

## Algunos aspectos a considerar en el diseño de altavoces

### Aspects to be considered while designing loudspeakers

Ramis, J.<sup>1</sup>, Segovia, E.<sup>2</sup>, Carbajo, J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Universidad de Alicante (España). E-mail: jramis@ua.es

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana, Universidad de Alicante (España). E-mail: enrique.gonzalo@ua.es

#### RESUMEN

La respuesta en frecuencia de un altavoz viene condicionada, en gran medida, por las características de la estructura de su conjunto móvil. El objeto del presente trabajo es destacar la importancia de un análisis del comportamiento estructural del conjunto móvil de dos tipos de altavoces incidiendo en la conveniencia de determinar los modos que son relevantes para el adecuado funcionamiento del altavoz. El primero del tipo Air Motion Transformer (AMT) y el segundo un altavoz dinámico convencional de pequeño tamaño. Para ello, se presentan algunos resultados de análisis numérico en elementos finitos recurriendo al uso del concepto de factor de participación como criterio a la hora de diseñar un nuevo altavoz o mejorar uno dado.

*Palabras clave:* Altavoz, conjunto móvil, factor de participación Air Motion transformer.

#### ABSTRACT

The frequency response of a loudspeaker is conditioned by the moving assembly structural characteristics. The purpose of this paper is to highlight the importance of analyzing the structural behavior of the moving assembly for two types of loudspeakers, stressing the desirability of determining the relevant modes for its proper functioning. First of them is an Air Motion Transformer (AMT) and the second one a small conventional dynamic loudspeaker. To this end, some results of numerical analysis using finite elements are presented, resorting to the use of the concept of participation factor as a criterion when designing a new loudspeaker or improving a given one.

*Key Words:* Loudspeaker, Moving assembly, Participation factor, Air Motion Transformer

## 1. INTRODUCCIÓN

En la presente comunicación se presentan algunos resultados de análisis numérico en elementos finitos con el objeto de destacar la importancia de un análisis del comportamiento estructural del conjunto móvil de dos tipos de altavoces incidiendo en la conveniencia de determinar los modos que son relevantes para el adecuado funcionamiento del altavoz. El lector interesado puede consultar las referencias [6, 7, 8] donde se hace una descripción más completa.

La base experimental que se toma como referencia ha sido, en el caso del altavoz de radiación directa un modelo de entre seis y ocho pulgadas con doble suspensión, y el basado en la tecnología Air Motion Tranformer (AMT), el TPL-150 fabricado por Acustica Beyma SA [1] que se presenta en la figura 1. En este tipo de altavoz, el conjunto móvil consiste en una serie de pliegues (figura 2) y funciona como un acordeón: los pliegues, comprimen el aire y lo expulsan radiando, de esta forma, sonido (para una descripción fenomenológica más completa del funcionamiento puede consultarse [3])



Figura 1: Fotografía del altavoz TPL-150 (Cortesía de Acustica Beyma S.A)

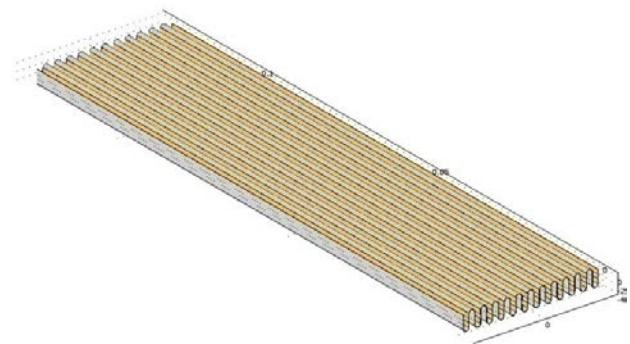


Figura 2: Conjunto móvil del altavoz TPL-150

Las características generales más usadas para describir el comportamiento global de un sistema radiante son el rendimiento, la respuesta en frecuencia y la impedancia eléctrica de entrada. Un dato importante en el caso de altavoces de radiación directa es el desplazamiento del diafragma (en función de la frecuencia). La definición rigurosa de estos conceptos se puede encontrar en diferentes manuales especializados [2, 3].

En el caso de altavoces de radiación directa, la respuesta en frecuencia típica es del tipo filtro paso banda con una frecuencia de corte inferior que comienza alrededor de la frecuencia de resonancia mecánica. Las frecuencias de corte inferior, superior son función de las características eléctricas y mecánicas del altavoz, en especial de su conjunto móvil.

En la figura 3, se presenta una curva de respuesta típica del altavoz TPL-150. Como se puede apreciar, el margen de frecuencias útil comienza ligeramente por encima de 1 kHz.

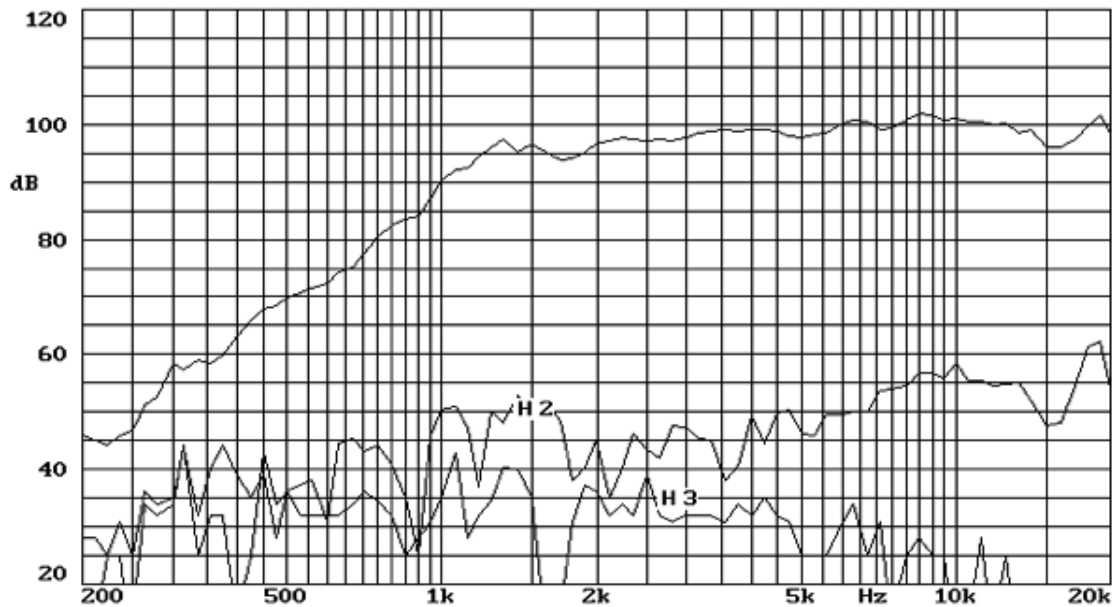


Figura 3: Respuesta típica de un altavoz TPL-150

Al igual que en cualquier altavoz de tipo electrodinámico, su respuesta en frecuencia útil comienza alrededor de la frecuencia para la cual se produce el máximo de impedancia eléctrica total, que tiene lugar cuando la impedancia mecánica es mínima y, por tanto, es máxima la impedancia del movimiento.

## 2. EXPERIMENTOS NUMÉRICOS: Modelos en FEM

Se han implementado diferentes modelos numéricos en FEM [4,5] correspondientes, respectivamente, a los conjuntos móviles de un altavoz de radiación directa con doble suspensión y al del altavoz TPL-150 (del tipo AMT). En el caso del altavoz de doble suspensión, se ha evaluado numéricamente el efecto de que la fuerza esté totalmente equilibrada o no (la situación ideal es que la fuerza sea la misma para todos los nodos), como se muestra en la figura 4. Además, se ha estudiado el efecto de variar el número de pliegues en las suspensiones (figura 5), la distancia entre suspensiones (figura 6), aplicar una configuración simétrica o asimétrica (figura 7) a las suspensiones, etc.[8]

Para el caso del altavoz TPL-150, el interés se ha focalizado en el análisis modal con el objeto de determinar los modos relevantes desde el punto de vista dinámico, es decir aquellos que presentan un mayor factor de participación.

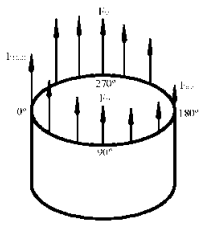


Figura 4: Fuerza equilibrada y desequilibrada

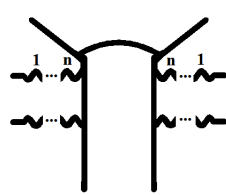


Figura 5: Número de pliegues

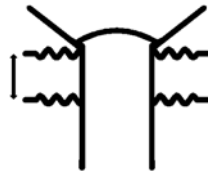


Figura 6: Distancia entre suspensiones

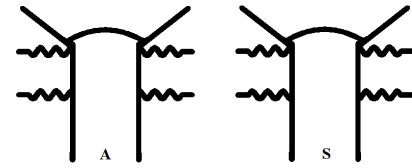


Figura 7: Configuración asimétrica y simétrica

En todos los modelos se ha utilizado un mallado regular (mapped meshing) y elementos tipo Shell 181 [4]. Se han considerado las precauciones básicas de la técnica de elementos finitos incorporando más de 10 elementos en cada longitud de onda para la máxima frecuencia a analizar.

### 3. RESULTADOS

Se presentan algunos de los resultados más significativos que pueden consultarse ampliados en [6, 7, 8].

#### 3.1. ALTA VOZ DE RADIACIÓN DIRECTA

La simple observación de las formas modales proporciona información importante. A modo de ejemplo, en la figura 8 se muestran dos modos. A la izquierda, el modo principal cuyo movimiento es el sentido del eje y (vertical), y no presenta ninguna otra componente. A la derecha un modo que está caracterizado por un balanceo del conjunto móvil.

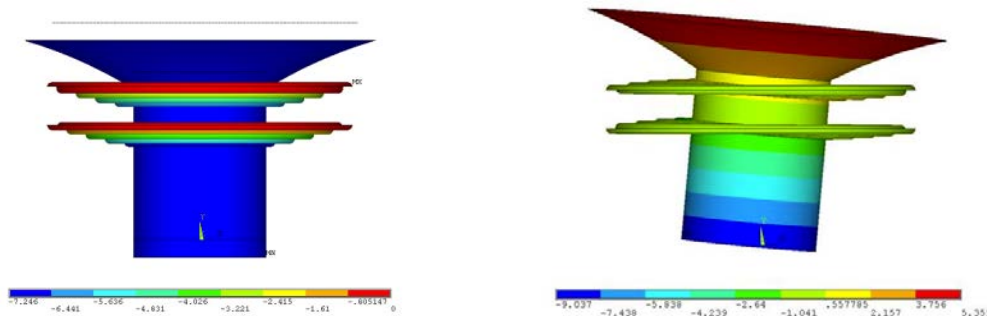


Figura 8: Izquierda: Modo principal para el conjunto móvil. Derecha: Modo con balanceo

Para este modelo se tiene el mayor factor de participación, como era de esperar, a la frecuencia de resonancia mecánica. En la figura 9 se muestran los factores de participación en el rango entre 50 Hz y 1 kHz. La zona rodeada con un círculo se ha ampliado para visualizar dependencia en

función del tipo de fuerza (equilibrada o no equilibrada con el máximo en diferentes direcciones. Como se puede apreciar, el factor de participación del modo de 148.1 Hz varía dependiendo de dónde se produzca el máximo de la fuerza no equilibrada.

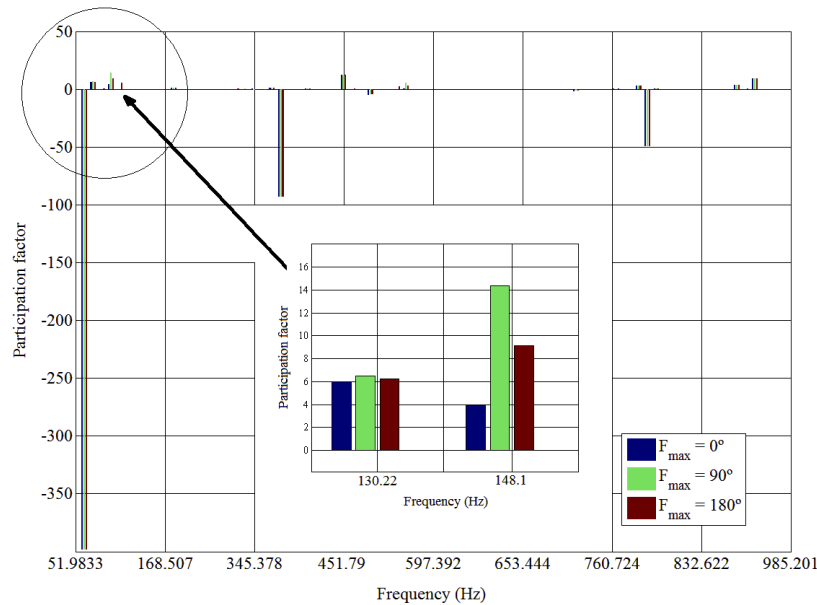


Figura 9: Factores de participación en el rango 50Hz -1KHz

### 3.2. MODELO BASADO EN LA TECNOLOGÍA AMT

En la figura 10 se presenta los factores de participación de las formas modales en rango entre 300Hz y 20 kHz. Los modos con un factor de participación mayor se encuentran todos ellos, cerca de 1 KHz.

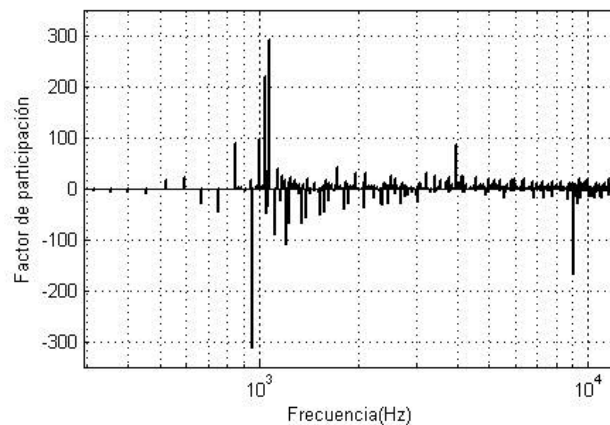


Figura 10: Factores de participación en el rango 300 Hz 20 kHz

Las formas modales correspondientes a los tres modos con el mayor factor de participación se muestran en la figura 11. (sólo se muestra 1/4 del conjunto móvil). En la vista se aprecia que el primer modo presenta un máximo a lo largo de la longitud del conjunto móvil, el segundo modo, tres y el tercero cinco.

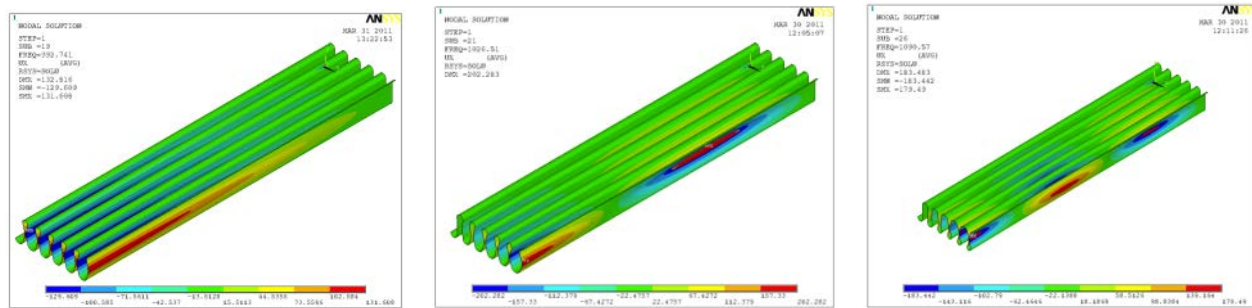


Figura 11: Vistas en perspectiva de los tres modos con mayor factor de participación en el conjunto móvil del TPL-150

## 4. CONCLUSIONES

Se han presentado resumidos, algunos resultados de análisis numérico en FEM, haciendo hincapié en la importancia de los factores de participación como guía en el proceso de diseño y señalando puntos de gran importancia práctica a la hora de mejorar un altavoz.

## 5. REFERENCIAS

- [1] <http://profesional.beyma.com/ingles/pdf/TPL150.pdf>
- [2] Beranek, Acoustics, Amer. Inst. of Physics, (1986)
- [3] M. Colloms, P. Darlington, High performance loudspeakers, John Wiley & Sons, (2007)
- [4] O. C. Zienkiewicz, El método de los elementos finitos, Ed. Reverté, (1982)
- [5] ANSYS theory reference 8.1, ANSYS Inc, (2003)
- [6] Martinez, J. et Al, Target modes in moving assemblies of a pleated loudspeaker AES Convention: 127 (October 2009),
- [7] Martinez, J. et Al, Contributions to the Improvement of the Response of a Pleated Loudspeaker, AES Convention: 129 (November 2010),
- [8] Martinez, J. et Al, An Approach to Small Size Direct Radiation Transducers with High SPL, AES Convention: 131 (October 2011)