

## ANÁLISIS DE MECANISMOS DE EXTRACCIÓN TÉRMICA EN ALTAVOCES DE BAJA FRECUENCIA

PACS: 43.40.Cw

Ramis, Jaime<sup>1</sup>; Enrique Segovia<sup>2</sup>, Carbajo, Jesús; Martínez, José<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de FISTS, Universidad de Alicante. Carretera San Vicente del Raspeig, 03080, San Vicente del Raspeig, España. [jramis@ua.es](mailto:jramis@ua.es)

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante.

### ABSTRACT

The increase of voice coil temperature in electrodynamic speakers has an impact on the performance of these transducers. Firstly, the heating coil does change its impedance and secondly, this energy reaches the magnet decreasing the value of magnetic field. In this paper, a method of analyzing the possible impact the implementation of various mechanisms to sidestep these difficulties is presented.

### RESUMEN

El aumento de la temperatura de la bobina, en altavoces electrodinámicos tiene una repercusión en el rendimiento de estos transductores. Por una parte, el calentamiento de la bobina hace que cambie su impedancia y, por otra, esta energía llega al imán disminuyendo el valor del campo magnético. En esta comunicación, de carácter marcadamente experimental, se presenta un método de análisis de las repercusiones que pueden tener la aplicación de diversos mecanismos que soslayan estas dificultades.

## 1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO

El rendimiento del altavoz,  $\eta$ , se define como el cociente entre la potencia útil radiada,  $W_R$  (por la cara delantera del diafragma) entre la potencia eléctrica total suministrada al altavoz,  $W_{EC}$ :

$$\eta = \frac{W_{\text{útil}}}{W_{\text{total}}} 100\% = \frac{W_R}{W_{EC}} 100\% \quad \text{Ec.1}$$

En la figura 1 se presenta un corte transversa de un altavoz dinámico de radiación directa, en el que se pueden distinguir las dos piezas polares, la suspensión inferior y superior, el imán, el cilindro que constituye el soporte de la bobina, etc.

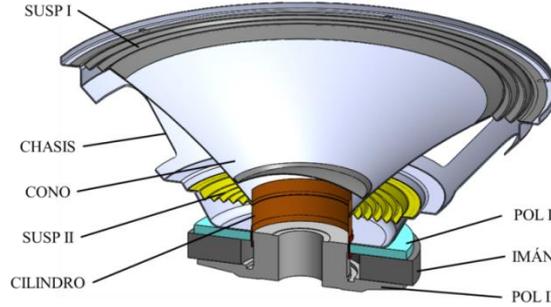


Figura 1: Uniones analizadas: a) LG. b) LF

Para este tipo de transductores, se puede demostrar que el rendimiento viene dado por la ecuación:

$$\eta = 100 \frac{(Bl)^2 R_{MR}}{(R_g + R_E) |Z_{MT}|^2 + (Bl)^2 (2R_{MR} + R_{MD})} \% \quad \text{Ec.2}$$

Donde  $Bl$ , producto del campo magnético por la longitud de la bobina, es el llamado factor de transformación electromecánico,  $R_{MR}$  es la parte real de la impedancia mecánica de radiación,  $R_E$  es la resistencia eléctrica de la bobina,  $l$  su longitud,  $R_{MD}$  la resistencia mecánica asociada al diafragma y  $Z_{MT}$  la impedancia mecánica total que tiene dos contribuciones, la mecánica pura y la de radiación (que tiene su origen en la fuerza de reacción del medio). Es decir:

$$Z_{MT} = Z_{MD} + 2Z_{MR} \quad \text{Ec.3}$$

Esta impedancia, vista desde el lado eléctrico, se conoce como impedancia del movimiento o impedancia mocional,  $Z_{MOV}$  (Ec.4):

$$Z_{MOV} = \frac{(Bl)^2}{Z_{MD} + 2Z_{MR}} = \frac{(Bl)^2}{Z_{MT}} \quad \text{Ec.4}$$

La impedancia eléctrica total,  $Z_{ET}$ , vista desde la salida del generador:

$$Z_{ET} = Z_E + Z_{MOV} = Z_E + \frac{(Bl)^2}{Z_{MD} + 2Z_{MR}} \quad \text{Ec.5}$$

Dado que el altavoz sólo se va a usar en el margen frecuencial por encima de la frecuencia de resonancia mecánica del conjunto móvil y por debajo de la llamada frecuencia de resonancia electromecánica, en la que su respuesta es plana, la expresión del rendimiento se puede simplificar para esta zona. Al estar por encima de la frecuencia de resonancia mecánica, la impedancia mecánica total,  $Z_{MT}$ , presenta un carácter inductivo, es decir, el sistema, como se conoce en el ámbito de la electroacústica, está controlado por masa. Es decir:

$$Z_{MT} = (R_{MD} + 2R_{MR}) + j \left( M_{MD} \omega - \frac{1}{C_{MD} \omega} + 2X_{MR} \right) \quad \text{Ec.6}$$

puede aproximarse a:

$$Z_{MT} \cong j\omega(M_{MD} + 2M_{MR}) \cong jX_{MT} \quad \text{Ec.7}$$

y, por lo tanto:

$$|Z_{MT}|^2 \cong \omega^2 (M_{MD} + 2M_{MR})^2 \quad \text{Ec.8}$$

En ese margen de frecuencias también se cumple que:

$$(R_g + R_E) |Z_{MT}|^2 \gg (Bl)^2 (2R_{MR} + R_{MD})^2 \quad \text{Ec.9}$$

Además,  $R_{MR} = K_1 \omega^2$ , siendo  $K_1$  una constante que no depende de la frecuencia. Utilizando las anteriores relaciones, la expresión del rendimiento queda como sigue:

$$\eta \approx \frac{(Bl)^2 K_1 \omega^2}{(R_g + R_E) \omega^2 (M_{MD} + 2M_{MR})^2} = \frac{(Bl)^2 K_1}{(R_g + R_E) (M_{MD} + 2M_{MR})^2} \quad \text{Ec.10}$$

La expresión obtenida, válida para la zona de funcionamiento del altavoz, es independiente de la frecuencia.

Tanto la ecuación 2 como la 10 nos indican que el rendimiento depende del valor de  $B^2$ . Por tanto, dado que los cambios en la temperatura del imán, dan lugar a cambios en el valor de  $B$  que pueden llegar a reducciones de un 15%.

Un incremento de la temperatura de la bobina puede tener efectos adversos sobre el funcionamiento del altavoz. La temperatura de la bobina afecta directamente al valor de su resistencia eléctrica, de forma que si la temperatura aumenta, la resistencia también. Suponiendo que el voltaje aplicado al altavoz es constante, la resistencia aumenta y, por tanto (ley de Ohm) la intensidad de corriente disminuirá.

Este cambio en la intensidad de corriente, afectará directamente a la fuerza ejercida ya que es proporcional a ésta [1]. Como consecuencia, si la fuerza sobre el conjunto móvil disminuye, también disminuirá el rendimiento.

La discusión anterior tiene como consecuencia que el efecto del aumento de la temperatura se traducirá en un cambio en los parámetros que caracterizan al altavoz.

Para garantizar un buen funcionamiento del altavoz es necesario buscar caminos adicionales para que el flujo energético que tiene su origen en la bobina genere la menor cantidad de efectos adversos. Para ello, el punto de partida es que esa energía hay que llevarla hacia el exterior.

Es por tanto de gran interés, estudiar mecanismos [2,3,4] que dificulten e aumento de temperatura del imán. Para analizar el efecto de estas propuestas es conveniente disponer de procedimientos alternativos al de prueba y error. Los métodos numéricos nos proporcionan herramientas para llevar a cabo estas predicciones. Sin embargo, puede llegar a ocurrir que la dificultad en el uso de estas herramientas sea mayor del esperado ya que siempre es necesario un proceso de ajuste y calibrado del procedimiento debido a la gran cantidad de parámetros que están relacionados.

En este trabajo se presenta un procedimiento simplificado para analizar el efecto sobre el balance energético de pequeños cambios en el diseño de un altavoz de radiación directa.

## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Dado un altavoz como el que se muestra en la figura 1, se han realizado medidas indirectas de la temperatura en la bobina y se han comparado con las predicciones de un modelo numérico en elementos finitos. La peculiaridad del proceso reside en que, con el objeto de ajustar los

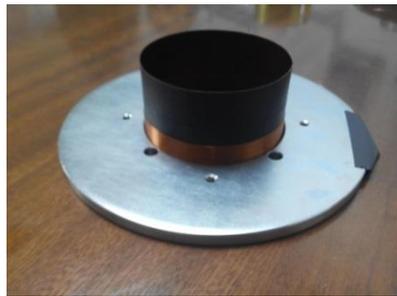
parámetros que presentan mayor incertidumbre se han ido ajustando previamente se han ajustado previamente los parámetros relacionados en las cuatro fases que se muestran en la figura 2.



Fase I: Soporte de fibra y de aluminio con fajita y bobina



Fase II: Soporte y bobina con anilla inferior



Fase III: Soporte y bobina con anilla superior



Fase IV: Soporte y bobina con anilla inferior e imán

Figura 2: Fases I, II, III y IV para el calibrado del modelo numérico

En la figura 3 se comparan los resultados experimentales con los numéricos para cada una de las cuatro fases. Como se puede apreciar, los resultados cuando el soporte es de aluminio son mejores que cuando son de fibra. Se parte de una temperatura inicial de 33°C y se está suministrando una potencia eléctrica de 40 w.

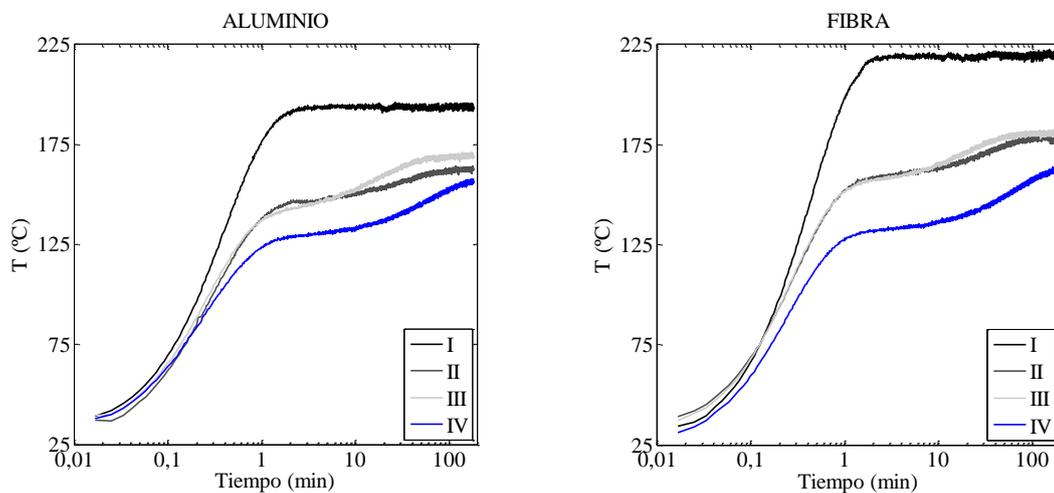


Figura 3: Dependencia de la temperatura de la bobina frente al tiempo cuando se está alimentando con 40 vatios y la temperatura inicial (ambiente) es de 33 °C

Se comentarán a continuación algunos aspectos del modelo implementado para la fase IV. En la figuras 4 se muestran los diferentes dominios del modelo diferenciados por colores: pieza polar superior e inferior, imán, aire. En la figura de la derecha se ha ampliado la zona de la bobina en la que se pueden distinguir las dos piezas polares, la bobina propiamente dicha, la fajita ( por donde no hay bobina ) y el cilindro que constituye el soporte que, en las experiencias llevadas a cabo ha sido de aluminio o de polímero.



Figura 4: Partes del modelo en elementos finitos. A la derecha se ha ampliado la zona enmarcada para visualizar la bobina, la faja y el entrehierro con aire (color verde)

El modelo tiene 269543 elementos tipo PLANE78 y COMBIN40 para simular las Resistencias térmicas y 806853 nudos. Las características de referencia de los materiales utilizados son las siguientes:

Tabla 1: Características de los componentes.

	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica W/(m °C)	Calor específico J/(Kg °C)	Coefficiente de convección W/(m <sup>2</sup> °C)
Cobre	8900	390	390	32,5
Polímero	1020	0,2256	1386	2,0
Aluminio	2705	234	900	3,0
Acero	7870	49,8	448	3,0
Ferrita	4800	1,49	878	3,0
Aire	1	0,030	1000	1

Por lo que respecta a las resistencias térmicas, el modelo de la fase IV se ha lanzado con los siguientes valores:  $2,686 \cdot 10^{-6}$  °C/W (contactos soporte-bobinado y también soporte-fajita);  $0,02$  °C\*m<sup>2</sup>/W (contactos imán-anilla superior e imán-núcleo central).

Se lanzaron diferentes simulaciones cambiando ligeramente los datos a estos datos de referencia. Las variables que más afectan son la conductividad térmica y el coeficiente de convección. Algunos de los resultados se muestran en la figura 5 (parte izquierda). Los resultados, en esta gráfica, se presentan en escala logarítmica (tiempo). En la parte derecha de la figura 5 se ha seleccionado la simulación que más se acerca a los resultados experimentales y se ha representado en escala lineal.

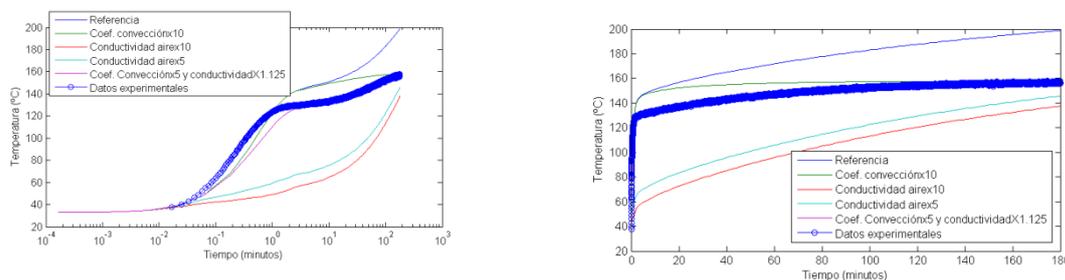


Figura 5: Izquierda. Comparativa de resultados experimentales frente a las simulaciones (escala logarítmica para el tiempo). Derecha: Comparativa de la simulación con datos experimentales (escala lineal en el eje del tiempo)

Los resultados mostrados en la figura 5 indican que se consigue un ajuste más que razonable por lo que los resultados podrían ser utilizados para predecir el efecto de pequeñas variaciones y/o para comparar modelos

### 3. APLICACIONES Y RESULTADOS

A partir de trabajo realizado ajustando el modelo en la fase IV, se han abordado los modelos completos. El primero de ellos corresponde a un driver con una sola bobina y el segundo a un altavoz de doble bobina. La geometría de ambos se muestra en la figura 6 (izquierda y derecha

respectivamente) en la que también se visualizan los dominios de los modelos implementados. Los resultados indican que la situación más ventajosa se produce en el primer caso. Los resultados se corresponden cualitativamente con los experimentales. Además, se ha implementado un modelo para predecir el efecto de colocar un cono de aluminio superpuesto al cilindro que conforma el soporte de la bobina, tal como se muestra en la figura 7. Como se puede apreciar, los resultados son positivos ya que la temperatura de la bobina disminuye.

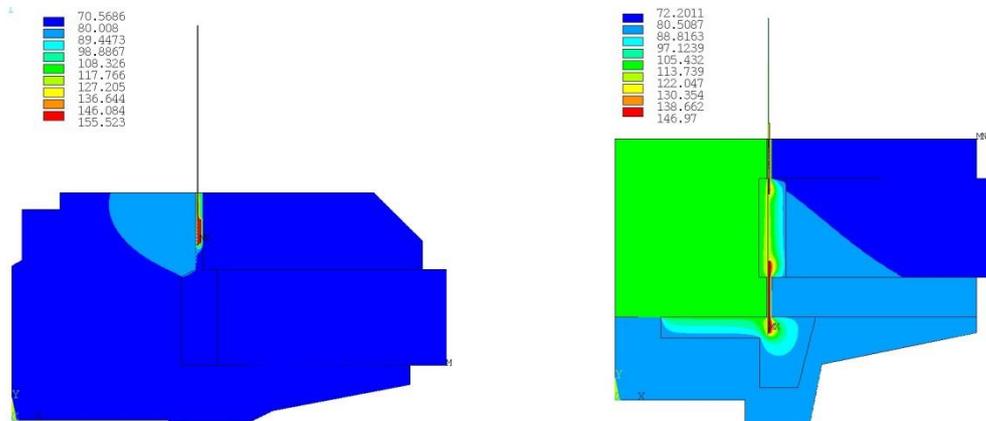


Figura 6: Modelos implementados aplicando el calibrado de la fase IV

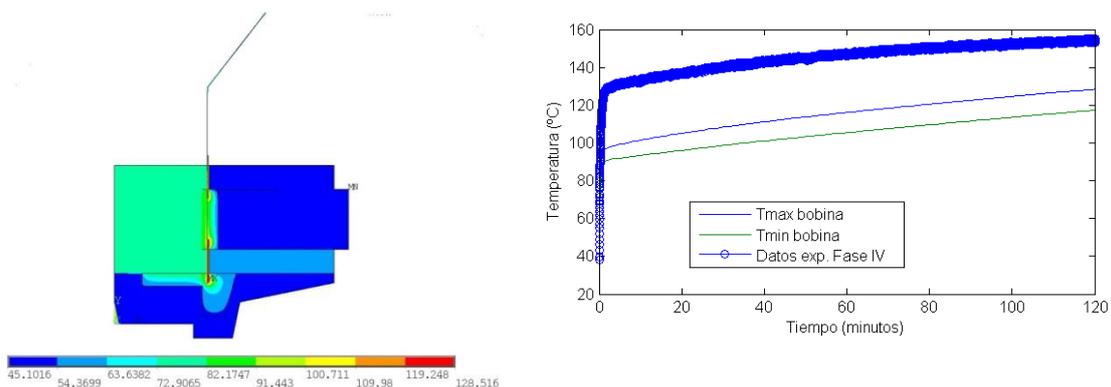


Figura 7: Izquierda: Resultados del modelo al instalar un cono difusor de aluminio en la parte superior del cilindro que constituye el soporte de la bobina. Derecha: Temperatura máxima y mínima de la bobina comparada con los datos experimentales de la fase IV

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha presentado una metodología simplificada para el análisis del efecto que provocan pequeños cambios en la configuración del motor y del conjunto móvil de un altavoz de radiación directa en la temperatura del imán, que como es sabido tiene una repercusión directa en el rendimiento del transductor.

#### REFERENCIAS

- [1] Eargle, John. "Loudspeaker Handbook – Second Edition." Kluwer Academic Publishers. New York, USA. 2003.
- [2] Heat Dissipation and Power Compression in Loudspeakers', D. J. Button, J. Audio Eng. Soc., Vol 40 No 1/2, January/February 1992.
- [3] Heat Transfer Mechanisms in Loudspeakers: Analysis, Measurement and Design', C.A.Henricksen, J. Audio Eng. Soc., Vol 35 No 10, October 1987.
- [4] Modelling of the Thermal Behaviour of High Power Loudspeakers', Dr. Ing Gottfried Behler, a paper of the 15th International Congress on Acoustics, Trondheim Norway, June 1995