

PREDICCIÓN DE LA DIRECTIVIDAD DE ALTAVOCES CON SUPERFICIE DE DIAFRAGMA PLANA

PACS: 43.38.Ja

Alba Fernández, Jesús; Ramis Soriano, Jaime; Pico, Rubén.
Departamento de Física Aplicada; Escuela Politécnica Superior de Gandía
Universidad Politécnica de Valencia
Carretera Nazaret-Oliva s/n
46730 Grao de Gandia. Valencia
Tel: 962 849 314 - 962 849 300
Fax: 962 849 309
E-mail :jesalba@fis.upv.es; jramis@fis.upv.es

ABSTRACT

In this paper we present the results of application of numerical techniques of integration for the determination of directivity of loudspeakers with rectangular and plain surfaces of diaphragm. In order to demonstrate the accuracy of the prediction a comparative between predicted and experimental results is presented.

RESUMEN

En los sistemas de reproducción sonora es habitual la utilización de altavoces dinámicos. Sin embargo, en aplicaciones específicas, puede ser necesaria y/o conveniente la utilización de altavoces alternativos con superficies planas como diafragma, como los electrostáticos o los basados en la tecnología NXT[®]. Estos altavoces generan el campo acústico mediante la vibración de una superficie rectangular. Se puede suponer, en una primera aproximación, todos sus puntos se mueven con la misma amplitud y fase. En este trabajo se analiza el comportamiento directivo de este tipo de superficies para la generación del campo acústico y se simula su comportamiento, comparándolo con medidas experimentales.

INTRODUCCIÓN

Los altavoces electrostáticos y los altavoces basados en la tecnología NXT[®] generan el campo acústico con el movimiento de una superficie rectangular donde todos sus puntos se mueven con la misma amplitud y fase.

Hay que tener en cuenta que la obtención de características direccionales de este tipo de altavoces en laboratorio puede ser complicada. Por un lado, siempre está justificado el esfuerzo en disponer de una herramienta matemática con la que predecir sus características directivas antes incluso de construirlo. Por otro, los altavoces cuadrados o rectangulares basados en la tecnología NXT[®], están pensados para funcionar en condiciones difícilmente reproducibles en una cámara anecoica: montados en el techo como si fuesen paneles de membrana, con diferentes cámaras de aire detrás, u ocultos tras una fotografía colgada en la pared. El montaje en pantalla plana infinita, recomendado para otros altavoces no parece adecuado para estos.

En este trabajo se analiza el comportamiento directivo de este tipo de superficies para la generación del campo acústico y se simula su comportamiento, comparándolo con medidas experimentales. Se realiza una simulación de la directividad de un altavoz electrostático

comercial, QUAD ESL-63 y se comparan las medidas experimentales. Además, se predice el comportamiento directivo de un altavoz basado en la NXT©, (Wharfedale LoudPanel), diseñado para poder ser instalado, entre otros sitios, en el techo.

PRESIÓN RADIADA POR SUPERFICIES RECTANGULARES

Para modelar el comportamiento desde el punto de vista de la radiación producida, se utiliza el modelo de pistón plano y rectangular. Este modelo consiste en una superficie en la que todos sus puntos vibran con la misma amplitud e idéntica fase. Diversos autores señalan las condiciones en las cuales esta hipótesis se puede aplicar [1-2].

El modelo de pistón parte de la hipótesis de que, en general, la radiación producida por la vibración de una superficie extendida, tal como un pistón, diafragma, etc, se puede obtener como la suma de presiones que producirían una asociación de fuentes simples de superficie dS . La presión producida en un punto por una fuente simple viene dada por (figura 1):

$$dp = -j \frac{\rho_0 f \bar{u}_0 d\bar{S}}{h} e^{jk(h-ct)}$$

siendo $j = \sqrt{-1}$ la unidad imaginaria, ρ_0 la densidad del aire, f la frecuencia de la onda emitida por la fuente simple, u_0 la amplitud de velocidad de la superficie vibrante, h la distancia del elemento diferencial al punto donde se quiere calcular la presión, c la velocidad de propagación de la onda en el aire, t el tiempo y k el número de onda. El valor de h es:

$$\bar{h} = \bar{r} - \bar{r}_0 = (x_0, y_0, z_0) - (x, y, 0) = (x_0 - x, y_0 - y, z_0)$$

$$h = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + z_0^2}$$

siendo \mathbf{r} el vector de posición del punto donde se quiere calcular la presión y \mathbf{r}_0 el vector de posición del diferencial de superficie. Si la velocidad de vibración \mathbf{u}_0 es constante y lleva la dirección del eje Z, la expresión asociada a la fuente simple se puede escribir de la siguiente forma:

$$dp = -j \frac{\rho_0 f u_0 dx dy}{\sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + z_0^2}} e^{jk(\sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + z_0^2} - ct)}$$

Integrando la expresión anterior para toda la superficie del pistón se obtiene la presión en un punto del espacio:

$$p = -j \rho_0 f u_0 e^{-j\omega t} \int_{x=-\frac{L_x}{2}}^{\frac{L_x}{2}} \int_{y=-\frac{L_y}{2}}^{\frac{L_y}{2}} \frac{e^{jk\sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + z_0^2}}}{\sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + z_0^2}} dx dy$$

La expresión anterior, aún siendo para el caso más simple donde la velocidad de vibración es constante en todos los puntos de la superficie, requiere de una integración numérica. Diversos trabajos abordan con más detalle el estudio anterior y su resolución numérica [3-4].

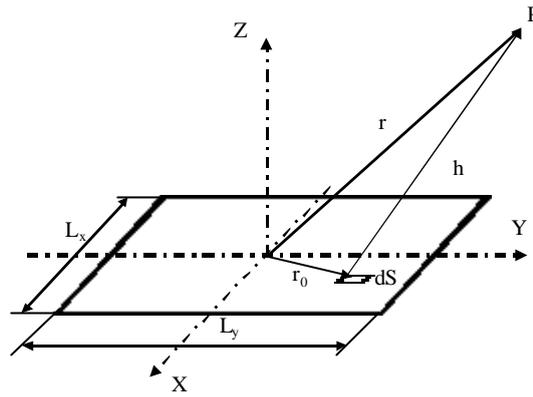


Figura 1: Pistón rectangular vibrante

RESULTADOS

Directividad del QUAD ESL-63 [5]

Se presentan en este apartado resultados de directividad para una superficie de 92.5 x 66 cm, dimensiones que coinciden con la de la superficie rectangular del altavoz electrostático Quad ESL 63 [5]. En la figura 2 se muestran las directividades obtenidas por simulación a 125, 500, 2000 y 8000 Hz y un metro de distancia. En la figura 3 se muestran las medidas experimentales.

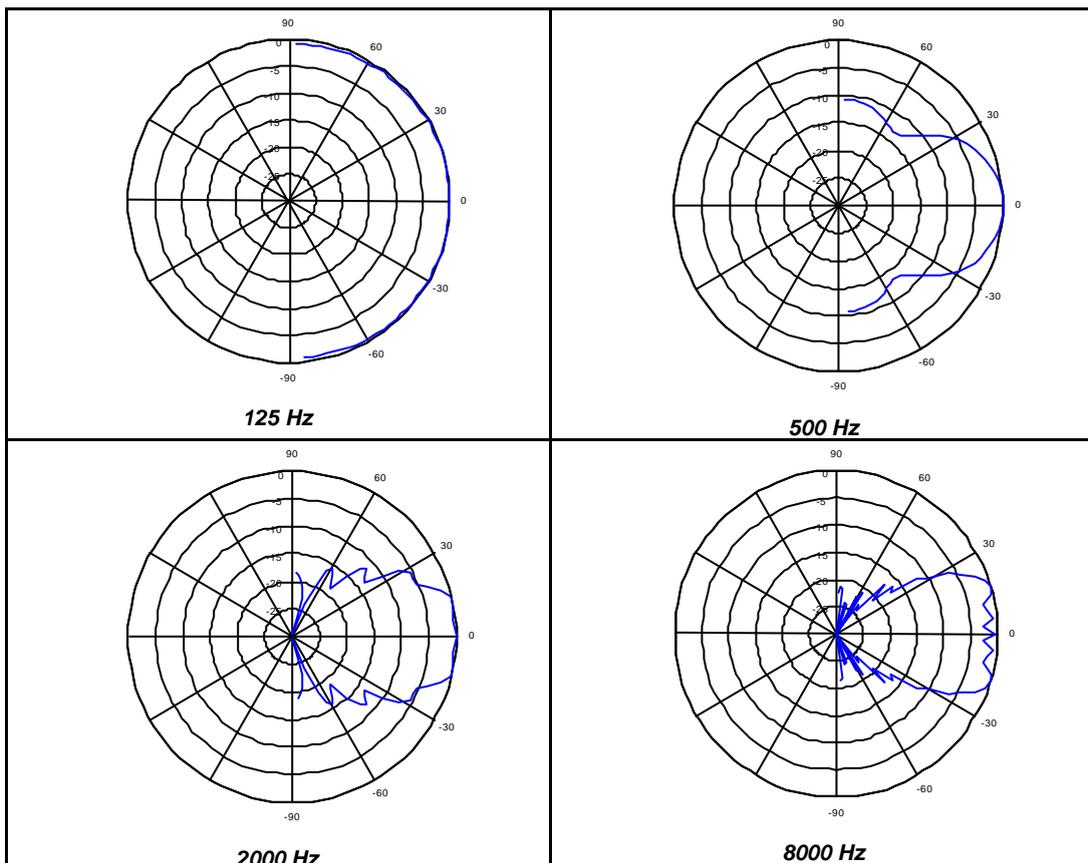


Figura 2: Simulación de la directividad para un Quad ESL-63

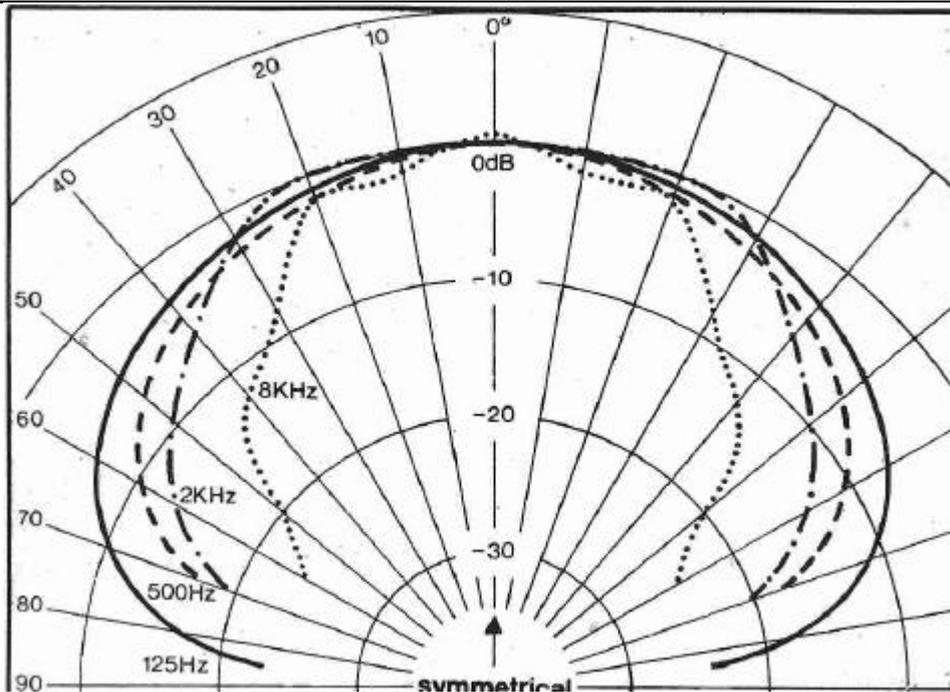


Figura 3: Medidas experimentales del Quad ESL-63

En la figura 4 se estudia la influencia con la distancia. El diagrama de directividad tiende a una forma determinada cuando se realizan las medidas en campo lejano, donde la distancia a la fuente es mucho mayor que su tamaño. Se han realizado simulaciones a 1, 2, 4, 8 y 16 m. En la figura 5 se muestra la evolución del nivel de presión al aumentar la distancia a una frecuencia de 8 kHz. Únicamente se puede considerar campo lejano en la parte final donde la curva comienza a decrecer.

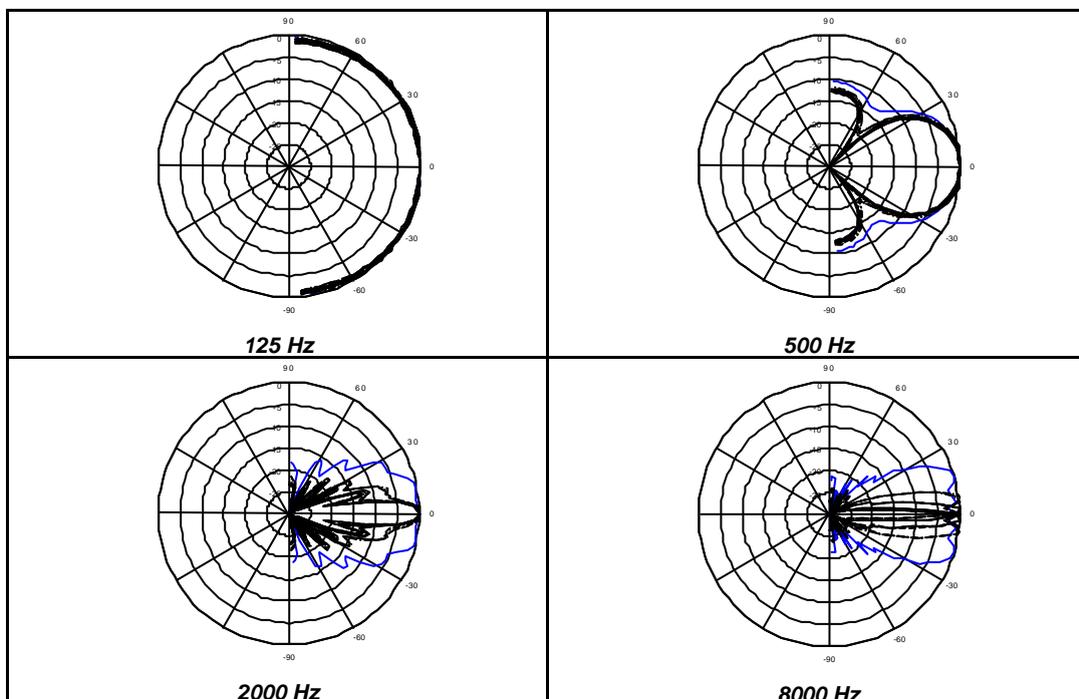


Figura 4: Simulación de la directividad para un Quad ESL-63 en función de la distancia. Las funciones se hacen más directivas conforme se aumenta la frecuencia.

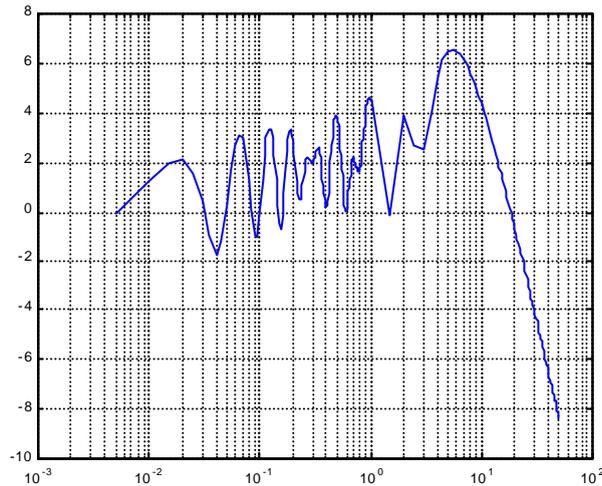


Figura 5: Evolución del nivel de presión con la distancia a 8 kHz. Se ha normalizado respecto al valor más cercano a la fuente

Predicción de la directividad de un altavoz NXT[®]

Se ha elegido un altavoz basado en la tecnología NXT[®] [6], de 60 x 60 cm. En la figura 6 se muestran los resultados de la simulación. Se han realizado simulaciones a 1, 2, 4, 8 y 16 m.

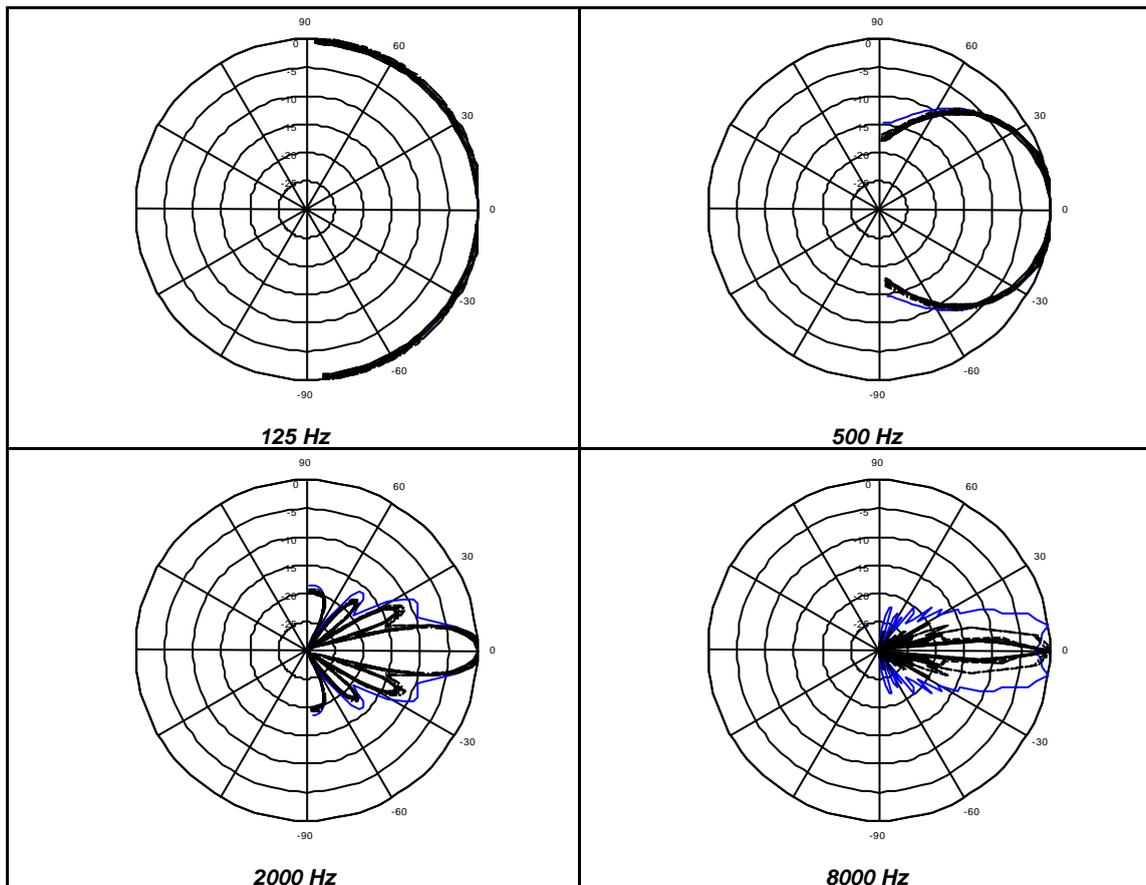


Figura 6: Simulación de la directividad para un NXT[®] de superficie cuadrada (60 x 60 cm) en función de la distancia. Las funciones se hacen más directivas conforme se aumenta la frecuencia

CONCLUSIONES

Las diferentes simulaciones se ajustan bastante bien a las mediciones experimentales, comparando para la misma distancia.

La directividad viene determinada por las dimensiones de la superficie. Normalmente la medida de directividad debe realizarse en cámara anecoica, por lo que no será posible alejarse 10 m de la fuente como sería necesario, por ejemplo, en el caso del altavoz QUAD ESL-63 a 8 kHz.

Por último, cabe resaltar el interés de la predicción de la directividad de altavoces como los estudiados, ya que para poder caracterizar este tipo de altavoces en laboratorio sería necesario reproducir exactamente las condiciones de montaje (colocación de un falso techo, etc) lo que puede tener un coste elevado o no ser representativa.

REFERENCIAS

[1] A. L. Goldstein, S. N. Y. Gerges, *"Numerical Modelling and Measurement of the Vibroacoustic Characteristics of Loudspeakers"*, InterNoise 97, 1691-1694.

[2] P. M. Morse, *"Vibration and Sound"*, Acoustical Society of America, fourth printing, 1991.

[3] Alba J., Ramis J., *"Estudio de superficies vibrantes para la predicción de su radiación acústica"*, II Congreso Iberoamericano de Acústica, Tecnicacústica 2000

[4] Alba J., Ramis J., *"Influencia del perfil de los conos para altavoces en la radiación sonora"*, Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, (16) nº 3, pag. 359-367 (2000)

[5] <http://www.euronet.nl/users/temagm/audio/esl63>

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de un proyecto financiado por la Consellería de Educación y Ciencia de la Generalitat Valenciana.