Focalización de ondas acústicas mediante una lente formada por dispersores toroidales rígidos.

D. Tarrazó-Serrano[1], R. Picó[1], V. Romero-García[1], A. Cebrecos[1], N. Jiménez[1], V.J. Sánchez-Morcillo[1], L.M. Garcia-Raffi[2] y J.V. Sánchez-Pérez[3]

[1]Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras (IGIC),
[2]Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada,
[3]Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica,
Universitat Politécnica de Valéncia (UPV), Spain
datarser@gmail.com, **rpico@fis.upv.es**, **virogar1@gmail.com**

Resumen

En este trabajo se analizan las propiedades de propagación de las ondas sonoras en un sistema con simetría axial cuyos dispersores son toroides rígidos. El objetivo es el diseño, construcción y caracterización de un sistema para la focalización eficiente de las ondas mediante elementos pasivos (lente acústica). Mediante simulaciones numéricas en el dominio frecuencial, basadas en el método de los elementos finitos, se muestra la posibilidad de control espectral y espacial de las ondas acústicas propagándose a través de una estructura de compuesta de dispersores de tipo toroidal. El interés del uso de estructuras axisimétricas para la focalización radica en que ésta es la simetría presente en la mayoría de las fuentes acústicas tanto en el rango audible como en ultrasonidos. En el trabajo se discuten los resultados numéricos y los datos experimentales que se han obtenido para una lente axisimétrica que trabaja en el rango de grandes longitudes de onda (régimen de homogenización) y se comporta como un lente con un gradiente espacial de índice de refracción. Las propiedades de focalización y la caracterización del foco obtenido mediante esta lente son el eje principal de este trabajo. El sistema está diseñado bajo la suposición de que las ondas se propagan en el régimen de la acústica lineal, y por tanto podría ser totalmente re-escalado a otros rangos de frecuencia con vistas a líneas futuras en el campo de los ultrasonidos, donde la focalización cobra importancia en diversas aplicaciones.

Motivación

Las estructuras con simetría axial son de gran relevancia en los últimos años debido a su relación con las aplicaciones en la propagación de las ondas debido a la simetría entre fuente y objeto.

- Diseño de un axisimétrico en un medio efectivo usando gran longitud de onda.
- Control de filtrado espacial en el régimen de difracción.
- Formación de imágenes con sub-longitud de onda en el campo lejano.

Diseño del la lente en agua

El objetivo de este trabajo es el diseño de una lente axisimétrica para su aplicación en ultrasonidos, sobre todo para aplicaciones submarinas. La lente que se presenta en este trabajo consiste en una distribución de planos hechos de dispersores toroidales concéntricos de aluminio, cuyos radios, R, varían en el plano radial de la lente para caracterizar la propiedades de refracción del sistema. En la Figura 1 se puede ver un esquema de la lente que se estudia en este trabajo.

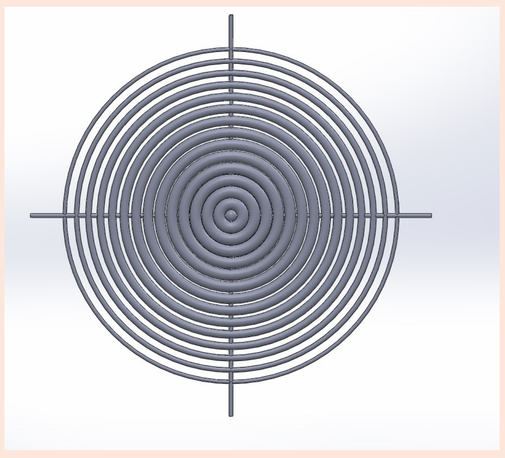


Figura 1. *Vista frontal de la lente.*

Debido a la simetría de revolución de la lente, podemos hacer el estudio en el plano axial.
El diseño de la lente se realiza para frecuencias que cumplen la relación $\lambda > 4a$, donde la longitud de onda es muy grande en comparación con la distancia entre dispersores y el medio se considera homogéneo. Para que el medio se comporte como lente, debemos introducir un perfil de índice de refracción que introduzca los desfases necesarios para producir focalización detrás de la lente. Este perfil viene dado por el de secante hiperbólica,

$$n(r) = n_0 \,\mathrm{sech}(\alpha r), \tag{1}$$

donde $n_0 = n(r = 0)$ es el índice de refracción en el eje z ($r = 0$) y α es el coeficiente de gradación,

$$\alpha = \frac{1}{h} \cosh^{-1}\left(\frac{n_0}{n_h}\right), \tag{2}$$

donde h es el radio de la lente, y n_h el índice de refracción de la lente en sus extremos ($r = \pm h$). Para nuestro diseño hemos elegido $n_0 = 1$ y $n_h = 1.33$ (con $h = 7a$).
Los sistemas con comportamiento lineal, pueden ser escalables si se mantienen las relaciones de aspecto y las relaciones de propiedades físicas. Por ello, normalmente se utilizan variables normalizadas respecto a alguna distancia caracterísitca, como es el paso de red, a, y alguna propiedad característica del medio, como es la velocidad de propagación, c_{host}. Por lo tanto solo basta con mantener la relación de aspecto entre los dispersores, que viene caracterizada por el factor de llenado, $f = \pi R^2/a^2$ para la completa caracterización en cualquier medio de propagación lineal.

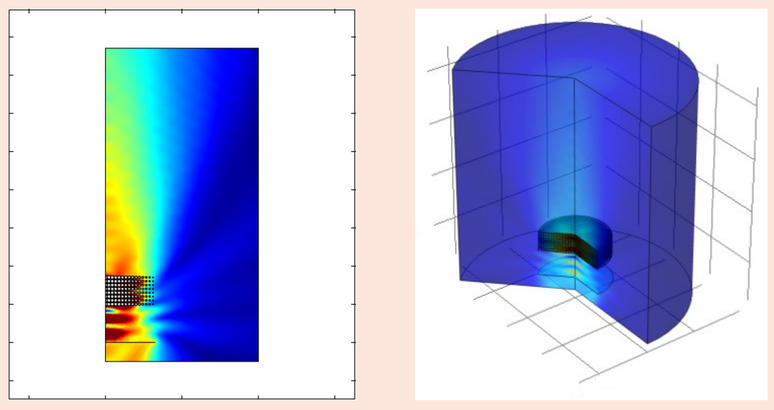
	Aire		Agua	
Fila	R (mm)	f (%)	R(mm)	f(%)
1	18.2	65	0.82	65
2	17.5	60	0.79	60
3	17	57	0.77	57
4	15	44	0.68	44
5	13.5	36	0.61	36
6	11	24	0.50	24
7	8.5	14	0.38	14
8	6	7	0.27	7

Tabla 1. *Valores de diseño para una lente con perfil de secante hiperbólica en agua y aire.*

La impedancia acústica del aluminio con respecto a la del agua es del orden de 12 veces superior. De tal manera, las ondas pueden penetran en el dispersor. Por ello, es necesario considerar la interacción fluido-estructura para abordar el problema.

Focalización de la lente acústica

A continuación se muestran los resultados obtenidos utilizando el método de los elementos finitos mediante el COMSOL Multiphysics. En este caso, solo se ha utilizado el módulo acoustic-structure. Mediante esta simulación se puede comprobar si realmente el re-escalado a agua es correcto y de esta forma observar si se produce al igual que ocurre con el caso de aire el efecto de focalización.



(a) (b)

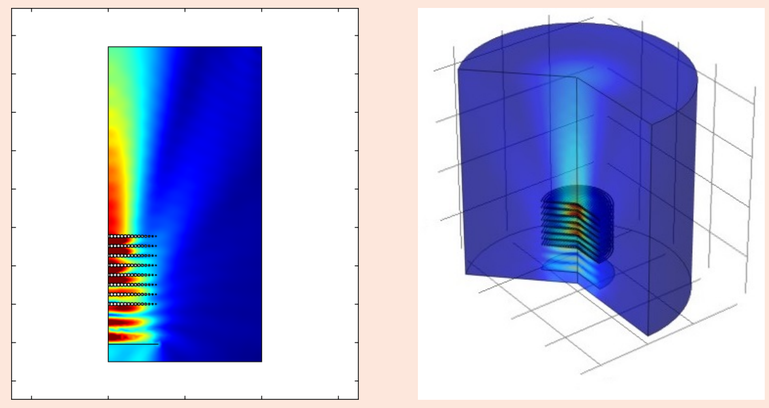
Figura 2. *Campo acústico (valor absoluto de la presión, $|p|$. (a) vista 2D en el plano axial. (b) vista en 3D del campo de presión en volumen.*

Optimización

Los parámetros que han sido utilizados para la optimización de la focalización de la estructura son la distancia entre toroides y la distancia fuente-objeto.
El objetivo de la optimización es conseguir la maximización de la presión absoluta en un punto determinado situado a una distancia de 20 mm del sistema completo medida desde su final. Definiendo los grados de libertad y los límites se obtienen los siguientes resultados.

$$AS(dB) = 20 \log_{10}\left(\frac{p_c}{p_s}\right) = 8dB \tag{3}$$

donde p_c y p_s son las presiones con la lente y sin la misma respectivamente.



(a) (b)

Figura 3. *Campo acústico (valor absoluto de la presión, $|p|$. (a) vista 2D en el plano axial. (b) vista en 3D del campo de presión en volumen.*

Conclusiones

Se ha realizado el diseño de la lente acústica con simetría axial para la focalización de las ondas sonoras construida con varios planos de toroides concéntricos de radio variables. También se ha validado la estructura mediante la simulación acústica con el método de elementos finitos, al igual que ocurre con el aire también se provoca el efecto de focalización obteniendo una amplificación sonora de 3 dB. Además cabe destacar que la optimización de la estructura a partir del diseño original ha hecho incrementar significativamente la amplificación sonora hasta 8 dB.En líneas futuras se podría realizar un diseño físico que implemente la línea de mejoras estudiadas.

Agradecimientos

El trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Unión Europea FEDER con los proyectos FIS2011-29734-C02-01 and -02 and PAID/2012/253. D.T. está agradecido por la beca ofrecida por la Bienal de Física. V.R.G. agradece el soporte de los contratos post-doctorales de la UPV CEI-01-11.

Referencias

◦ V. Romero-García, et al., *IMECE2012, ASME* (2012)
◦ B.G. Lucas and T.G. Muir, *J. Acoust. Soc. Am.* **72** (4), 1289 (1982)
◦ T.-M. Chang, et al., *New Jour. Phys.*, **14**, 035011, (2012).
◦ L. Sanchís, et al., *Appl. Phys. Lett.*, **97**, 054103 (2010).