



4^{to} Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



OBTENCIÓN DE UNA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA RESPUESTA ACÚSTICA DE UN SISTEMA

G. Capittini^{a,b}, P. Mantelli^a y I. Echaprestó Garay^a

^aLaCLyFA (Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, Dpto. Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina. <http://www.ing.unlp.edu.ar>

^bCONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. www.conicet.gov.ar

Palabras claves: Acústica, Respuesta dinámica

Resumen

Una de las necesidades básicas en cualquier campo de la ingeniería resulta en la caracterización de un sistema ingenieril, ya sea con el objetivo de caracterizar su comportamiento o de obtener el estado en el que se encuentra, para lograr cumplir estos objetivos, es común recurrir a ensayos, existen gran variedad de ensayos, pero la mayoría pueden agruparse en dos grandes categorías, ensayos destructivos y no destructivos, la diferencia entre estas categorías radica en el estado final del sistema, en la primera el mismo quedara inutilizable, mientras que en la segunda no. A su vez los ensayos pueden agruparse también en invasivos y no invasivos, dependiendo si el mismo ensayo puede inferir o no en el comportamiento del sistema. Los ensayos no invasivos y no destructivos son muchas veces la solución más deseable a la hora de identificar el comportamiento de un sistema, ya que el mismo no sufre ninguna modificación debido al ensayo. Los ensayos acústicos no son una novedad en el campo de la ingeniería y suelen tener distintas aplicaciones en motores de combustión interna. La caracterización de los modos acústicos es de gran interés ya que, gran parte de los fenómenos de inestabilidad fluido dinámica en este tipo de motores se ven disparados por un acoplamiento acústico-fluido dinámico, los generadores eólicos muchas veces resultan un contaminante auditivo por lo que es necesario la reducción del ruido generado y vuelven a ser útiles aquí los ensayos acústicos, por estas y más razones, en este trabajo plantearemos el desarrollo de una metodología experimental que nos permita obtener las respuestas acústicas de un determinado sistema. Para lograr nuestro objetivo se utilizó un tubo de PVC de sección circular constante, se lo excitó en las frecuencias correspondientes al rango audible y se procedió a medir las señales sonoras dentro del mismo mediante un micrófono de campo lejano. Una vez obtenidas las medidas se calculó la función PSD para las señales con y sin el tubo y se obtuvo la correlación entre ambas. A partir de esto se consiguió la respuesta acústica del tubo e forma experimental, estos resultados se compararon con aproximaciones teóricas y se concluyó que la metodología resulto efectiva.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas en el desarrollo de cámaras de combustión de cohetes de combustible líquido consiste en la presencia de inestabilidades de combustión de altas frecuencias.

Básicamente existen tres tipos de inestabilidades de combustión en las cámaras, las de baja frecuencia, las de frecuencia media y, las consideradas más peligrosas, de alta frecuencia. Uno de los principales aspectos a tener en cuenta cuando se trata con inestabilidades de alta frecuencia resulta en el análisis acústico de la cámara de combustión, ya que las inestabilidades de combustión pueden ser excitadas debido a un acoplamiento con los modos acústico.

Los modos acústicos se pueden clasificar en longitudinales, radiales y tangenciales. Además pueden hacerse presente combinaciones de los distintos modos. Las inestabilidades más peligrosas a altas frecuencias se generan por los modos tangenciales y radiales (Yang, Wicker and Yoon, 1994).

En la figura 1 se muestra una representación de los modos acústicos en la sección cilíndrica de una cámara de combustión.

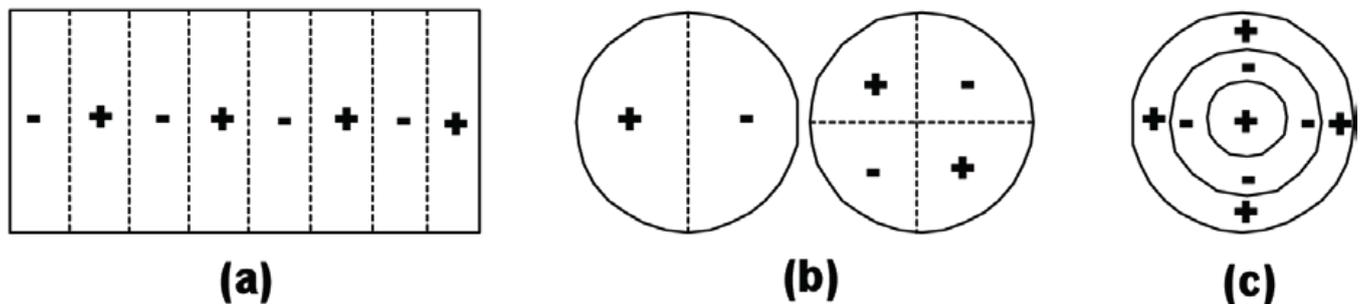


Figura 1: (a) Longitudinal. (b) Tangencial. (c) Radial

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 la misma. 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.

2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es obtener y validar una metodología que permita la obtención experimental de las frecuencias acústicas de un sistema y sus modos a partir de la medición de señales de sonido.

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los ensayos se realizan sobre un modelo el cual consiste 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 agujero por el cual se introduce el micrófono de alta sensibilidad.

A una distancia de 1 cm de la cara posterior se instala una fuente de excitación sonora por la cual se emite, por medio de un generador de señales 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.

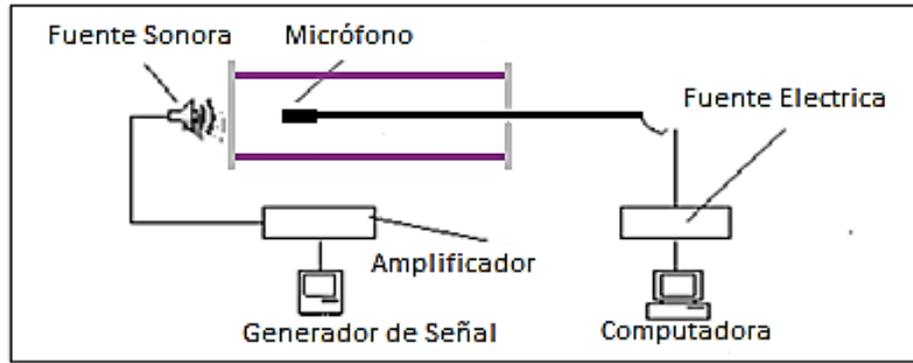


Figura 2 : Esquema general del arreglo experimental

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

4. 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.

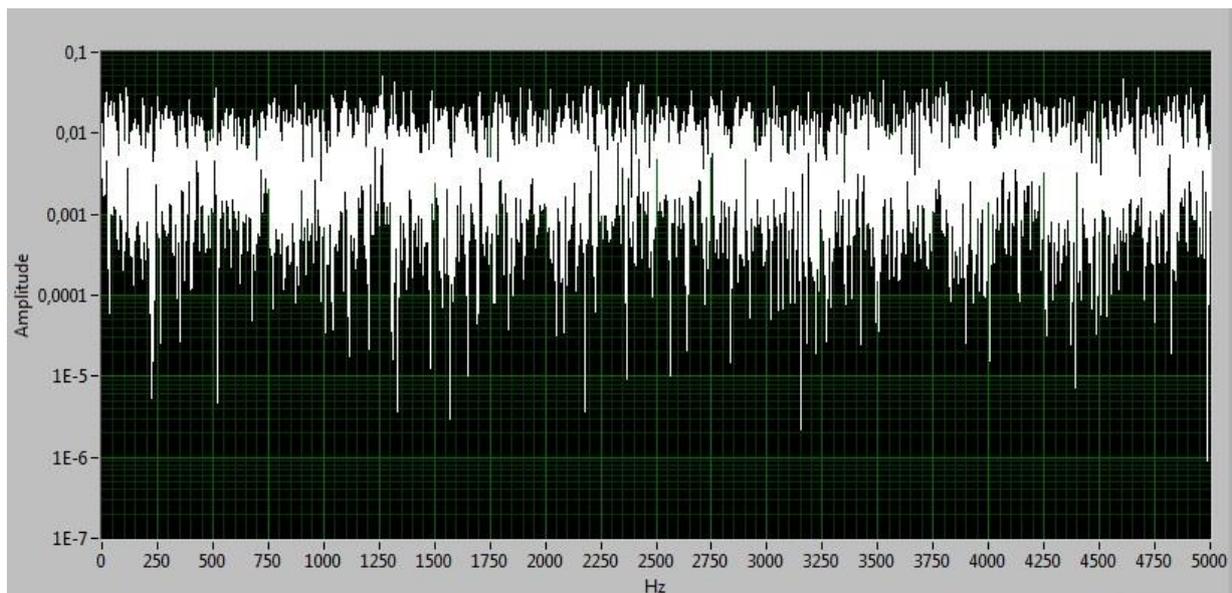


Figura 3: PSD del ruido blanco generado

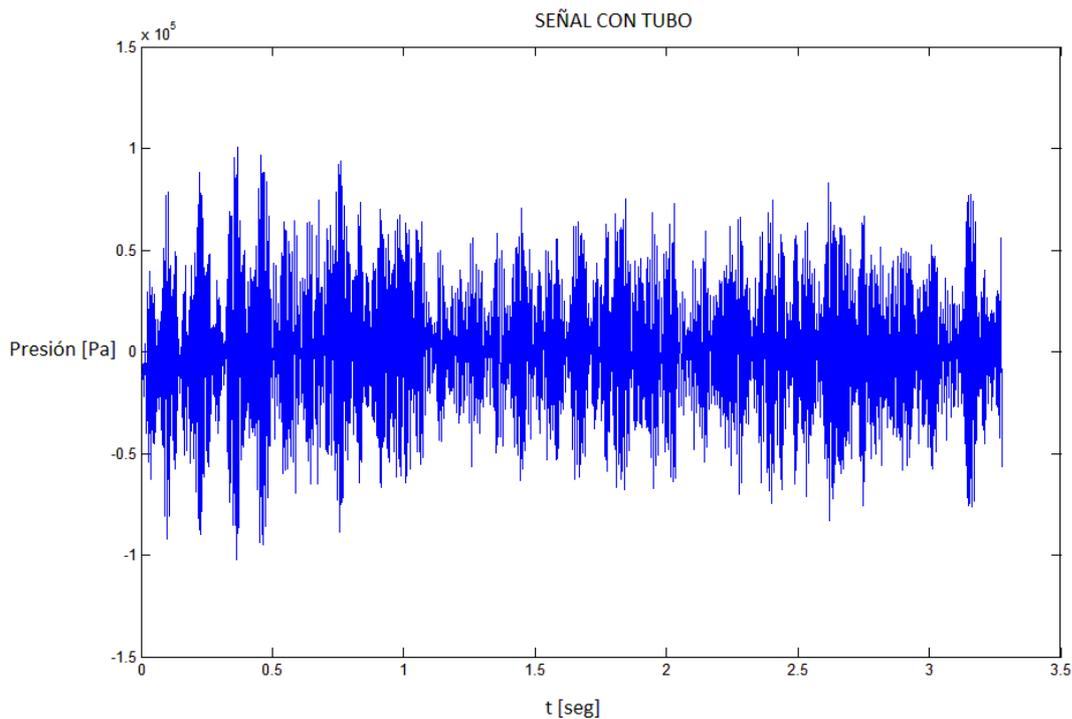


Figura 4: Medición con tubo

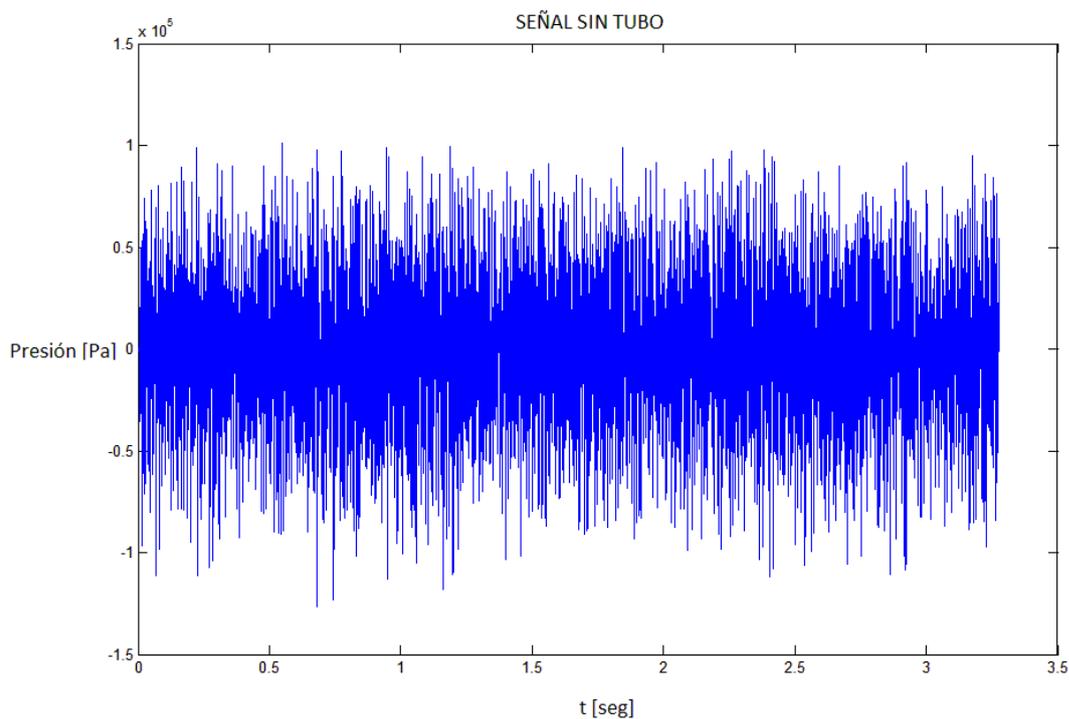


Figura 5: Medición sin tubo

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).

5. RESULTADOS Y PROCESAMIENTO

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.

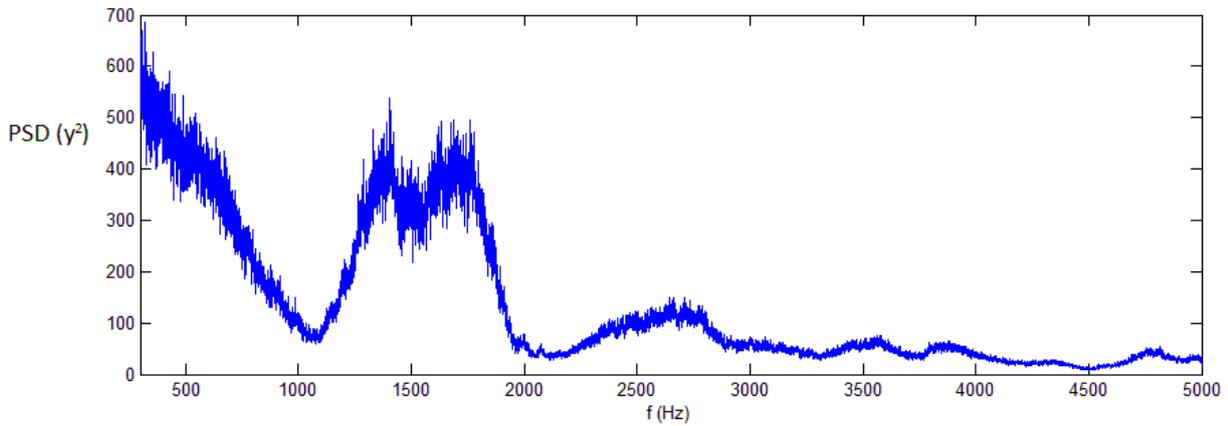


Figura 6: PSD sin el tubo (longitudinal)

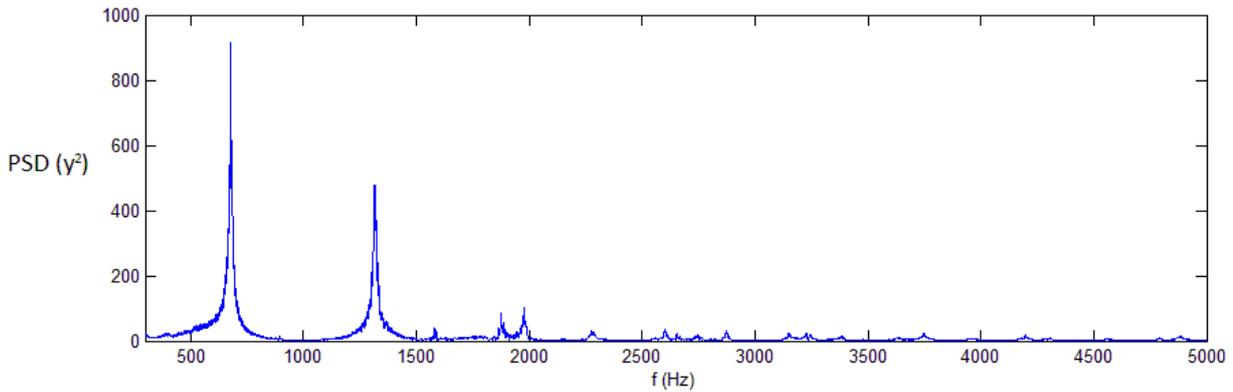


Figura 7: PSD con el tubo (longitudinal)

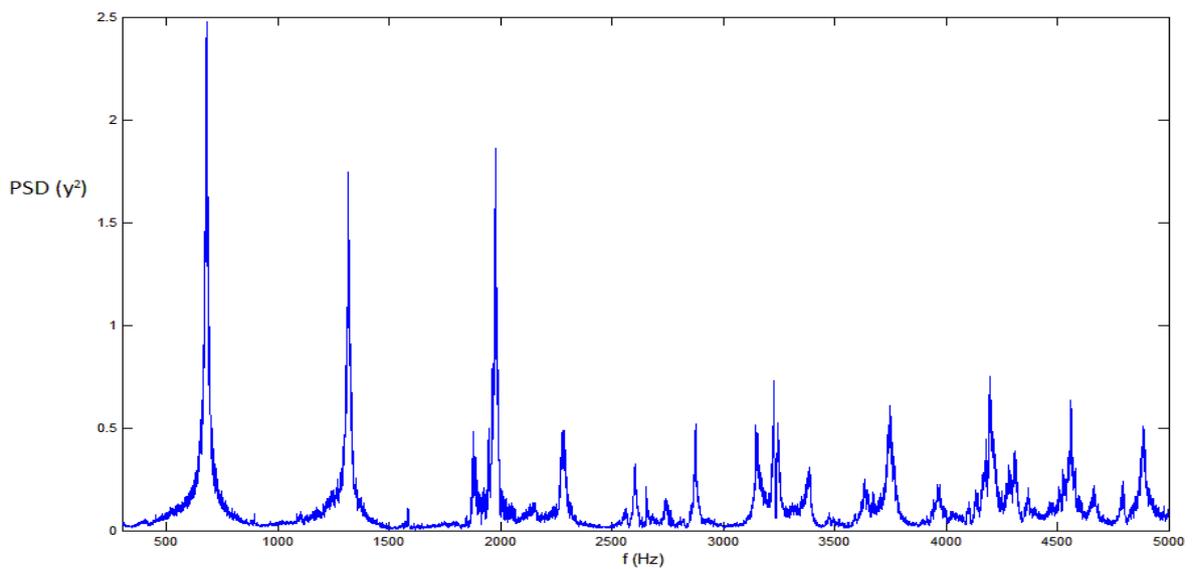


Figura 8: PSD del tubo (longitudinal)

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.

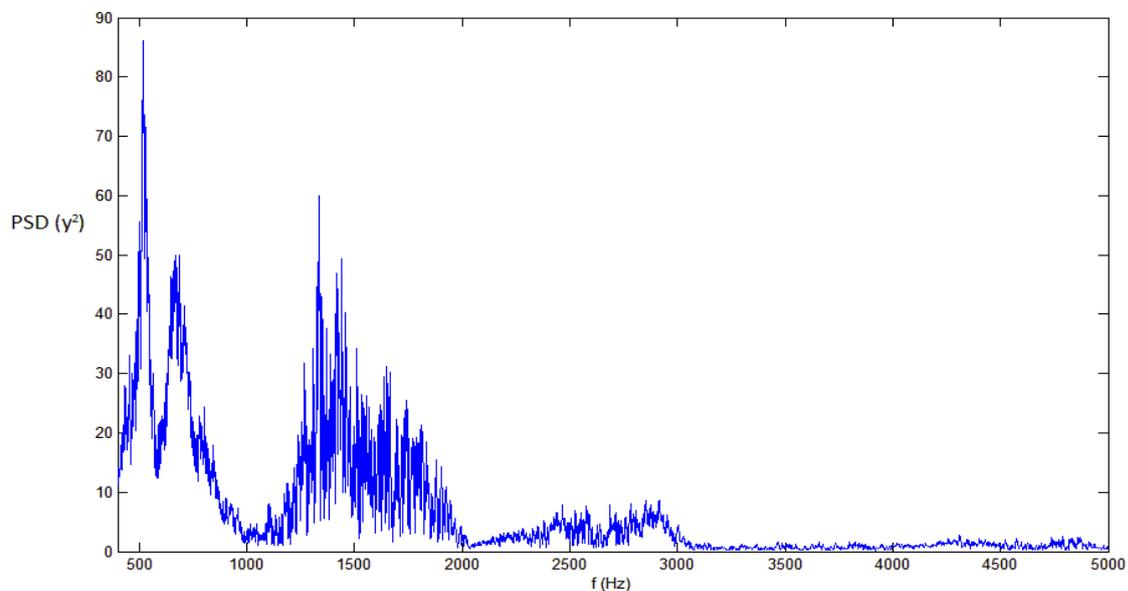


Figura 9: PSD sin el tubo (radial)

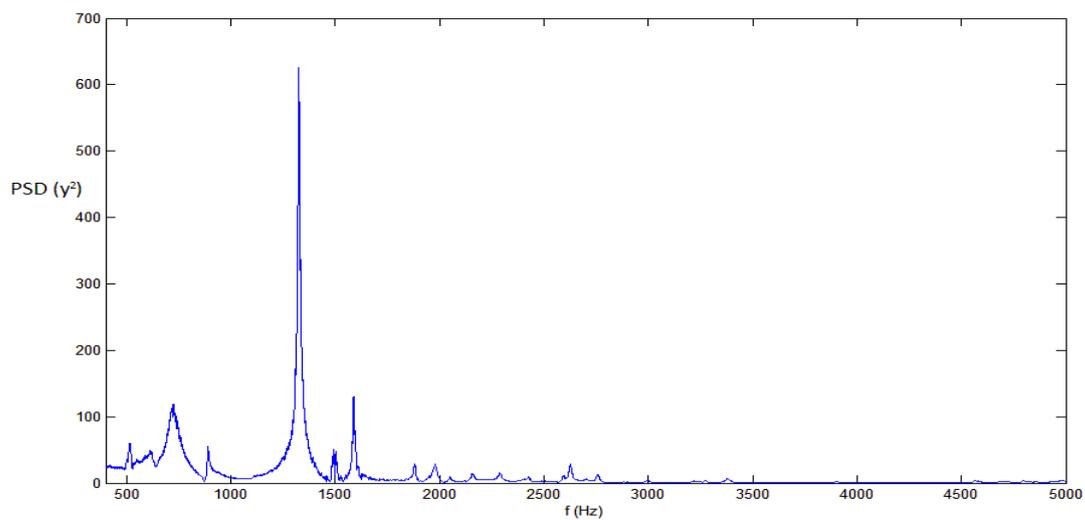


Figura 10: PSD con el tubo (radial)

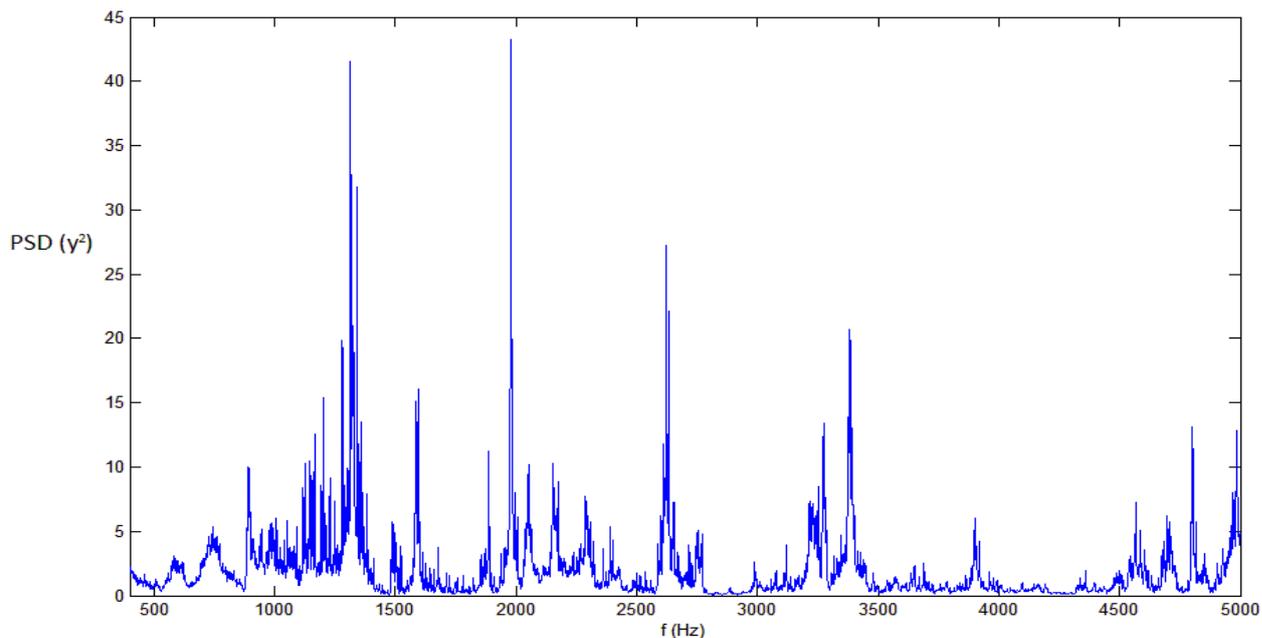


Figura 11: PSD del tubo (radial)

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

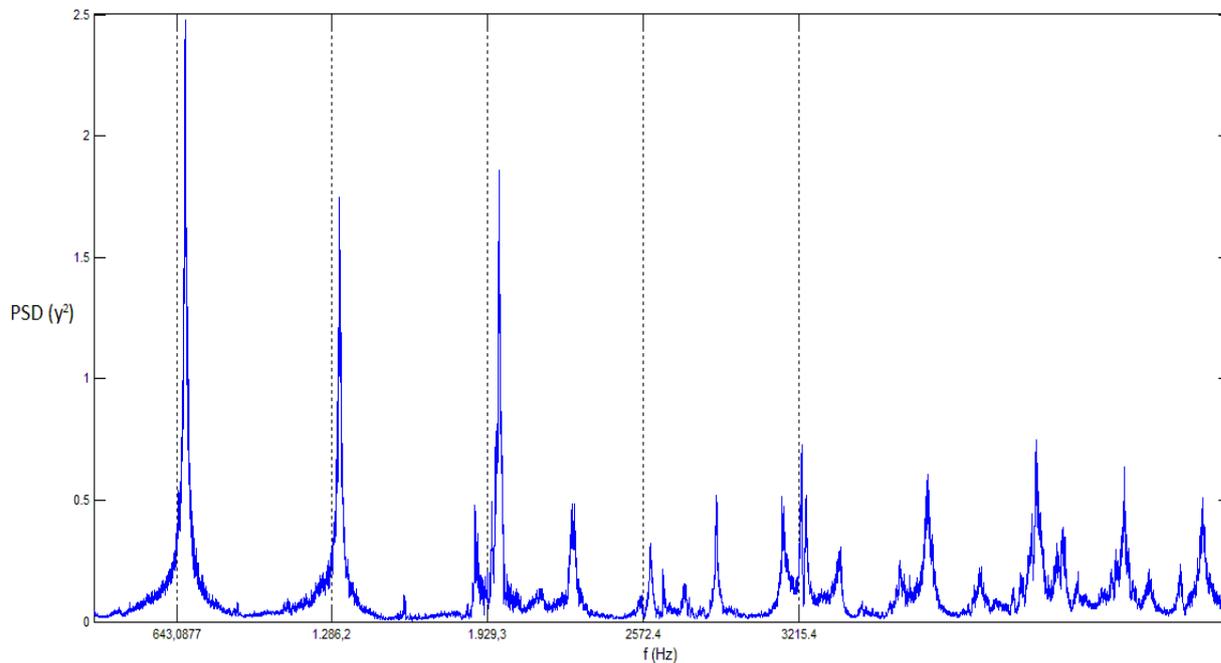


Figura 12: Frecuencias experimentales vs teóricas, medición longitudinal

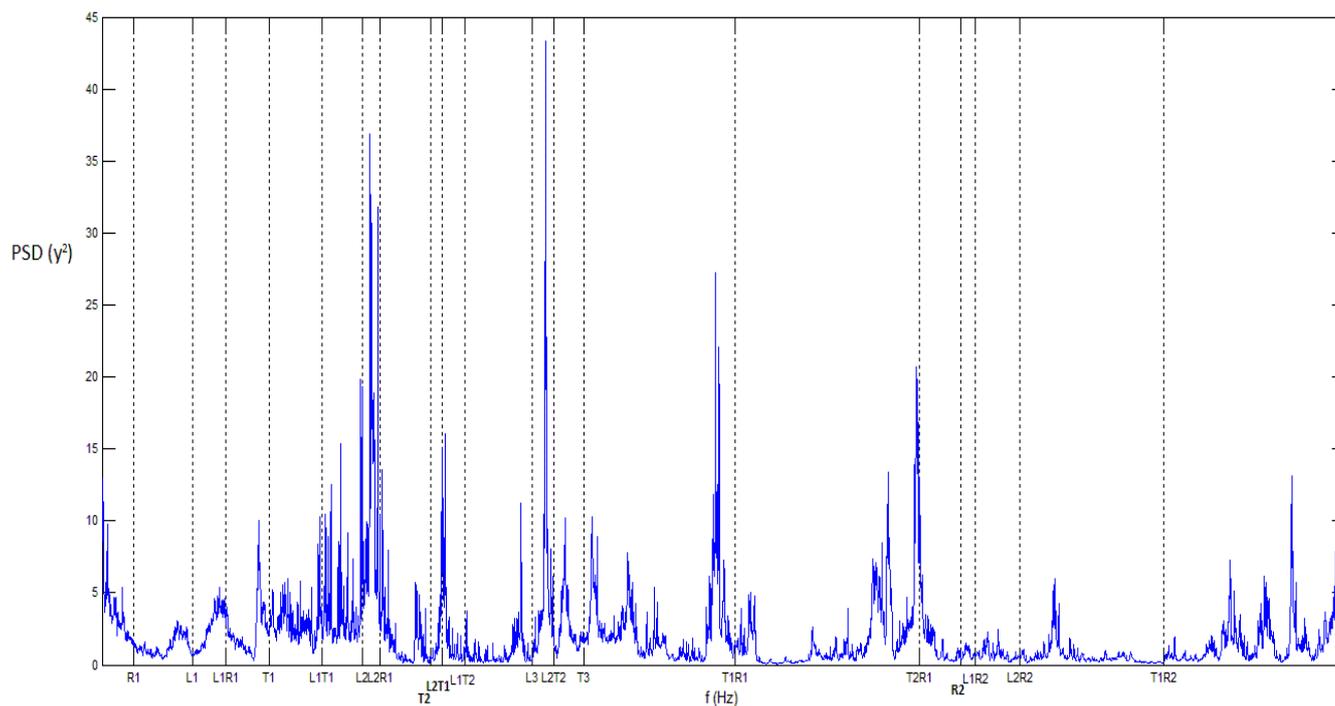


Figura 13: Frecuencias experimentales vs teóricas, medición radial

Se muestra en las figura 14 y 15 los cálculos teóricos de las frecuencias naturales y los resultados experimentales para los modos longitudinales

	Modos longitudinales	
	Teóricas [Hz]	Experimentales [Hz]
1er modo	643	679
2do modo	1286	1315
3er modo	1929	1978

Figura 14: Frecuencias teóricas y experimentales, modos longitudinales

Modos teóricos transversales y radiales	
Tang1:	930 Hz
Tang2:	1540 Hz
Tang3:	2120 Hz
Rad1:	420 Hz
Rad2:	3550 Hz
Rad3:	5140 Hz
Long1Tang1:	1130 Hz
Long1Tang2:	1670 Hz
Long2Tang1:	1590 Hz
Long2Tang2:	2010 Hz
Long1Rad1:	770 Hz
Long1Rad2:	3610 Hz
Long2Rad1:	1350 Hz
Long2Rad2:	3770 Hz
Tang1Rad1:	2700 Hz
Tang1Rad2:	4320 Hz
Tang2Rad1:	3390 Hz
Tang2Rad2:	5040 Hz

Figura 15: Frecuencias teóricas, modos transversales

5.1. Comentarios

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 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, aunque si puede tratarse de fluctuaciones de presión excitadas por los modos estructurales del cilindro.

6. 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 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*

