

## PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS FRECUENCIAS Y MODOS ACÚSTICOS DE UN TUBO

Pablo Mantelli<sup>a</sup> y Guillermo Capittini<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>UIDET-LaCLyFA, Dpto. Aeronáutica, Fac. Ing., U.N.L.P – Calle 116 e/ 47 y 48 – CP: 1900 – La Plata, Buenos Aires, Argentina.

<sup>b</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
[pablo\\_mante@yahoo.com.ar](mailto:pablo_mante@yahoo.com.ar)

### INTRODUCCIÓN

En varios campos de la ingeniería, resulta necesario realizar ensayos que caractericen o nos muestren el estado de un sistema ante perturbaciones originadas por ruido. Sistemas como aerogeneradores, provocan ruidos molestos de origen aerodinámico. Las ranuras que se generan en puertas y ventanas de aeronaves y hasta vehículos terrestres generan ruidos molestos. Desde el punto de vista del control de flujo, caracterizar y controlar ondas de presión mediante técnicas acústicas es un tema actual de análisis y estudio.

Caracterizar un sistema acústico significa determinar las respuestas que generan las ondas de presiones en un sistema dado ante diferentes perturbaciones. En este trabajo se plantea la caracterización experimental de la dinámica acústica de un tubo para comparar luego con las respuestas dinámicas obtenidas de manera teórica.

Los modos acústicos en un tubo se pueden clasificar en longitudinales, radiales y tangenciales. Además pueden hacerse presente combinaciones de los distintos modos.

En la figura 1 se muestra una representación de la distribución del campo de presiones para los diferentes tipos de modos acústicos.

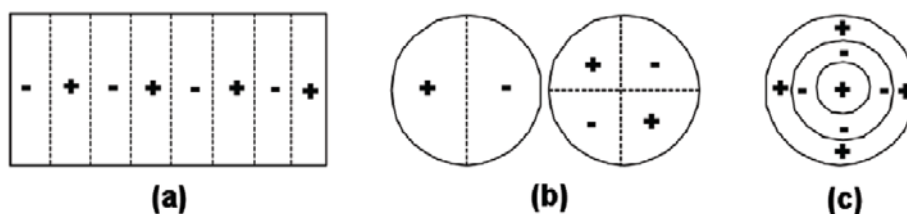


Figura 1: (a) Longitudinal. (b) Tangencial. (c) Radial

Estos modos están asociados a inestabilidades a altas frecuencias como suele ocurrir en cámaras de combustión de motores cohetes debido al acoplamiento del proceso de combustión y la acústica de la cámara. Este fenómeno impacta de manera nociva sobre la estructura del sistema dado que produce un incremento en los niveles vibratorios. Por lo dicho es deseable detectar los modos acústicos de la cámara para poder estimar en que niveles de frecuencia ocurrirán las inestabilidades. La estimación de estas frecuencias puede llevarse a cabo en forma experimental y, además, en forma teórica lo que permite verificar resultados a la hora de elaborar conclusiones. Tener conocimiento de cuándo ocurrirán las inestabilidades permitiría emplear medidas para evitar o reducir al mínimo las mismas. Cambiando algunos parámetros en la cámara de combustión, se puede obtener un diseño menos susceptible a este tipo de inestabilidades. Además, dispositivos pasivos para la atenuación del ruido acústico, como resonadores de Helmholtz, revestimientos y filtros de ondas pueden ser introducidos en la cámara de combustión.

### DISEÑO EXPERIMENTAL

Los ensayos se realizan sobre un modelo el cual consistía en un tubo cerrado en ambos extremos con un radio de 11cm y un largo de 26cm. Este se encuentra apoyado sobre

soportes de madera que le proporcionan una elevación de 5cm. En la cara frontal del modelo se encuentra un orificio por el cual se introduce el micrófono de alta sensibilidad (782121-02 GRAS 1/2" Free-Field Response Microphone).

A una distancia de 1 cm de la cara posterior se instala una fuente de excitación sonora por el cual se emitirá, por medio de un generador de señales (NI - USB CDAQ-9174) y un acondicionamiento de la misma a través de una potencia, un ruido blanco con frecuencia de corte en 10 KHz.

El soporte del micrófono de alta sensibilidad está conformado por un arreglo de tubos que permiten el movimiento a lo largo del modelo con el fin de obtener mediciones en distintos puntos. El esquema general del arreglo experimental puede verse en la figura 2.

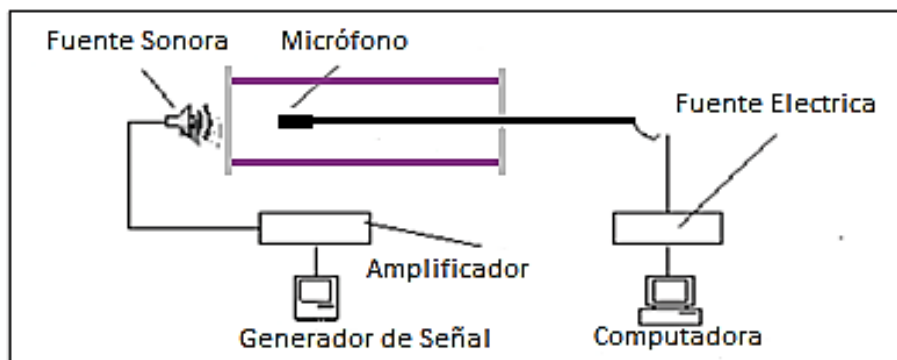


Figura 2: Esquema general del arreglo experimental

Tanto la generación y adquisición de las señales se realiza por el software Labview.

## METODOLOGÍA

Para obtener las frecuencias acústicas del tubo se monta el sistema según describe el diseño experimental. Mediante la fuente de excitación sonora se perturba el tubo con un ruido blanco cuya frecuencia de corte es 10 kHz (Figura 3), se posiciona un micrófono en el interior del tubo y se obtiene la señal sonora por un tiempo de 3 segundos (Figura 4). Luego se obtiene la señal sonora en el mismo punto sin la presencia del tubo (Figura 5), a partir de la división de la PSD de la señal en presencia del tubo y sin ella, se obtiene la función de transferencia del sistema, en la cual pueden observarse las frecuencias naturales en los picos de la misma.

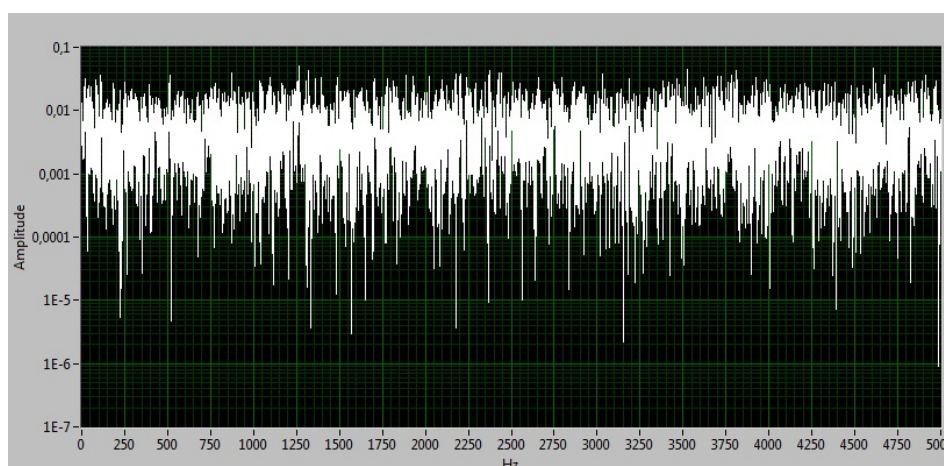


Figura 3: PSD del ruido blanco generado

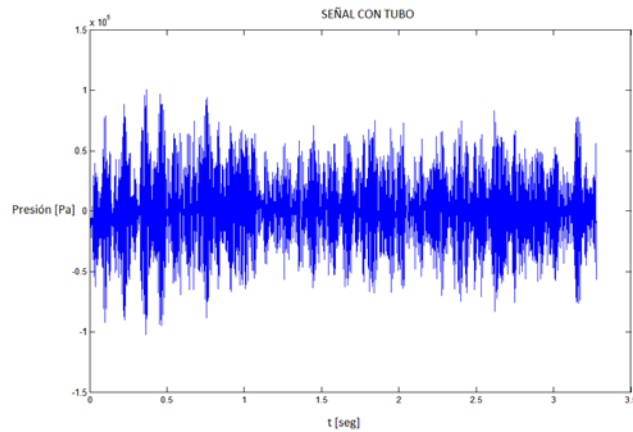


Figura 4: Medición con tubo

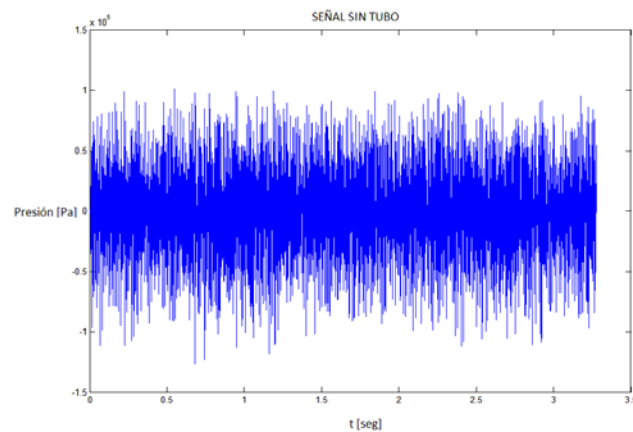


Figura 5: Medición sin tubo

Se procede luego a comparar los resultados experimentales con el cálculo teórico [1] de las frecuencias naturales.

Al ser utilizado en el ensayo un micrófono de campo lejano el mismo debe posicionarse en la dirección de propagación de la onda, por lo tanto la metodología descrita anteriormente se repite para el micrófono en dirección del eje longitudinal del cilindro (Ensayo Longitudinal) y en dirección radial (Ensayo Radial).

## RESULTADOS

Se presentan a continuación las funciones PSD obtenidas para la señal sin presencia (Figura 6) y en presencia del tubo (Figura 7), como también así el cociente entre ellas (Figura 8), para el ensayo longitudinal.

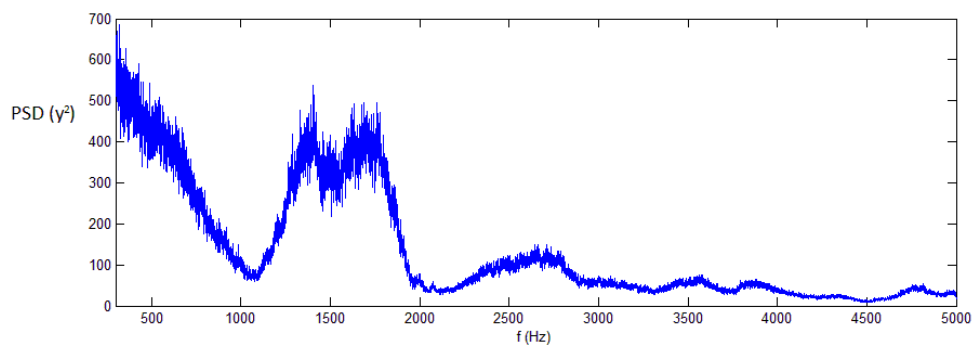


Figura 6: PSD sin el tubo (longitudinal)

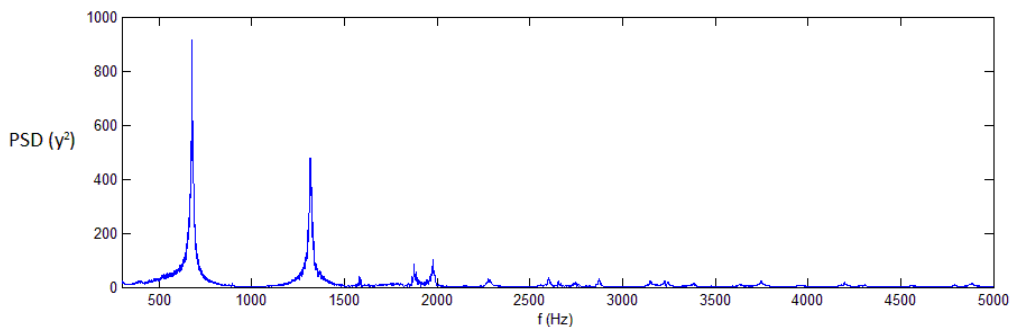


Figura 7: PSD con el tubo (longitudinal)

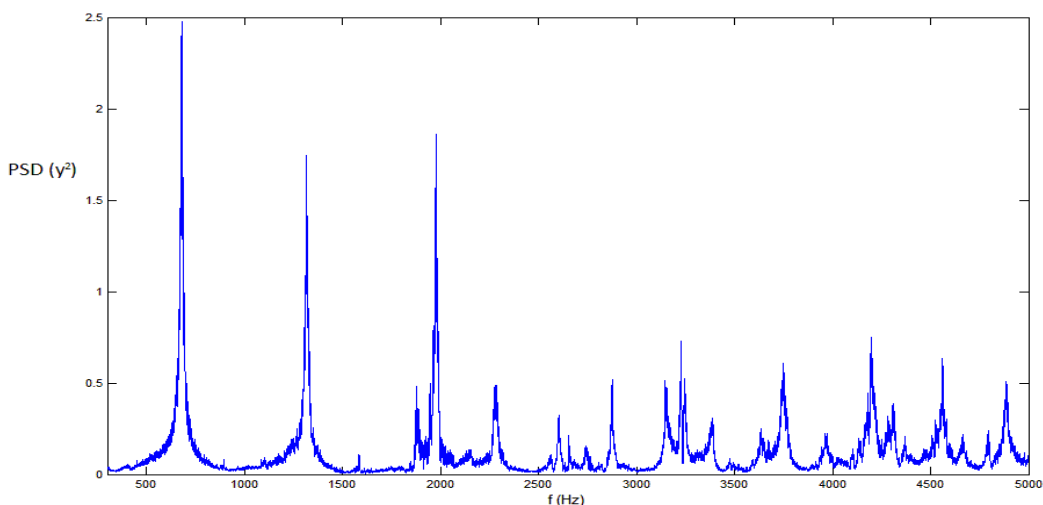


Figura 8: PSD del tubo (longitudinal)

Se presentan a continuación las funciones PSD obtenidas para la señal sin presencia (Figura 9) y en presencia del tubo (Figura 10), como también así el cociente entre ellas (Figura 11), para el ensayo radial.

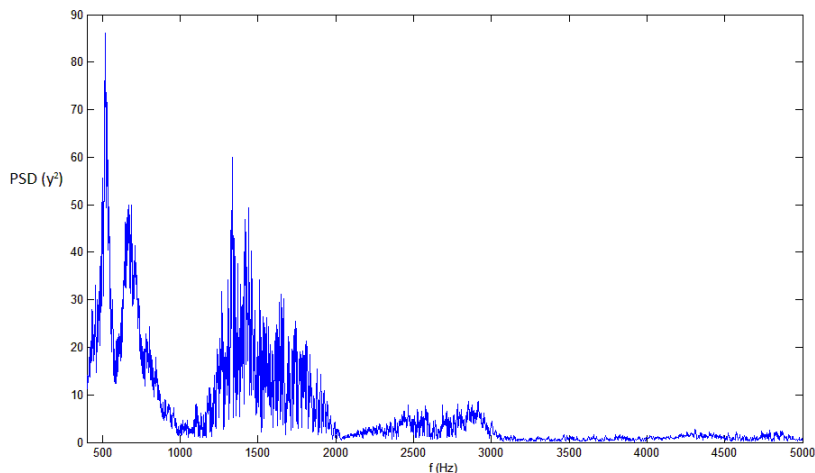


Figura 9: PSD sin el tubo (radial)

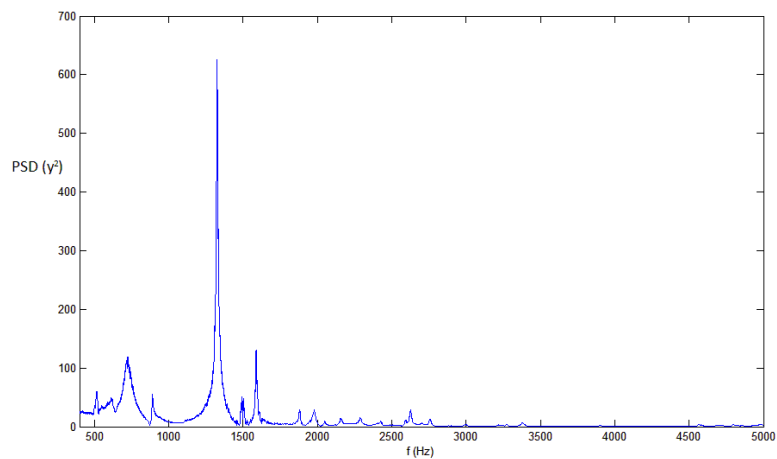


Figura 10: PSD con el tubo (radial)

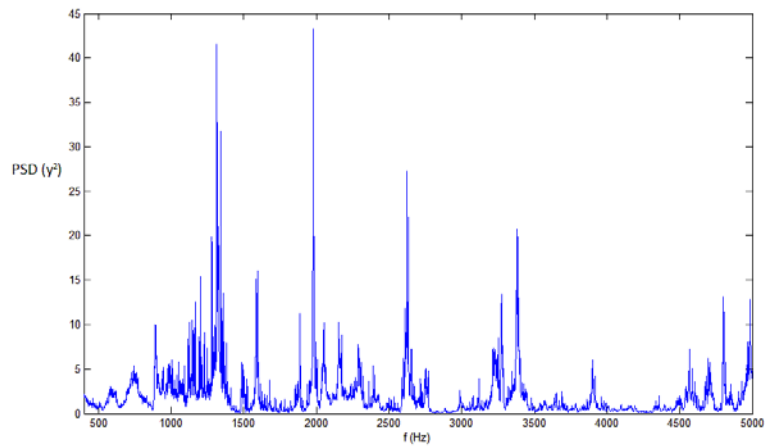


Figura 11: PSD del tubo (radial)

Se muestran en las figuras 12 y 13 la función de transferencia del tubo, junto con las frecuencias calculadas de forma teórica para el ensayo longitudinal y el radial respectivamente.

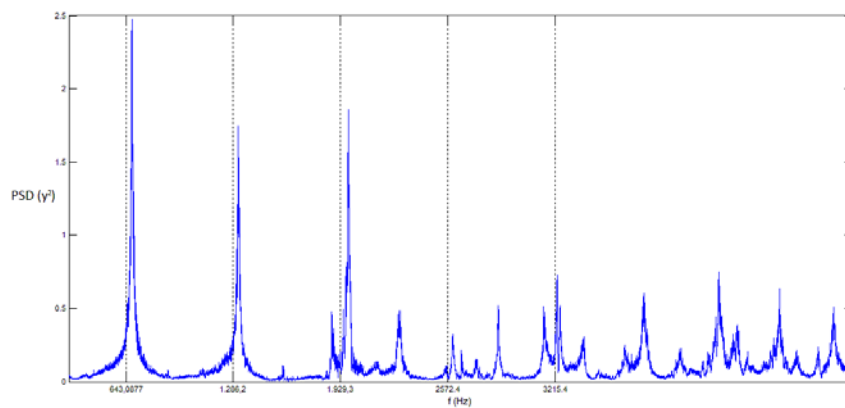


Figura 12: Frecuencias experimentales vs teóricas, medición longitudinal

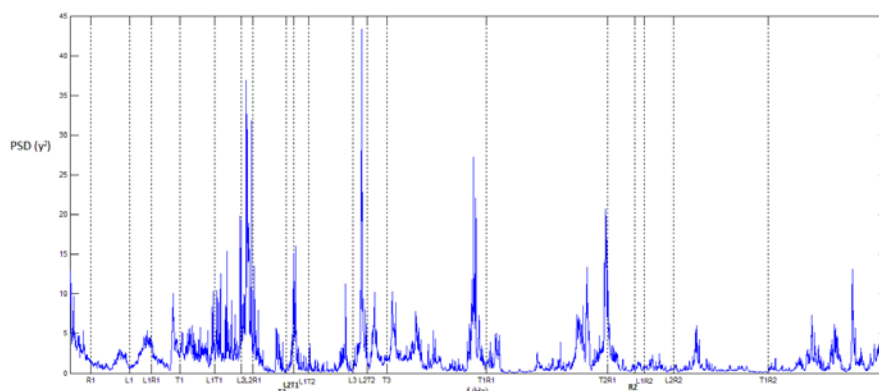


Figura 13: Frecuencias experimentales vs teóricas, medición radial

	Modos longitudinales		Modos teóricos transversales y radiales	
	Teórico [Hz]	Experimental [Hz]		
			tang1	930 Hz
1er modo	643	679	tang2	1540 Hz
2do modo	1286	1315	tang3	2120 Hz
3er modo	1929	1978	Rad1	420 Hz
			Rad2	3550 Hz
			Rad3	5140 Hz

Tabla 1: Valores teóricos (no incluye modos acoplados)

## DISCUSION

Se puede observar en la figura 12 que para modos longitudinales los datos experimentales se condicen con los cálculos teóricos.

En el ensayo radial observamos en la figura 13 que existen gran cantidad de picos en la función de transferencia del tubo, muchos se encuentran en frecuencias cercanas a las calculadas de forma teórica, aunque existen gran cantidad de picos que no pueden ser asociados a los fenómenos acústicos. Parte de los picos encontrados pueden ser resultado de los modos estructurales del tubo, puede ocurrir que durante el ensayose exciten sus frecuencias naturales estructurales y que las vibraciones de las paredes generen cambios de presión en el interior del tubo, siendo estos captados por el micrófono.

## CONCLUSIONES

La metodología resulta muy adecuada para el cálculo de las frecuencias longitudinales, mientras que para la determinación de las frecuencia naturales de los modos laterales y los acoplamientos de los mismos, sería necesario contar con la distribución del campo de presiones para cada modo en particular para posicionar de forma óptima el micrófono con el fin de lograr una mejor identificación de ese modo. A demás es necesario contar con la información sobre las frecuencias naturales estructurales con el objetivo de poder filtrar las mismas de las grafica de función PSD, dejando a si solo en evidencia los modos acústicos

## REFERENCIAS

- [1] M. Dranovsky - *Combustion instabilities liquid rocket engines, testing and development practices in Russia – 2007*
- [2] Laudien, E., Pongratz, R., Piero, R., Preclik, D., 1995, "Experimental Procedures Aiding the Design of Acoustic Cavities", in: V. Yang, W. E. Anderson (Eds.).
- [3] Rogério Pirk, Carlos d'Andrade Souto, Dimas Donizeti da Silveira - "Liquid rocket combustion chamber acoustic characterization".
- [4] Philip M. Morse – *Vibration and sound*.