

Sobre un método experimental para la caracterización completa de una onda sonora confinada

Franco T. Lisandrini, Carlos M. Silva¹

¹Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura ~ Universidad Nacional de Rosario

franco_lisandrini@yahoo.com.ar, csilva@fceia.unr.edu.ar

Resumen

Se presenta un método sencillo para la determinación de la forma de una onda sonora estacionaria dentro de un Tubo de Kundt con un único micrófono deslizante. Se incorpora al estudio tradicional un ajuste no lineal por mínimos cuadrados de las mediciones, logrando una caracterización completa de la forma de la onda de presión en el interior del tubo en un intervalo de frecuencias de 220 Hz a 1200 Hz.

Se aplica dicho método para la medición de la impedancia en la terminación de un tubo abierto por ambos extremos, cerrado con fibra de poliuretano y algodón de uso doméstico. En el caso del tubo abierto, adicionalmente, se estima la corrección de borde a partir de la parte imaginaria de la impedancia y se la compara con los modelos teóricos existentes sin obtenerse discrepancias significativas.

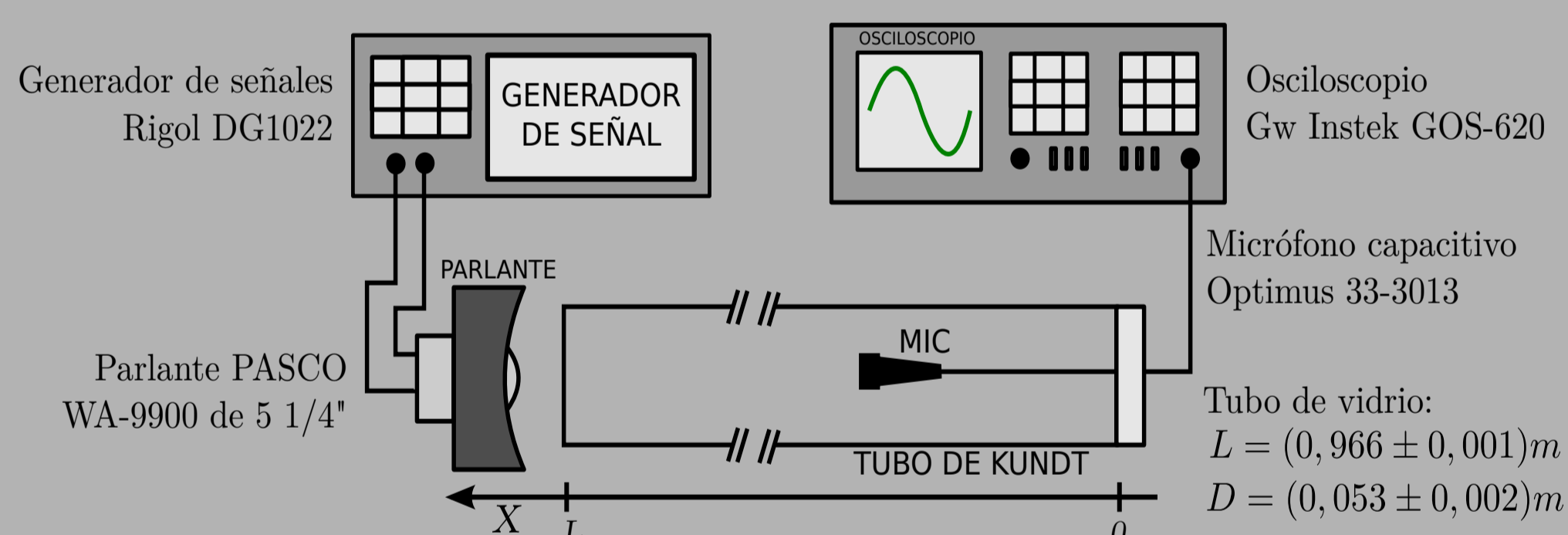
Se presenta el método empleado como una opción adecuada para ser utilizada en ámbitos educativos debido a la sencillez del equipamiento necesario y a su bajo costo frente a otros métodos propuestos en la literatura.

Motivación:

La determinación de propiedades acústicas de los materiales en la terminación de un tubo constituyen ensayos de importancia práctica en el área del control de ruido contaminante [4]. Asimismo, la construcción de dispositivos que permitan la propagación de ondas viajeras puras permite avanzar en el estudio experimental de líneas de transmisión acústicas [7].

En este trabajo, se presenta un método para medir el coeficiente de reflexión R , la ROE y la impedancia de la terminación en un tubo de Kundt mediante un dispositivo experimental de bajo costo, pero que permite una caracterización completa de la onda en el interior del tubo y que permitiría, a futuro, avanzar en aplicaciones prácticas concretas como las mencionadas anteriormente.

Dispositivo Experimental:



Modelización: Onda Estacionaria + Onda Viajera

Superposición de ondas viajeras planas [1,2,7]

$$p(x, t) = Ae^{j(\omega t - kx)} + AR e^{j(\omega t + kx + \varphi)} \quad f < \frac{c}{3,42a}$$

Amplitud de la onda de presión:

$$|p(x, t)| = A\sqrt{1 + R^2 + 2R\cos(2kx + \varphi)}$$

Ajuste no lineal por mínimos cuadrados

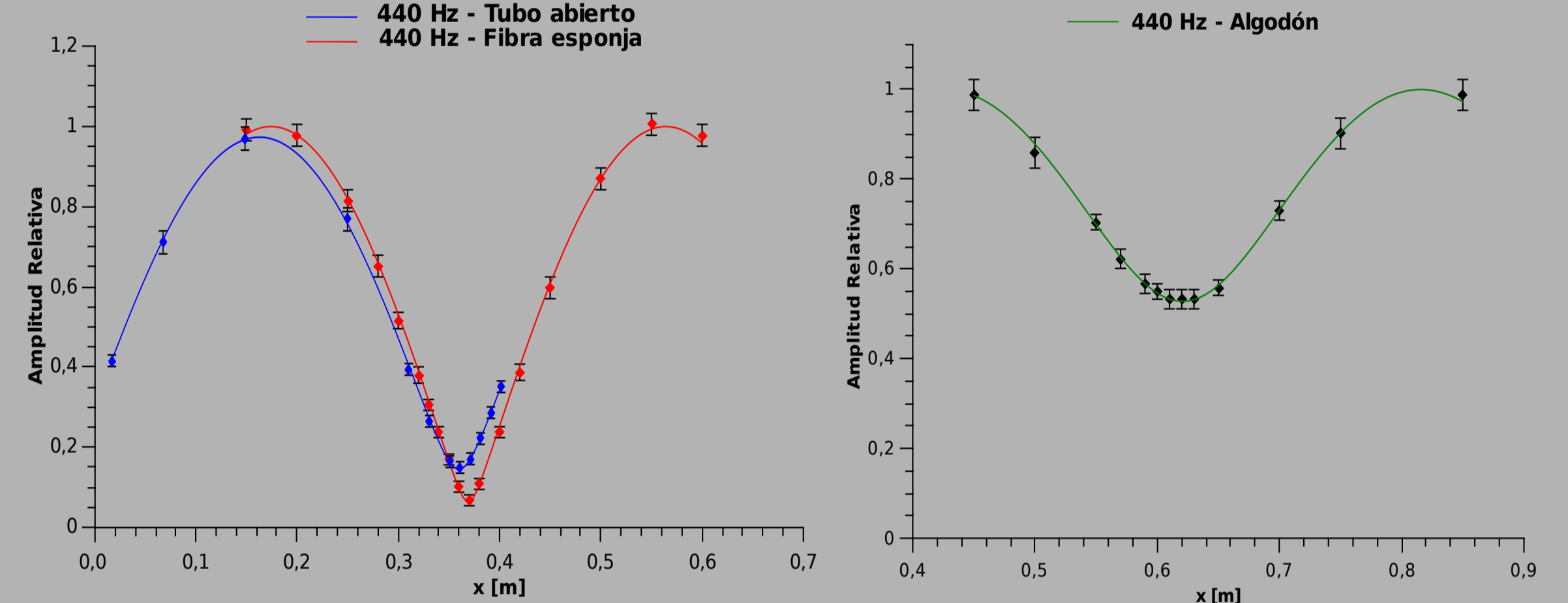
(Algoritmo Nelder-Mead Simplex)

Impedancia mecánica en la terminación:

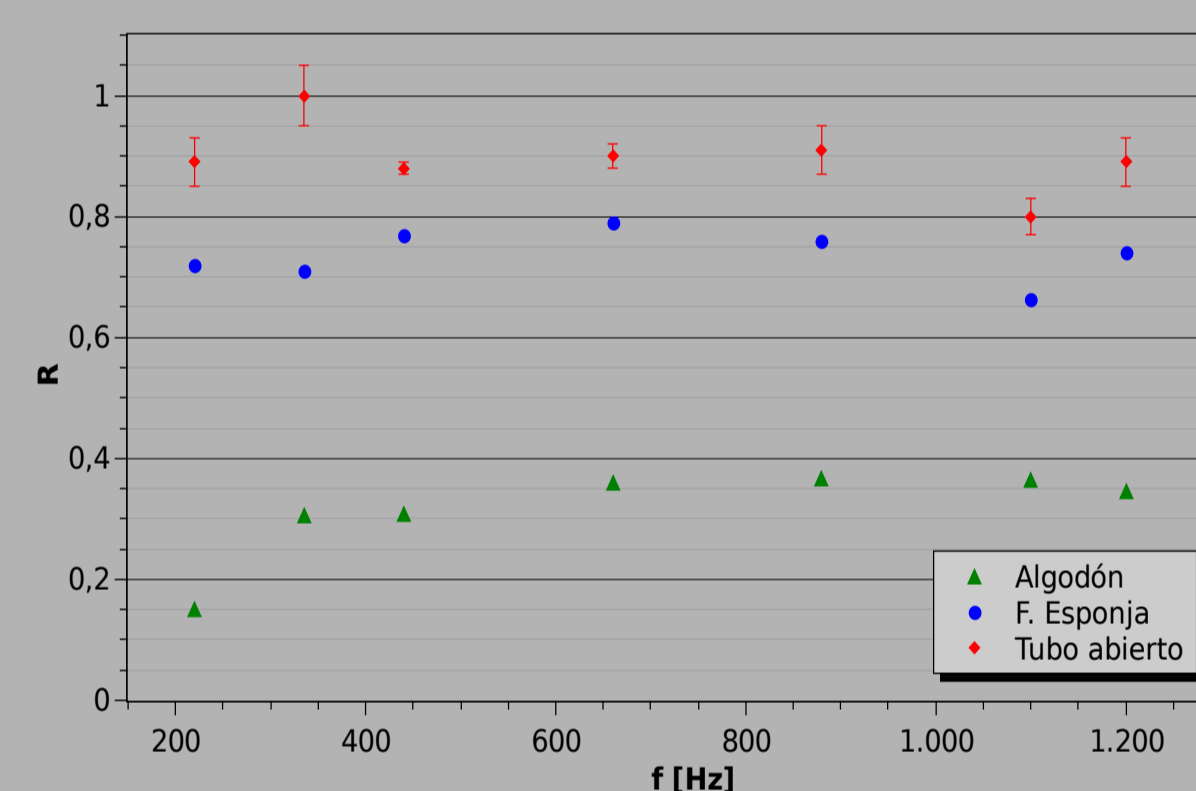
$$Z_m = \rho c \frac{1 + Re^{j\varphi}}{1 - Re^{j\varphi}}$$

Resultados:

Mostramos solo el caso de 440Hz



Coefficiente de reflexión (R) vs. frecuencia

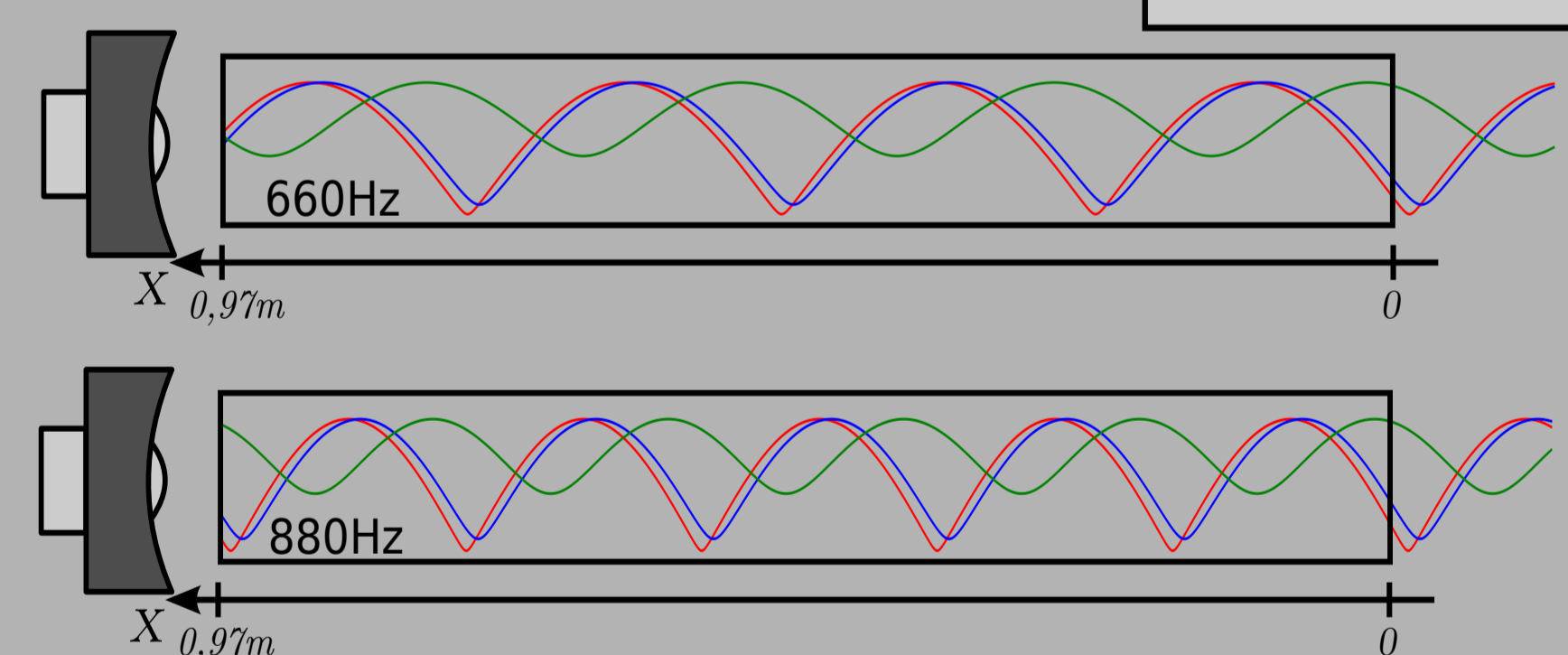


Se observa una reflexión de entre el 80% y el 100% en el extremo abierto del tubo en el rango estudiado, lo cual es consistente con la literatura. Se comprueba también que el algodón de uso medicinal produce una reflexión menor al 40% en todo el rango estudiado, por lo que una terminación con estas características permitiría realizar experimentos en condiciones similares a la de onda viajera.

Representación Esquemática:

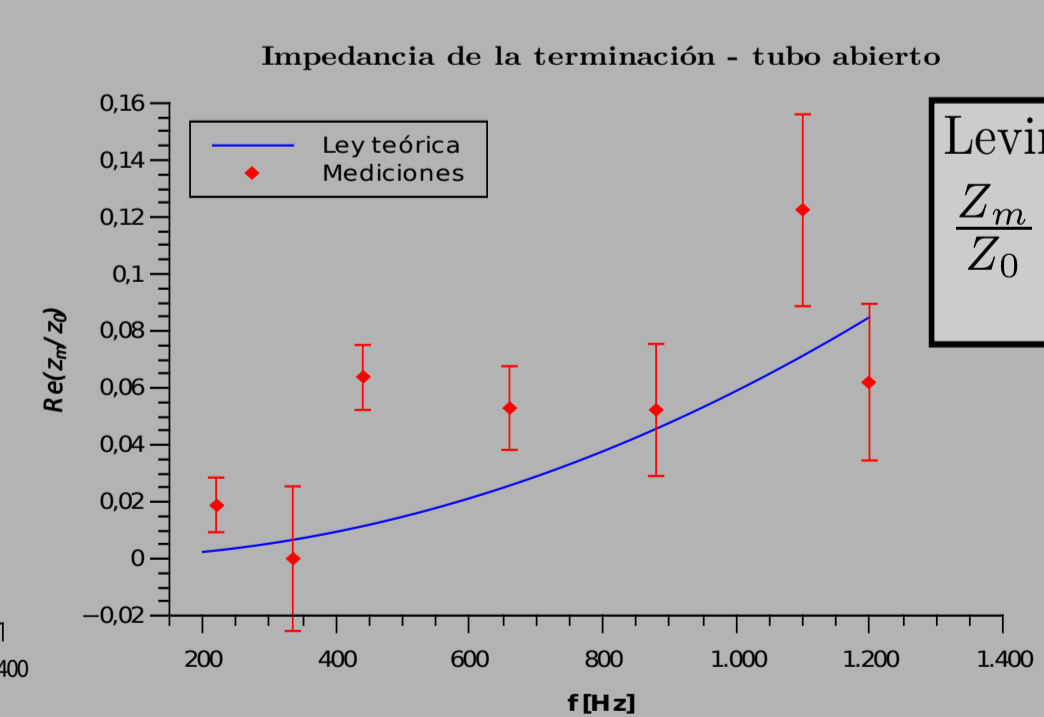
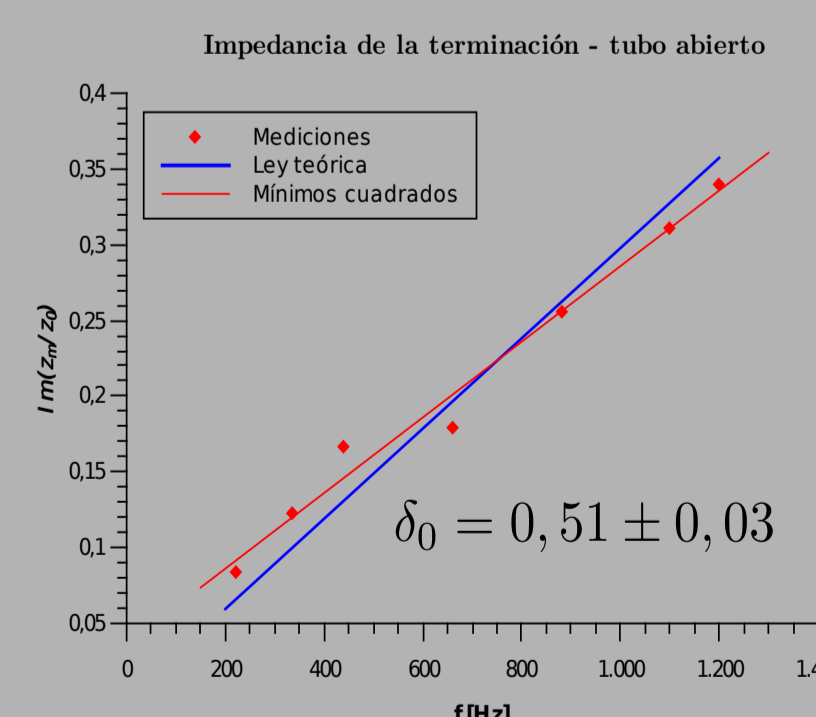
Esquema representativo de las amplitudes de presión en el tubo.

Rojo: Tubo abierto
Azul: Cerrado con esponja
Verde: Cerrado con algodón



Corrección de borde: $L' = L + a\delta_0$

Resultados de la impedancia:



Levine-Schwinger [3,6]:
 $\frac{Z_m}{Z_0} = \frac{1}{4}(ka)^2 + j\delta_0 ka$
 $\delta_0 \approx 0,6133$

Conclusiones

Se ha desarrollado un método para medir la impedancia de la terminación de un tubo de Kundt, a partir de la determinación de la amplitud de presión de la onda sonora en el interior del tubo punto a punto.

Se ha empleado el método de mínimos cuadrados para caracterizar la forma de la onda y para obtener el coeficiente de reflexión y la relación de onda estacionaria, como así también para calcular la posición de los mínimos de presión.

Este método es eficiente y sencillo para medir la forma de la onda de presión en un tubo de Kundt y calcular los coeficientes de reflexión R de distintos materiales en la terminación.

Es adecuado para ser utilizado en ámbitos educativos debido a la sencillez del equipamiento necesario y a su bajo costo frente a los métodos tradicionales con dos micrófonos.

Tiene suficiente versatilidad como para ser aplicado en ensayos con diversos materiales en la terminación además del tubo abierto.

Bibliografía:

- [1] Kinsler, Frey, Coppens, Sanders; Fundamentals of Acoustics (2000)
- [2] Rossing; American Journal of Physics (1982)
- [3] Levine, Schwinger; Physical Review (1948)
- [4] Černík, Mokry; Smart Material and Structures 21 (2012)
- [5] Fan, Ge, Zhang, Zhang; Journal of Applied Physics 112 (2012)
- [6] M. Atig et al., C. R. Mecanique 332 (2004).
- [7] R. Welti; Líneas de transmisión y filtros acústicos. FCEIA-UNR.

Agradecemos a Reinaldo Welti, Bernardo Gómez y Carlos Repetto por su desinteresada colaboración en este trabajo.