

MEDIDA DE LAS PÉRDIDAS POR INSERCIÓN Y ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS REPRESENTATIVOS EN PANELES SUMERGIDOS EN AGUA Y UTILIZADOS COMO “VENTANAS ACÚSTICAS”

REFERENCIAS PACS: 43.30.Pc, 43.40.Rj

Carlos Ranz Guerra y Pedro Cobo Parra
Instituto de Acústica. CSIC
C/ Serrano 144
28006 MADRID
E-mail: iacrg32@fresno.csic.es

SUMMARY

The use of spectrally dense signals, or MLS signals, has been proved to be very efficient in broad band evaluation of some acoustical properties. The authors have shown how the variation of the reflective properties, in a given frequency band, are very quickly and very efficiently estimated with only one measurement; that work was carried out in the Underwater Acoustic Tank of the Instituto de Acústica, CSIC; the sample was a high density polyethylene whose dimensions were: 2.0 m x 2.0 m 0.02 m. *Acta Acústica*, **85**, S1 pp 128, 1999. In this paper a similar technique is used to estimate the acoustic transmission properties through a sample similar as above. This paper complements some of the previous results and puts forward a comparison between the theoretical results made by Bobber (1970) and the experimental evaluation.

INTRODUCCIÓN

Los materiales que específicamente se emplean como “ventanas” acústicas se caracterizan evaluando el porcentaje de sonido transmitido a su través o reflejado en ellos cuando la muestra esta sumergida en agua. Estas dos características se denominan “**pérdidas por inserción**” y “**pérdidas por reflexión**”, o “**reducción de eco**”. Según Bobber, (Bobber, 1970), se definen:

$$\text{Pérdidas por Inserción} = 20 \log \frac{\text{Presión sonora Incidente}}{\text{Presión sonora Transmitida}}$$

y

$$\text{Pérdidas por Reflexión} = 20 \log \frac{\text{Presión sonora Incidente}}{\text{Presión sonora Reflejada}}$$

Las **pérdidas por inserción**, **PI**, representan la reducción que sufre la señal, en dB, cuando entre emisor y receptor se inserta un material; los efectos de difracción y refracción habrán sido tomados en cuenta y eliminados. Las PI se deben a una combinación del sonido reflejado por el material y el sonido absorbido por el mismo.



Las pérdidas por inserción se miden en muestras, generalmente planas, del material que interese, procurando que el montaje y la medida en sí no dependan del tamaño de la muestra, siempre que se supere un tamaño mínimo, aunque sí dependerán de su espesor. Los datos que vienen a continuación no se refieren, por lo tanto, a estructuras concretas, p.e. domos de sonar. Los datos que se pueden obtener de una muestra tipo panel o lámina son factibles de ser modelados teóricamente; no ocurre lo mismo con las estructuras.

Si suponemos que una onda plana incide perpendicularmente a una placa homogénea y de espesor constante, con agua a ambos lados de la placa, las pérdidas por inserción se escriben, (Bobber, 1970),

$$PI = 10 \log \left[\frac{(1 - m^2)^2}{4m^2} (\sin^2 kx) + 1 \right]$$

donde 'm' es la relación entre las impedancias características del material y la del agua, ($\rho c = 1.5 \times 10^6$), k es el número de onda, y 'x' es el espesor del panel.

En la medida de las PI, las interferencias causadas por las reflexiones en el fondo, superficie y paredes del receptáculo en que se experimenta, así como de la estructura de la que se soporta el panel, unidas a las señales difractadas alrededor de la muestra, son fuentes de error. Este error se minimiza:

- Manteniendo la distancia emisor-hidrófono, lo más corta posible.
- En el caso de la difracción, la coherencia de las señales difractadas disminuye empleando una muestra tan grande como sea factible, y ensayando una geometría no simétrica, o sea empleando muestras cuadradas o rectangulares y montajes en los que la línea imaginaria emisor-hidrófono sea asimétrica con relación a la muestra. La intensidad del campo de ondas difractadas es proporcional al desacoplo de impedancias entre el fluido exterior y el material del panel.

Las **Pérdidas por Reflexión, PR**, son una medida de la reducción de la señal acústica cuando incide, y se refleja, en un determinado material. Es un parámetro básico en materiales empleados como "ventanas acústicas" y también en reflectores y/o en revestimientos anecoicos.

Las PR dependen del desacoplo de impedancias que existe sobre la superficie reflectante, entre el material y el medio que le limita. Este desacoplo, a su vez, depende del material de que se trate, de su espesor, y en algunos casos de cómo y donde se soporta el citado material. Nos proporciona una medida de cuanto se reduce el sonido incidente después de reflejarse en el panel sumergido.

Según Bobber (1970), se puede escribir una expresión teórica para las PR, en el caso de un material no absorbente, homogéneo y sumergido en agua,

$$PR = 10 \log \left[\frac{4m^2}{(1 - m^2)^2 \sin^2(kx)} + 1 \right]$$

donde los parámetros iguales, tienen el mismo significado que en el caso de las pérdidas por inserción. La medida de las PR se hace siguiendo un esquema parecido al empleado en las medidas de las PI. En este caso el hidrófono, próximo a la muestra, y situado en el mismo lado en que está la fuente sonora, mide la señal incidente y la señal reflejada.

Se habrán de considerar los efectos de las reflexiones en superficies fuera de la muestra, p.e., el fondo,



paredes y superficie del tanque de experimentación, y la difracción generada en los bordes del panel. Las medidas de reflexión sonora en agua son tanto más representativas cuanto más supere el panel unas determinadas dimensiones; bajo un punto de vista práctico y de acuerdo con Bobber, la muestra deberá medir, al menos, cinco longitudes de onda tanto a lo largo como a lo ancho. Lo mismo que en el caso de la medida de las PI, una geometría asimétrica en la experiencia, es recomendable.

En la descripción experimental, que sigue, y en la evaluación teórica de los parámetros de interés partiremos de los datos reales aportados por el fabricante del material. En el caso del coeficiente de Poisson y la velocidad del sonido en el material no es posible, con frecuencia, disponer de sus valores; la experiencia habrá de reportarnos información suficiente para que pueda ser extraída cualquier estimación válida de cualquiera de los dos parámetros anteriores; en nuestro trabajo este parámetro fue el coeficiente de Poisson, ν y por deducción la velocidad del sonido en el material. Las dimensiones del panel eran de 2.0 m x 2.0 m x 0.02 m, el módulo de Young, $E = 850.0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, y la densidad $\rho = 561.8 \text{ kg/m}^3$.

PÉRDIDAS POR REFLEXIÓN y PÉRDIDAS POR INSERCIÓN.

Ranz y Cobo, (1999), calculan las pérdidas por reflexión como

$$PR(f) = 10 \log \frac{|F\{p_r(t)w_{rs}(t)\}|^2}{|F\{p_d(t)w_d(t)\}|^2}$$

donde $p_r(t)$, y $p_d(t)$ son las presiones captadas por el hidrófono después de ser reflejadas por la muestra y la de la señal antes de incidir sobre la muestra. Las funciones de “suavizado” o “ventanas” son $w_r(t)$, y $w_d(t)$. F significa Transformada de Fourier. Si nos fijamos encontramos que este valor de las $PR(f)$, es el valor inverso de la definición propuesta por Bobber.

Los resultados de la evaluación del parámetro $PR(f)$ aparecen reflejados en la figura 1. La parte superior presenta como relación adimensional las pérdidas por reflexión como se han definido por Ranz y Cobo, y la parte inferior presenta el mismo parámetro en dB.



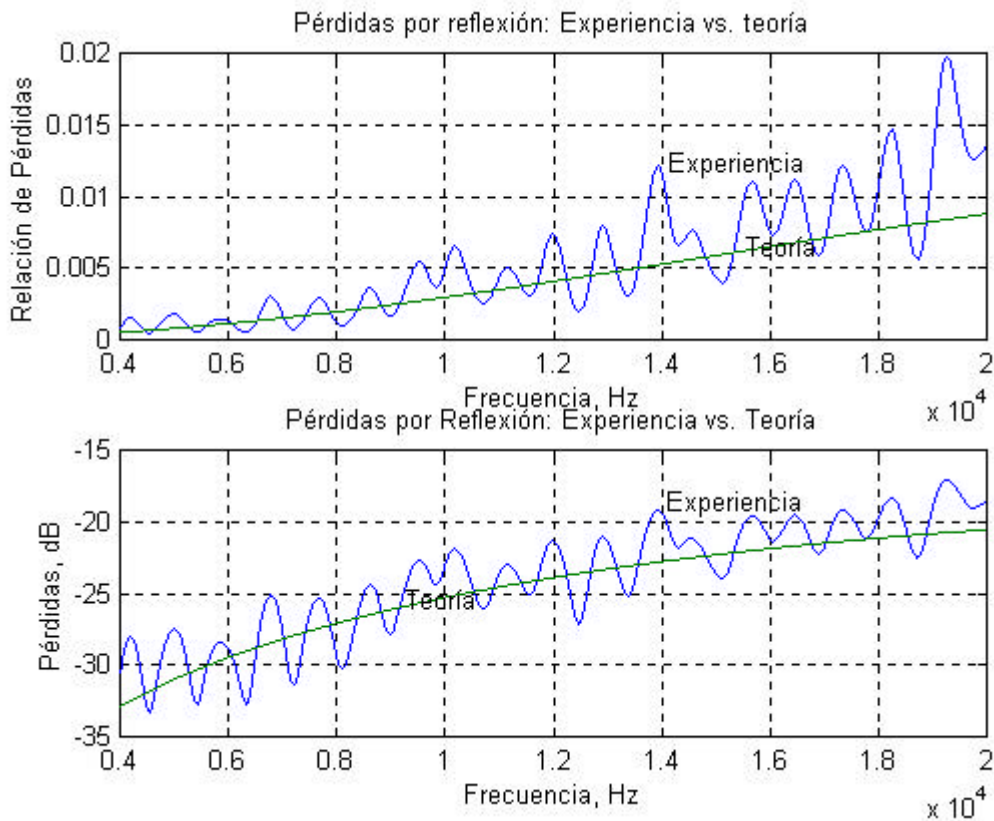


Figura 1. Pérdidas por reflexión: lineal (arriba) y logarítmica en dB (debajo).
La traza continua es el valor teórico dado por Bobber.

La línea no ondulada representa el valor (teórico) promediado dado por Bobber. El coeficiente de Poisson correspondiente resultó ser $\nu = 0.415$, lo que implica una velocidad del sonido (ondas dilatacionales), $c_{\text{panel}} = 1918.2 \text{ m/s}$, (Pierce, 1991). Los datos se muestran en la banda entre 4 y 20 kHz que es aquella para la que la fuente sonora proporciona energía, figura 2.

Las pérdidas por inserción se evaluaron con una disposición similar. En este caso los datos experimentales se obtuvieron para diferentes situaciones variando tanto la separación entre sensores y la muestra como la situación relativa respecto al eje de simetría de la experiencia. Figuras 3, 4 y 5.



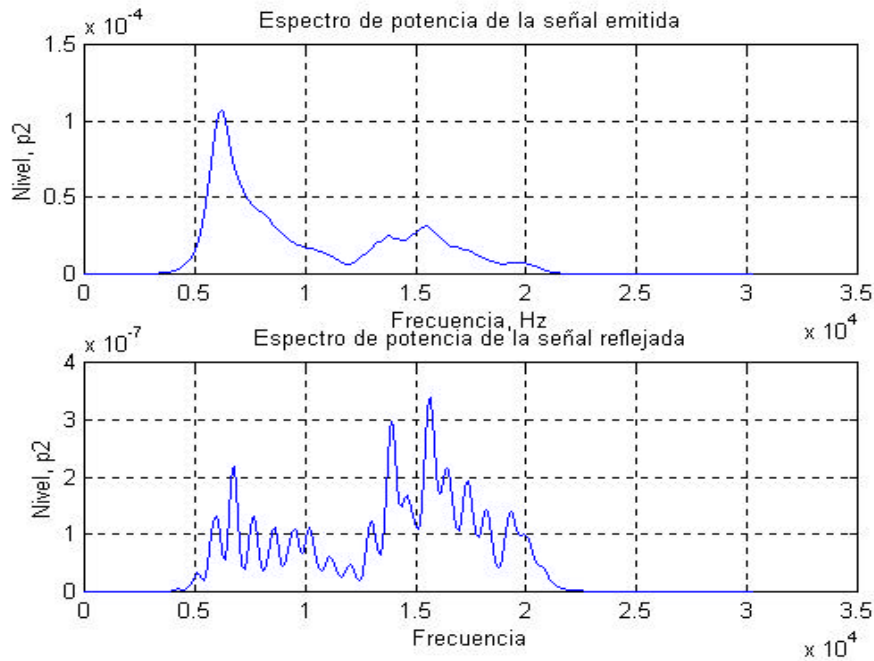


Figura 2. Espectros de potencia de la señal directa y señal reflejada en el panel. Obsérvese la modulación de 900 Hz aproximadamente que aparece sólo en el eco.

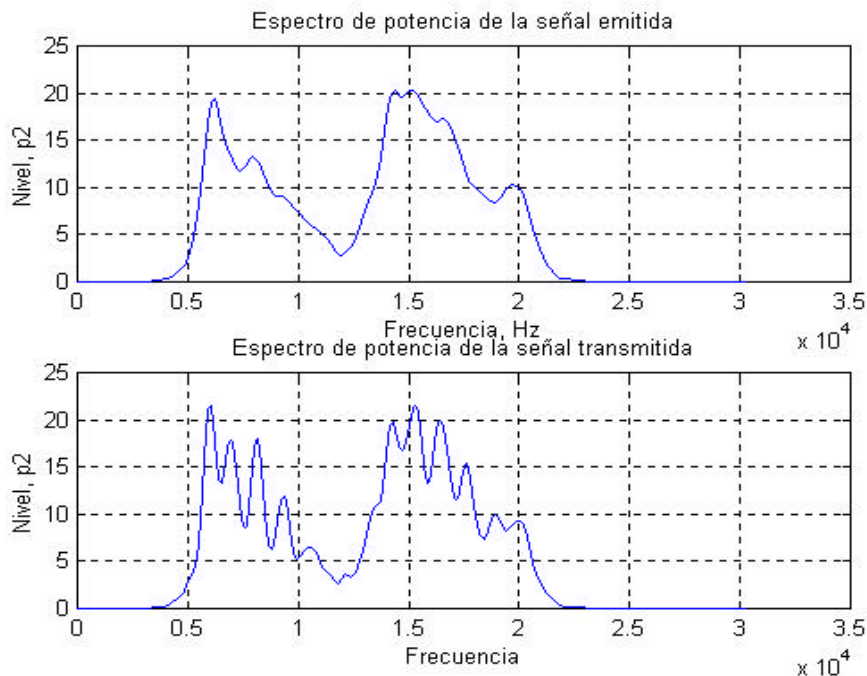


Figura 3. Espectros de potencia de la señal emitida y señal transmitida. Obsérvese la modulación del espectro una vez que la señal ha atravesado el panel.



Los resultados que aparecen en el figura 3, una vez ajustados, proporcionan como valor del coeficiente de Poisson $\nu = 0.415$, tal y como se obtuvo en la medida de las pérdidas por reflexión.

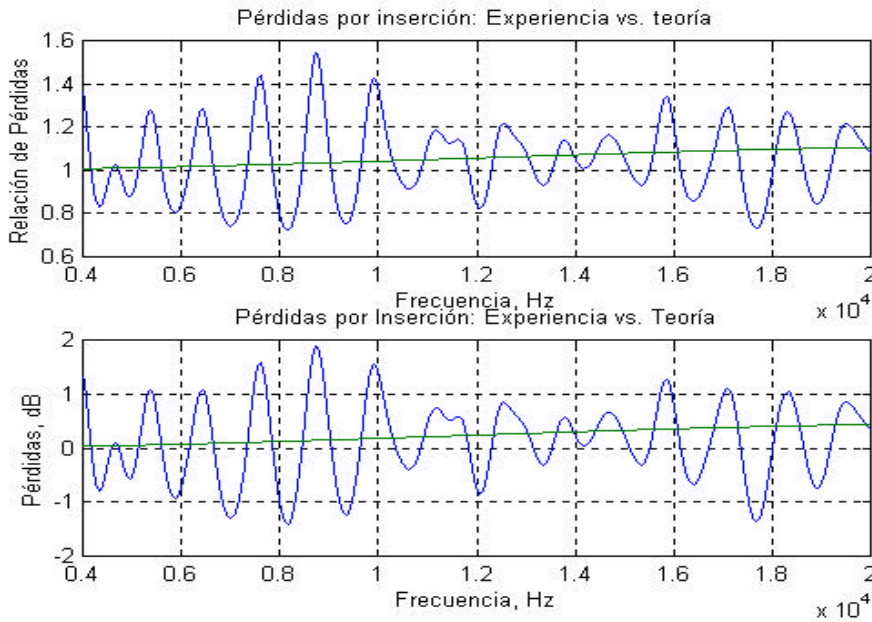


Figura 4. Pérdidas por inserción: experimentales (trazo ondulado) y teóricas (trazo lineal).

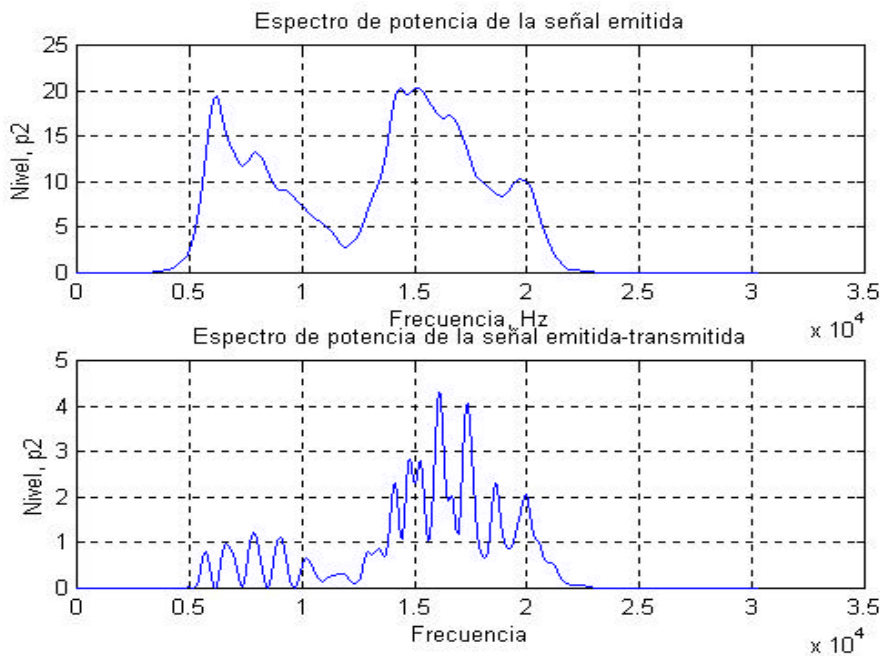


Figura 5. Espectros de potencia de la señal emitida y de la señal que queda una vez que se ha restado la señal transmitida.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran por un lado la bondad del método que emplea señales tipo MLS en la evaluación de propiedades acústicas de banda ancha. Este resultado viene a confirmar el resultado previo obtenido por los mismos autores.

Por otra parte en este caso podemos presentar datos sobre la estimación de parámetros como son el coeficiente de Poisson de un determinado material como resultado indirecto de la medida de las pérdidas por reflexión y las pérdidas por inserción. El valor del coeficiente de Poisson proporciona inmediatamente como consecuencia, el valor de la velocidad compresional del sonido en el material del panel. Este resultado indirecto deberá ser comprobado con medidas en una probeta de dicho material, aunque los datos experimentales de los que se dispone, p.e. Pierce, 1991, tabla 3.1, señala, para el polietileno una velocidad compresional comprendida entre 1800 y 2200 m/s, con un coeficiente de Poisson de 0.45, ligeramente más alto que el que se ha obtenido en nuestro trabajo.

Algunos de los resultados habrán de ser más profundamente estudiados. Nos referimos en concreto a la identificación del origen de la modulación de las señales una vez que han "pasado" a través del panel, ya que el origen hay que situarlo en el panel pues nunca las señales directas exhiben la modulación a que nos referimos. La señal reflejada/transmitida que mide el hidrófono, es indistinguible de la señal que la muestra radiaría si estuviera vibrando ella misma. Esto quiere decir que si el sensor receptor está cerca de la muestra puede estar situado en el campo próximo, o zona de Fresnel, de la superficie de la muestra y por tanto el sensor cerca de la muestra puede captar sonidos que son la combinación de varias señales.

La posibilidad de resituar los sensores en posiciones previas con precisiones de 1 mm, gracias a la automatización del sistema de posicionado del tanque hidroacústico, ha facilitado, sin duda, la repetitividad de algunas medidas en todas las condiciones de experimentación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento al CSIC que juntamente con el programa CYTMAR, Proyecto MAR. IN96-0111, cofinanciaron la nueva instalación del Tanque Hidroacústico. Así mismo agradecen el apoyo proporcionado por el Proyecto AMB97-1175-C03-01 para el estudio de las vibraciones de placas en entornos marinos.

REFERENCIAS

Bobber, R. J. *"Underwater Electroacoustic Measurements"*, Naval Research Laboratory. Washington DC. Julio. 1970.

Pierce, A.D. *"Acoustics: An introduction to its physical principles and applications"*. A.S.A.. New York. 1991.

Ranz, C. y Cobo, P. *"Underwater tank evaluation of acoustic properties of samples using spectrally dense signals"*. ACTA ACUSTICA, Vol. **85**. Suplemento 1. Jan-Feb 1999, pp. 128.

