



## ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RESPUESTA ACÚSTICA EN GUÍAS DE ONDAS PERIÓDICAS

Ana Karen Reyes<sup>a</sup>, Gabriel Arroyo Correa<sup>a</sup>, Héctor Pérez Aguilar<sup>a</sup>, Alberto Mendoza Suárez<sup>a</sup>,

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias Físico-Matemática, UMSNH, Morelia, Mich., akreyes92@gmail.com, garroyo@umich.mx, hiperezag@yahoo.com, amendozas777@yahoo.com.mx

### RESUMEN

La propagación de ondas que interactúan con objetos compuestos de materiales que tienen ciertas propiedades físicas engloban a una gran cantidad de fenómenos en electromagnetismo, óptica, acústica, mecánica cuántica, etc. En particular, sistemas físicos donde las ondas acústicas puedan ser guiadas por alguna región que convenga y que, además, puedan ser controladas algunas de sus propiedades. En este trabajo, presentamos resultados experimentales de la transmisión de ondas acústicas a través de guías de ondas periódicas definidas por canales con perfiles no estándares. Este sistema permite ser la contraparte de una guía de ondas de cristal fotónico en 1D, en donde la periodicidad se obtiene variando las propiedades físicas del material en la dirección longitudinal a diferencia de un cristal convencional.

### 1. INTRODUCCIÓN

En fechas recientes el estudio de la propagación de ondas electromagnéticas a través de nanoestructuras con geometrías no convencionales ha llamado la atención por sus potenciales aplicaciones tecnológicas [1,2]. El diseño y construcción de estas nanoestructuras requiere de técnicas avanzadas dadas las dimensiones con las que se trabaja. En el caso de ondas acústicas es bien sabido el efecto que un resonador de Helmholtz acoplado a una guía, o simplemente una perforación practicada en la superficie de la guía, tiene sobre la propagación de la onda acústica a través de la guía [3]. El amplio rango del espectro acústico, desde la región infrasónica, audible y hasta la región ultrasónica, hace que desde el punto de vista técnico sea más sencillo construir estructuras apropiadas para modificar las propiedades de propagación de ondas acústicas. En este trabajo mostramos resultados experimentales de la propagación de ondas acústicas a través de una guía con estructura periódica.

### 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La Fig. 1 muestra una fotografía del arreglo experimental utilizado en este trabajo. La guía se construyó con cartón grueso con sus extremos abiertos. Las dimensiones fueron 39X5X5 cm. Se utilizó un generador de funciones conectado a una bocina. La bocina se aisló dentro de una estructura de hielo seco sobre la cual se practicó una abertura, de 2.5X1 cm, acoplada al extremo izquierdo de la cavidad. A la salida del extremo derecho de la guía se colocó un sensor de sonido en la parte central. La señal acústica fue registrada con una interfaz digital conectada a la PC y el espectro de Fourier fue desplegado en tiempo real con la ayuda de un software apropiado. Se construyeron dos guías idénticas, una con paredes lisas y otra con paredes rugosas.

En el caso de la guía con paredes rugosas, a la cara inferior y superior se le fueron agregando escalones rectos separados 10 cm entre sí como se muestra en la Fig. 2(a). La tapa inferior permaneció fija y la superior se diseñó para que se pudiera desplazar de tal manera que fuera posible definir separaciones relativas entre los escalones superiores e inferiores. En una primera serie de mediciones se analizó el caso en que las alturas de los escalones fueron de 1 cm,



estudiando los casos en que la separación relativa entre los escalones fueron de 0 cm, 2.5 cm y 5 cm. En una segunda serie de mediciones se estudio el caso en que la altura de los escalones fue de 2 cm, y analizando los mismos casos de separación relativa entre los escalones. Se concluyó este estudio con una tercera serie de mediciones en donde ahora se colocaron dos pares de escalones simétricamente separados con respecto al escalón de 2 cm de altura. En la Fig. 2(b) se muestra esta disposición. Se analizaron también los casos en que la separación relativa entre los escalones centrales fueron de 0 cm, 2.5 cm y 5 cm.

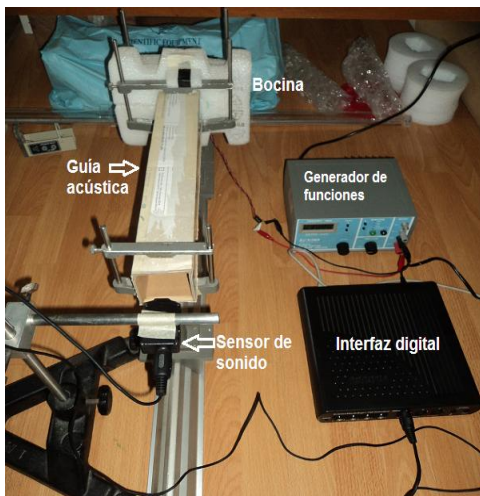


Figura 1. Arreglo experimental.

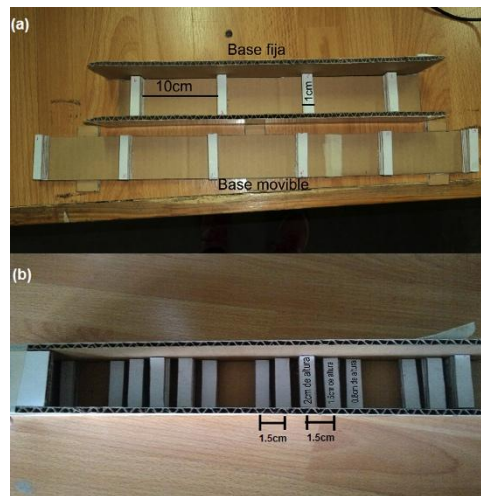


Figura 2. Geometrías en la guía rugosa: (a) escalón simple; (b) con subestructuras.

### 3. RESULTADOS

Las Figs. 3-6 muestran los espectros de Fourier de la señal detectada a la salida de la guía cuando la altura del escalón fue de 1 cm y para las diferentes frecuencias en la bocina indicadas en los pies de figura. La secuencia de los espectros en cada figura es como sigue: el espectro superior izquierdo corresponde a la guía lisa y el resto de los espectros corresponde a la de la guía con paredes rugosas cuando el desfase relativo entre los escalones fue de 0 cm (espectro superior derecho), de 2.5 cm (espectro inferior izquierdo) y de 5 cm (espectro inferior derecho). Las unidades de las amplitudes de los espectros están en unidades arbitrarias. De estas figuras resulta evidente el efecto que las paredes rugosas y el desfase relativo entre los escalones tienen sobre el espectro acústico. A frecuencias bajas, Fig. 3, es clara la aparición de subestructura en el espectro comparado con la de la guía lisa. Además, el desfase relativo entre los escalones favorece el reforzamiento de la amplitud del espectro (compárense las escalas verticales). Este mismo comportamiento se observa a frecuencias mayores, Figs. 4 y 5. A la frecuencia mayor que se analizó en este trabajo de 7480 Hz, Fig. 6, se observa una subestructura más complicada que la que ocurre a bajas frecuencias pero que también es modificada por el desfase relativo entre los escalones. En las Figs. 7-10 se muestra la secuencia de espectros a las frecuencias similares a las de las Figs. 3-6, pero para cuando la altura del escalón fue de 2 cm. Conclusiones similares a las del párrafo anterior se pueden inferir; sin embargo, hay diferencias bien marcadas. A bajas frecuencias la subestructura del espectro es más sensible al desfase relativo entre los escalones cuando la altura del escalón es mayor (compárense las Figs. 3 y 7). A frecuencias mayores, Figs. 8 y 9, es notorio el cambio en la amplitud del espectro con el desfase relativo



entre los escalones. A la frecuencia mayor analizada, Fig. 10, el desfase relativo puede inducir una disminución notable en la amplitud del espectro.

Las Figs. 11-14 presentan los resultados experimentales para la estructura de escalones de la Fig. 2(b) para frecuencias altas. De estas figuras se puede inferir que el efecto de la subestructura y el corrimiento relativo de los escalones producen mayores modificaciones al espectro acústico que lo que se observa en el caso de escalones simples. Esto desde luego es esperado ya que la separación entre los elementos de la subestructura es del orden o menor que la longitud de onda de la radiación acústica a estas frecuencias.

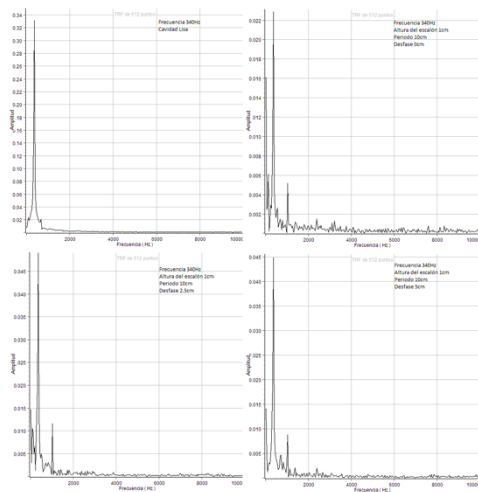


Figura 3. Espectros a  $f=340$  Hz.

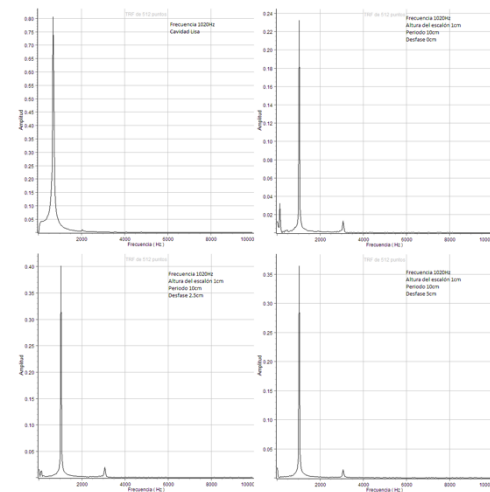


Figura 4. Espectros a  $f=1020$  Hz.

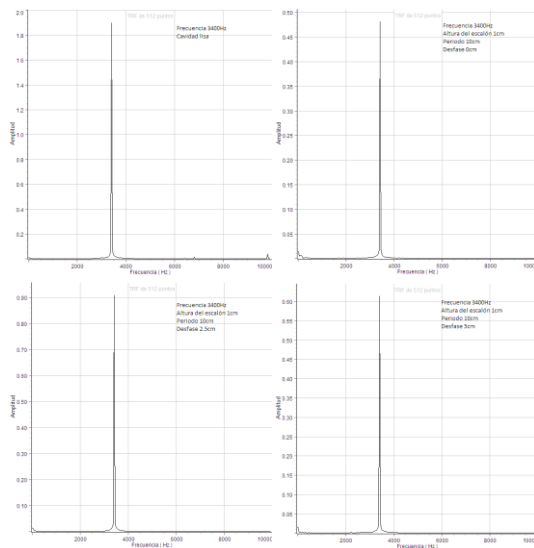


Figura 5. Espectros a  $f=3400$  Hz.

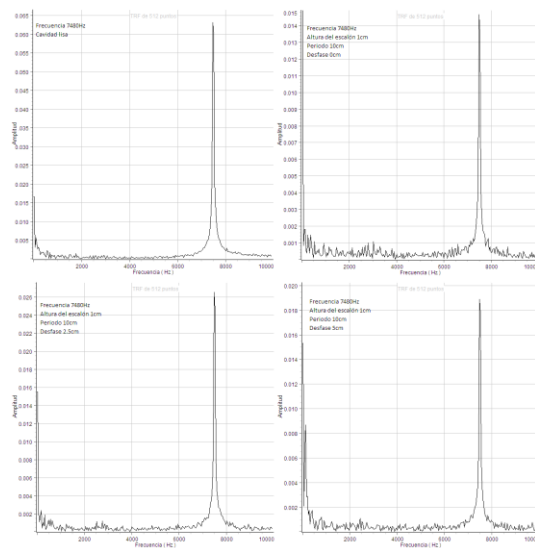


Figura 6. Espectros a  $f=7480$  Hz.

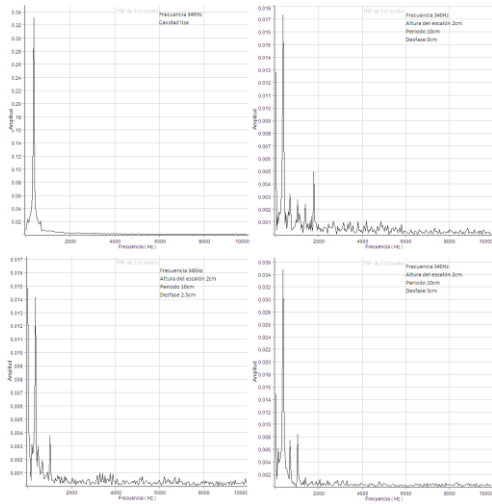


Figura 7. Espectros a  $f=340$  Hz.

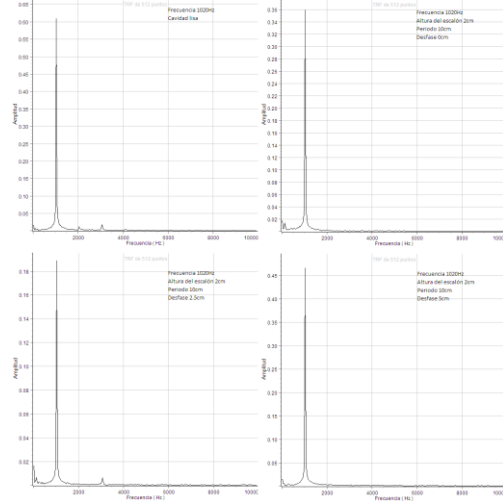


Figura 8. Espectros a  $f=1020$  Hz.

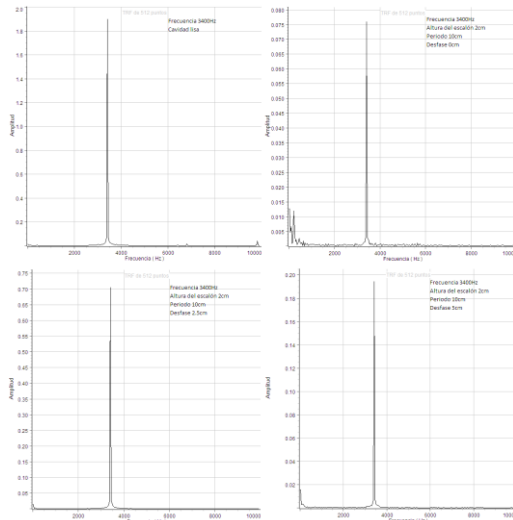


Figura 9. Espectros a  $f=3400$  Hz.

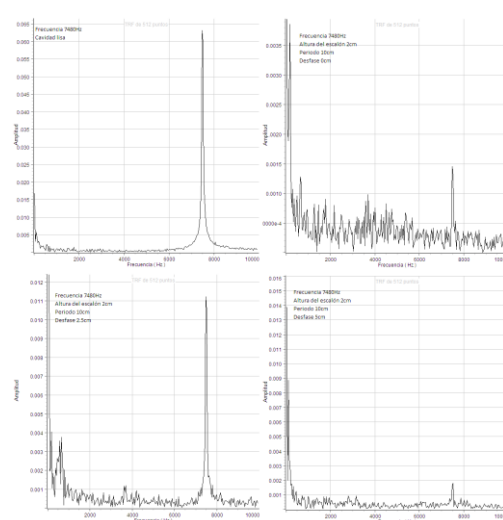


Figura 10. Espectros a  $f=7480$  Hz.

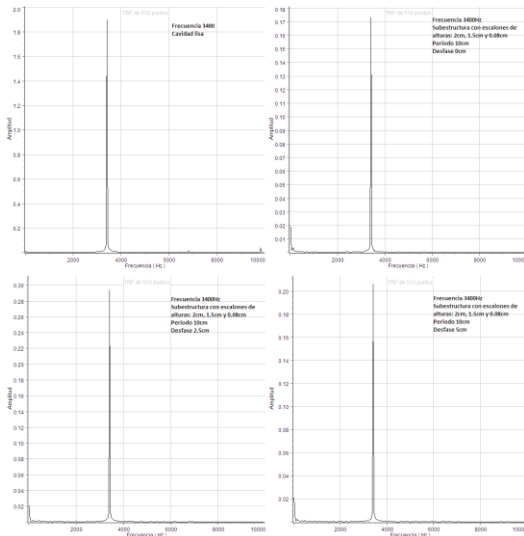


Figura 11. Espectros a  $f=3400$  Hz.

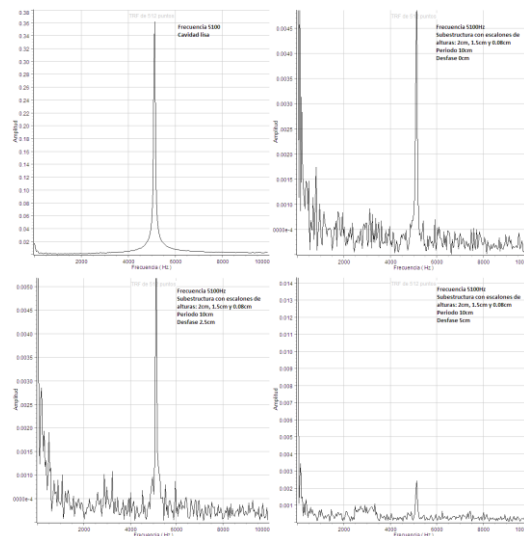


Figura 12. Espectros a  $f=5100$  Hz.

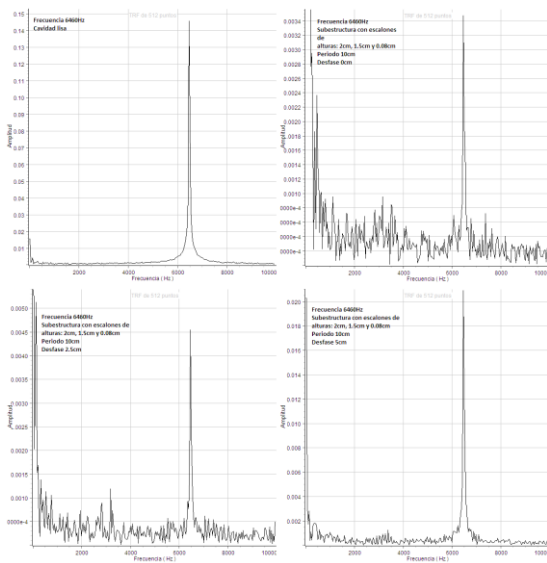


Figura 13. Espectros a  $f=6450$  Hz.

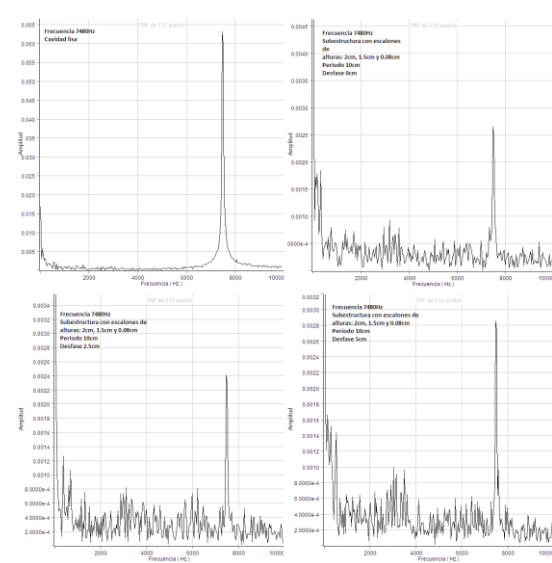


Figura 14. Espectros a  $f=7480$  Hz.



#### 4. CONCLUSIONES

Podemos concluir que es evidente la aparición de cambios en el espectro acústico según la estructura de las paredes de nuestra guía. En una guía completamente plana podemos observar solo el máximo en la frecuencia que nosotros mismos estamos inyectando a la guía, pero cuando tenemos una guía con algunas modificaciones, como lo son los escalones en su pared inferior y superior, podemos darnos cuenta que puede aparecer subestructura en el espectro acústico. El desfase relativo entre los escalones también modifica el espectro acústico. En el caso de escalones simples, Fig. 2(a), este comportamiento es evidente a bajas frecuencias. En el caso de subestructura adicional en los escalones, Fig. 2(b), este comportamiento se nota a frecuencias altas. Esto es de esperarse ya que en uno y el otro caso se está trabajando con separaciones del orden o menor a la longitud de onda. Nuestros resultados nos permiten establecer pautas apropiadas para construir guías con geometrías más complicadas para propósitos específicos: filtros acústicos, lentes acústicas, etc.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. H. Perez-Aguilar, A. Mendoza-Suarez, E. S., Tututi and I. F. Herrera-González, "Disordered Field Patterns in a Waveguide with Periodic Surfaces," *Progress In Electromagnetics Research B*, Vol. 48, 329-346 (2013).
2. H. Pérez Aguilar et al., "Cálculo de estructuras de bandas en cristales fotónicos en 2D con superficies rugosas", Memorias del XI Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia, 2011. Artículo S1-FMCT06.
3. L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, "*Fundamentals of Acoustics*" (John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 2000), Chapters 9-10, pp. 246-296.