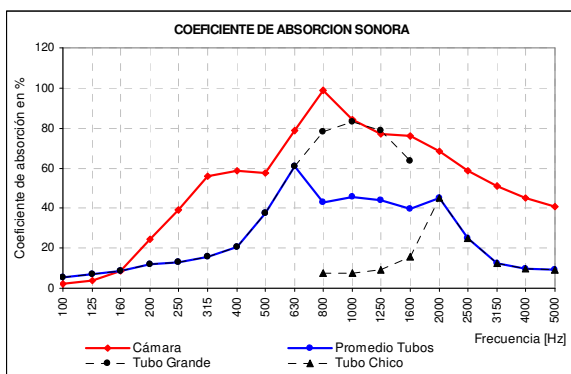


Gráfico 11. Coeficiente de absorción sonora obtenido por ambos métodos

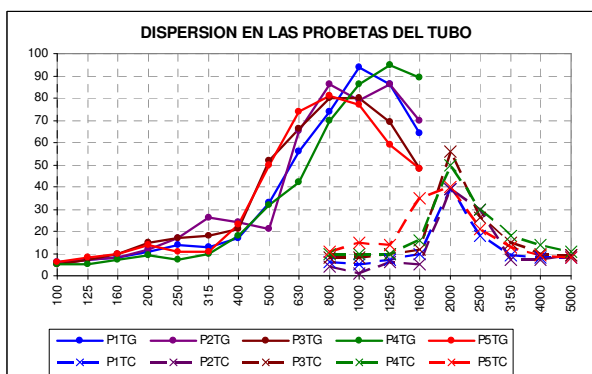


Gráfico 12. Dispersión del coeficiente para las diferentes probetas en tubo

3.3.5 Panel de lana de vidrio de 20 mm de espesor con lámina de PVC en su superficie (montaje B en tubo)

Condiciones de montaje en cámara: apoyado directamente sobre el piso.

Condiciones de montaje B en tubo: apoyado directamente sobre la superficie rígida del portamuestras y material superficial levemente comprimido (borde de superficie no libre, tocando ligeramente el portamuestras).

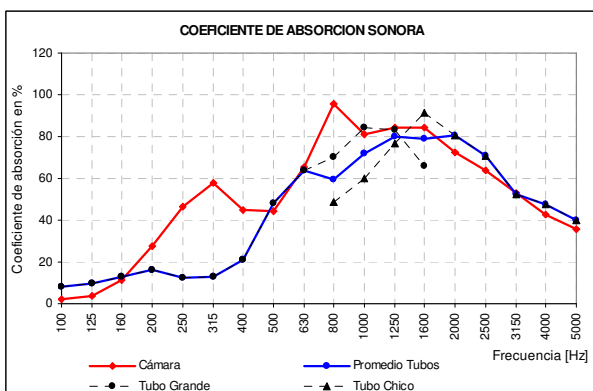


Gráfico 13. Coeficiente de absorción sonora obtenido por ambos métodos

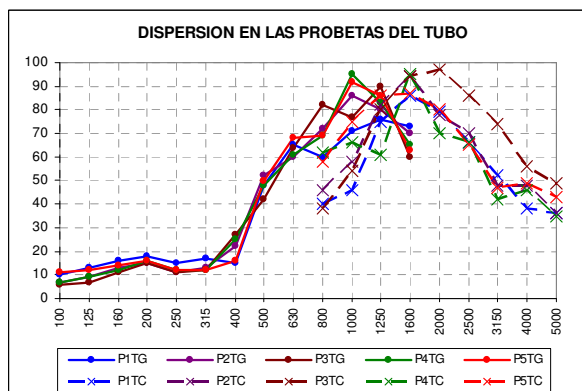


Gráfico 14. Dispersión del coeficiente para las diferentes probetas en tubo

3.3.6 Análisis de los resultados obtenidos

Correlación tubo-cámara: en los gráficos 11 y 13 se puede apreciar que, en las mediciones en tubo, para el montaje B aparecen resonancias que con el montaje A no existían. Es decir, que se ponen de manifiesto comportamientos asociados con el montaje del mismo y no con características propias del material. Por este motivo, la correlación entre el tubo y la cámara ya no tiene sentido alguno debido a que en ambos casos el montaje influye en los resultados obtenidos.

Según se ve en ambos gráficos, la diferencia de valores entre tubo grande y tubo chico, es realmente notoria, sobre todo en el rango de superposición, lo cual refuerza la hipótesis de la gran influencia del montaje y del formato de las probetas. Debido al contacto entre el perímetro de las muestras y las paredes del tubo, las condiciones de borde influyeron casi por

completo en el comportamiento del absorbente, modificando en gran medida la absorción que podría tener el material en otras condiciones (por ejemplo con mayor libertad de movimiento).

Dispersión de las muestras en tubo: en los gráficos 12 y 14 se puede apreciar una gran dispersión en las curvas obtenidas para las diferentes probetas de cada material, tanto en tubo grande como en tubo chico. Esto también muestra la gran influencia que tiene el grado de libertad de movimiento o vibración del material.

4 Conclusiones finales

En la medición de coeficiente de absorción sonora de materiales mediante los dos métodos de ensayo tradicionales, cámara reverberante y tubo de onda estacionaria, se destacan tres variables fundamentales: el montaje de las muestras, la geometría de las mismas y el número de probetas medidas y promediadas para cada material.

En lo que respecta al montaje en el tubo, se subraya la necesidad de cuidar que las probetas ocupen el portamuestras sin quedar comprimidas, ni tampoco excesivamente flojas (evitando espacios libres en el perímetro del material). Para el caso de fonoabsorbentes heterogéneos, con un material membranoso en su superficie (delgado y más rígido que el material volumétrico), resulta fundamental que el recorte de las probetas se realice cuidando que al ser colocadas en el portamuestras no toquen el borde del mismo, sino que tenga libertad para vibrar. Para el caso de fonoabsorbentes homogéneos de superficie irregular, la geometría del material determina que la elección del lugar en que se recorten las probetas tendrá gran influencia en la dispersión de los resultados, especialmente a altas frecuencias, ya que las dimensiones de las probetas y de las irregularidades superficiales (valles y picos) son del mismo orden de magnitud. En ambos casos, se aprecia que el número de probetas a promediar debe ser superior al recomendado como mínimo en la norma ISO 10534, pues los factores antes mencionados tienen una importante influencia y la dispersión en las mediciones es alta. Todos estos recaudos tienen por objeto disminuir la dispersión de los resultados obtenidos para probetas de un mismo material y, por lo tanto, conseguir una curva promedio del coeficiente de absorción para incidencia normal más repetitiva. Solamente para fonoabsorbentes homogéneos de superficie regular es suficiente con medir un número inferior de probetas.

A partir de los resultados obtenidos, se concluye que, aún teniendo en cuenta las recomendaciones sobre recorte, montaje y número de probetas, salvo para materiales homogéneo, en general, no es posible predecir el comportamiento para incidencia aleatoria del sonido a partir de evaluar el comportamiento del material en tubo de onda estacionaria (incidencia normal).