



El diseño de altavoces (*)

David Henwood

La mayoría de las estructuras vibran según frecuencias naturales cuando se las excita (por ejemplo, golpeándolas), y como consecuencia sufren distorsiones en las correspondientes formas o *modos*.

Esta propiedad de vibrar naturalmente a ciertas frecuencias es la forma de crear música, pero también es la principal fuente de dificultades cuando ésta se reproduce, por ejemplo a través de un altavoz. El mismo fenómeno que causa el sonido original se convierte ahora en distorsión. El problema surge porque las piezas estructurales de un altavoz tienen cada una sus propias frecuencias naturales que pueden influenciar el sonido, cuando no deberían hacerlo.

El cono de un altavoz es forzado a vibrar por una corriente eléctrica que pasa por una bobina situada en su base y sometida a un campo magnético. Cuando el cono vibra, su vibración se transmite al aire y así llega a nuestros oídos. En este artículo consideramos brevemente dos aspectos del altavoz: en primer lugar, la vibración del cono mismo, y en segundo lugar, la del aire en la caja que lo contiene y que es puesto en movimiento por la superficie posterior del cono.

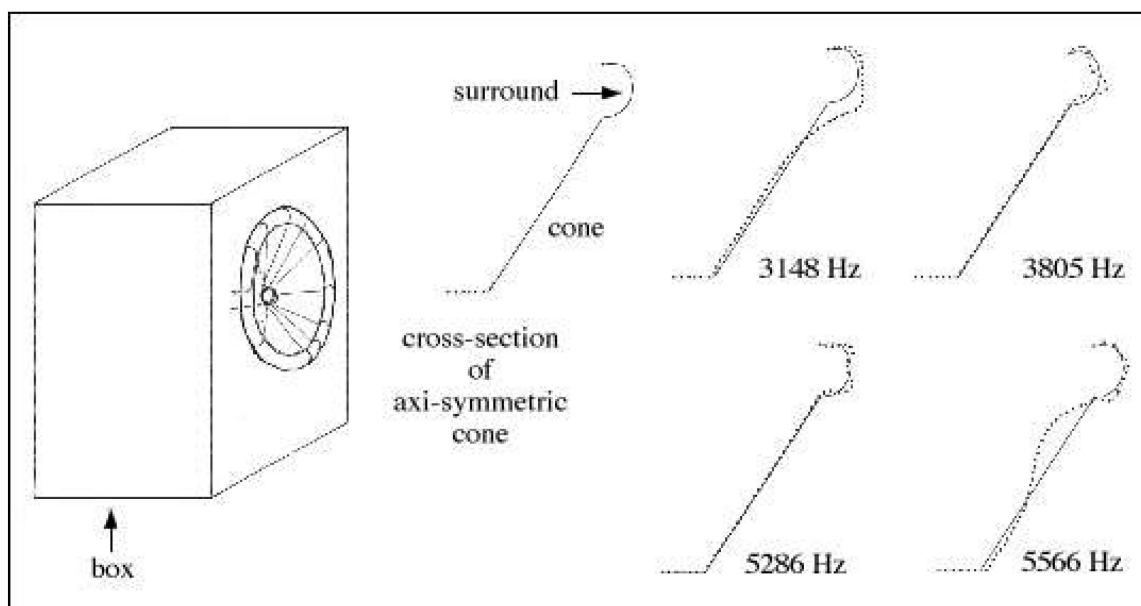


Figura 1. Modos del cono de un altavoz.

Elementos finitos

Las matemáticas son útiles para tratar de entender estos procesos mediante modelización. Permiten representar detalladamente distintas formas geométricas y, conociendo los parámetros correctos para los materiales empleados, pueden predecir las frecuencias naturales y las formas o modos de la estructura vibrante. De esta manera, sin necesidad de construir un prototipo físico y comprobar (quizás con un láser) cómo se comporta, se puede hacer un modelo matemático con un programa de ordenador y mostrar los resultados en la pantalla de éste. Así es posible observar el comportamiento básico y los efectos producidos por pequeñas modificaciones, lo que proporciona al ingeniero diseñador una potente ayuda.

Un método matemático comúnmente empleado son los *elementos finitos*. Como sugiere su nombre, la idea fundamental es representar una estructura complicada mediante un cierto número de formas regulares pequeñas sobre cada una de las cuales se puede suponer un comportamiento simple.

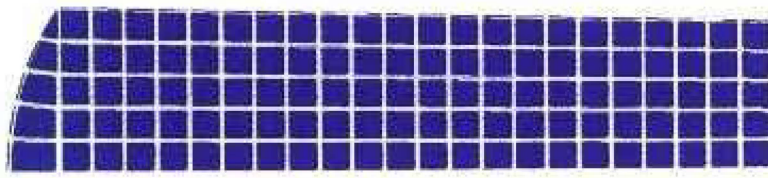


Figura 2. Una malla de elementos finitos dividiendo parte de una bocina en cuadrados.

Otras aplicaciones

El método de los elementos finitos fue desarrollado a finales de los años 1950 en la industria aeronáutica debido a la necesidad de analizar cómo se distorsionan bajo presión las distintas partes de las alas y del fuselaje de un avión, y cómo responden a las vibraciones.

Se descubrió que muchos otros problemas físicos diversos se pueden analizar por el mismo método: flujo de calor, campos magnéticos y eléctricos, acústica... Se utilizan las variables que definen las formas simples junto con las leyes físicas que relacionan la aplicación de una fuerza con el desplazamiento subsiguiente, y se reúnen en un sistema de ecuaciones grande. La fórmula es igual que para la masa simple de un resorte:

$$\mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{M} \frac{d^2\mathbf{u}}{dt^2}$$

pero ahora \mathbf{u} es un vector cuyos términos son los desplazamientos en un número (grande) de los puntos que definen la estructura, y \mathbf{M} y \mathbf{K} son matrices que describen la masa y la rigidez de las distintas partes de ésta.

Muchos ingenieros de diseño, civiles y mecánicos, incluyendo los de la industria de alta fidelidad, disponen ahora en sus despachos de software interactivo que hace (relativamente) sencilla la utilización de esta herramienta matemática.

El altavoz Nautilus



Figura 3. El altavoz Nautilus.
(B&W Loudspeakers Ltd)

Idealmente, el cono de un altavoz debe responder por igual a las excitaciones de toda la gama de frecuencias para no favorecer una más que otras. Sin embargo, el cono tiene un sistema de frecuencias naturales, y cuando resulte excitado por éstas resonará-responderá más que a otras.

Este problema es de difícil solución. Aumentando la rigidez del material se puede aumentar la frecuencia a la cual se presenta, y haciendo el cono de un material que absorba energía (como el Kevlar^[1]) se puede dispersar el efecto y hacerlo menos perceptible. Todas las compañías de altavoces tienen que lidiar con este asunto, pero Lawrence Dickie, ingeniero de B&W Loudspeakers Ltd y diseñador del altavoz Nautilus, adoptó un enfoque algo radical.

Un procedimiento estándar es dividir la gama de frecuencias en dos o tres tramos, y disponer electrónicamente que cada tramo sea asignado a un cono distinto. Así cada cono puede ser diseñado para abastecerse de una gama limitada, y su forma y material pueden ser elegidos de modo que sus frecuencias naturales no estropeen el sonido. Lawrence Dickie eligió cuatro, como puede verse en la Figura 3. Dickie utilizó el Kevlar^[1] para la unidad base y, lo que es menos usual, el aluminio para las otras tres^[2]. Sus ideas sobre la forma y el tipo de material fueron

probadas antes de construir el prototipo usando un modelo de elementos finitos.

Resonancias de la caja

El otro problema con el diseño de altavoces estriba en las resonancias de cavidad de la caja. Se sabe que una forma que inhibe las resonancias del aire es la de una bocina que se enrolle exponencialmente, de modo que su perfil tenga la forma:

$$y = a e^{-bx},$$

donde a y b son constantes adecuadas. Esto es técnicamente mejor que la habitual caja rectangular cuya resonancia es más pronunciada, pero la forma de la bocina es más difícil de fabricar. Se puede ver en el Nautilus para las bóvedas de corto y medio alcance. El cono mayor, para las frecuencias más bajas, dio un problema, pues la longitud necesaria era demasiado grande. La solución fue rizarlo en la forma que se ve en la Figura 3. Esto por sí mismo dio origen a un

problema matemático: ¿cómo se puede diseñar una forma rizada tal que el área de la sección representativa decrezca exponencialmente y, más difícil todavía, cómo puede ser contemplado en el cálculo el grosor de la pared? Los elementos finitos no ayudarán aquí, se necesita geometría y un enfoque numérico.

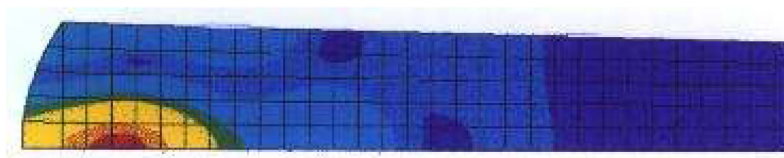


Figura 4. Los contornos de presión computados para el mallado de elementos finitos de la Figura 2.

Incluso la forma exponencial no es perfecta, como se puede ver en los contornos de presión computados en el mallado de elementos finitos para parte de la mitad de una bocina posterior (Figura 4). Al escuchar el altavoz se notó una cierta distorsión alrededor de los 10.000Hz, así que se modelizó el problema y la imagen generada por ordenador mostró una acumulación de la presión cerca de la bóveda. ¡El modelo matemático enseña qué va mal, el ingeniero tiene que decidir cómo solucionarlo!

¡Las matemáticas pueden ser útiles!

B&W Loudspeakers Ltd empleó a un titulado en matemáticas/física, que obtuvo un doctorado gracias a su trabajo sobre esta clase de modelización combinada con optimización. Además, la empresa consulta regularmente con matemáticos. Vemos así que ¡las matemáticas pueden ser útiles!

Reconocimientos

PASS Maths^[3] quisiera agradecer a **B&W Loudspeakers Ltd** de Worthing, Reino Unido su ayuda en la preparación de este artículo.

[1] El Kevlar® o poliparafenileno tereftalamida es una fibra artificial sintetizada por primera vez en 1965 por la química Stephanie Kwolek, con la colaboración destacada de Herbert Blades, trabajando para DuPont. Muy resistente a la tensión y al fuego, se usa habitualmente en blindajes, cordajes, equipamientos deportivos y ropa de protección, como por ejemplo chalecos antibalas (N. de la T.).

[2] Desde la publicación [del original] de este artículo, B&W Loudspeakers Ltd ha informado de que el aluminio solamente fue utilizado en la fabricación de los conos del altavoz Nautilus.

[3] *Plus Magazine* en la actualidad (N. de la T.).

Sobre el autor

David Henwood (1952) ha sido Principal Lecturer in Mathematics en el Brighton Polytechnic (actualmente **University of Brighton**, Brighton, UK), y Senior Lecturer in Mathematics en la **University of Zimbabwe**.



matemática

revista digital de divulgación matemática

(*) Este artículo apareció en el número 4 (enero 1998) de *Plus Magazine*. *Matemática* agradece a los responsables del Millennium Mathematics Project de la Universidad de Cambridge la autorización para publicar su traducción al castellano. (Traductora: Isabel Marrero).

Cerrar ventana