

CONTRIBUCIÓN AL AJUSTE DE SISTEMAS PASO BANDA.

PACS: 44.55.Rg
Ramis Soriano, Jaime; Alba Fernández, Jesús; Pérez Frasquet, Fernando.
Departamento de Física Aplicada; Escuela Politécnica Superior de Gandía; Universidad Politécnica de Valencia
Carretera Nazaret-Oliva S/N
Grao de Gandia 46730 (Valencia)
España
Teléfono (96) 284.93.14 - (96) 284.93.00
Fax : (96) 284.93.09
E-mail : jesalba@fis.upv.es, jramis@fis.upv.es

ABSTRACT

The band pass systems are used for the acoustic radiation in the range of very low frequencies. This systems are not easy for the experimental adjustment. In this work we present the results of measurements in two prototypes, designed and constructed. We described the prototypes and any experimental results with practical interest relative to use of absorbent material and the distortion for this systems.

RESUMEN

Los sistemas paso banda se utilizan en el ámbito profesional para radiar energía sonora en el rango de frecuencias comúnmente denominado de subgraves. Como es sabido, estos sistemas son de difícil ajuste teórico y experimental. En este trabajo se presentan resultados de medidas electroacústicas efectuadas en dos prototipos de sistemas paso banda, uno de cuarto orden (simétrico) y otro de sexto orden (asimétrico), diseñados y construidos al efecto. Se describe el proceso seguido para el diseño de los prototipos obteniendo conclusiones de gran interés práctico relacionadas con la influencia de instalación de material absorbente y la disminución de distorsión armónica en estos sistemas.

INTRODUCCIÓN

A continuación se describen las características generales de los sistemas paso banda centrándonos concretamente en los de cuarto orden simétrico y de sexto orden asimétrico. Esencialmente el sistema se trata de un recinto acústico compuesto por dos cámaras, entre las cuales se encuentra el altavoz. Existen también sistemas de este tipo con triple cámara, los cuales funcionan con dos altavoces, aunque en este trabajo nos ocupamos de los de doble cámara.

La primera cámara, cuyo volumen denotaremos a partir de ahora V_{b1} , controla el límite inferior de la respuesta en frecuencia del sistema. La segunda cámara, de volumen V_{b2} , controla el límite superior de la respuesta en frecuencia del sistema. Esta cámara siempre tendrá una conexión al exterior con la que forma un resonador que se sintonizará a una determinada frecuencia en función de las necesidades del sistema.

Según el tipo de orden de los filtros que componen el filtro paso banda que caracteriza al sistema, es decir la suma de un filtro paso bajo y de un paso bajo, esta cámara adoptará diferentes configuraciones.

De entre las ventajas que caracterizan a este tipo de sistemas, se pueden destacar: control total de las frecuencias de corte del paso banda, posibilidad de trabajar con altavoces de mayor Q que otros sistemas acústicos Reflex, baja distorsión, debido a que el filtrado es posterior al altavoz, eliminando los armónicos superiores a la frecuencia de corte superior del sistema, mejora del rendimiento en la banda de paso, posible eliminación de la red de cruce de baja frecuencia. Además, con un ajuste adecuado es posible mejorar el solapamiento, trabajar en frecuencias de corte más bajas el HPF y se consigue que las excursiones del cono del altavoz sean menores que en otros diseños.

De entre los inconvenientes, destacamos: la complejidad de diseño y ajuste del sistema, la existencia de una pronunciada resonancia debida al conducto de ventilación sintonizado, que junto con el volumen de la cámara delantera al altavoz controla la frecuencia de corte superior. Hay que tener presente que, dado que el ancho de banda con el que trabajan estos sistemas es reducido y este disminuye al aumentar el rendimiento, este sistema sólo se emplea en equipos de 3 o 4 vías.

En la figura 1 se muestra la sección del recinto acústico que tomaremos como referencia .

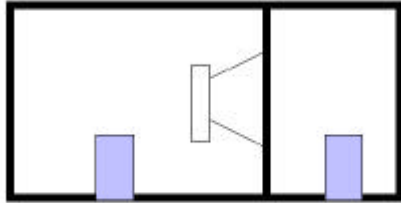


Figura 1. Sistema acústico paso banda.

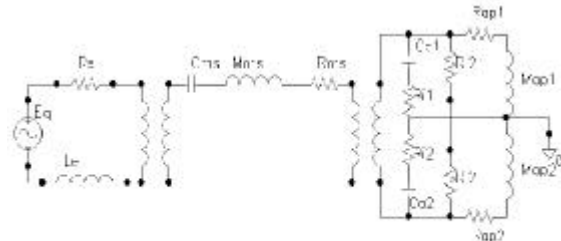


Figura 2. Circuito equivalente

El circuito equivalente se muestra en la figura 2, en el que,

E_g = Tensión alterna aplicada.

L_e = Inductancia eléctrica de la bobina del transductor.

R_e = Resistencia eléctrica del transductor.

Bl = Producto de la densidad del campo magnético y de la longitud del hilo de la bobina.

C_{ms} = Compliancia mecánica equivalente del transductor.

M_{ms} = Masa mecánica equivalente del transductor.

R_{ms} = Resistencia mecánica equivalente del transductor.

S_d = Área del diafragma o cono del transductor.

Ca_1 = Compliancia acústica de V_{b1} .

Ca_2 = Compliancia acústica de V_{b2} .

R_{i1} = Resistencia acústica de V_{b1} .

R_{i2} = Resistencia acústica de V_{b2} .

R_{l1} = Resistencia de pérdidas de V_{b1} .

R_{l2} = Resistencia de pérdidas de V_{b2} .

Z_{ap} = Impedancia acústica compleja de los puertos (tubos o secciones). 4º orden simétrico.

El lector interesado puede encontrar un estudio teórico detallado de este tipo de sistemas en [1].

En las figuras 3 y 4 se muestran, respectivamente, las configuraciones típicas de un sistema paso banda de cuarto orden simétrico y de sexto orden asimétrico.

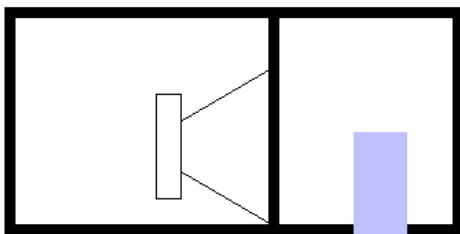


Figura 3. Configuración sistema acústico paso banda de 4º orden asimétrico.

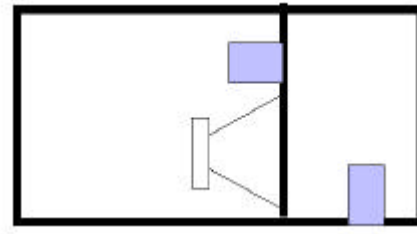


Figura 4. Configuración sistema acústico paso banda 6º orden asimétrico, clase B.

El hecho de ser un paso banda de 4º orden simétrico nos informa que el sistema se compone de dos filtros (LPF y HPF) de 2º orden.

Es posible obtener los mismos resultados utilizando para la cámara V_{b2} un radiador pasivo, que utilizando una sección abierta de cierta profundidad. A pesar de que el radiador pasivo es una elección más cara que una simple abertura o colocación de un tubo en la caja, éste suele ser menos problemático, debido que según ciertas simulaciones, la resistencia y la compliancia

para un radiador típico es irrelevante, de modo que el correcto funcionamiento lo fijaremos asegurándonos de que la masa del diafragma es la correcta. No obstante, los problemas ocasionados por la abertura o tubo, tales como la resonancia aislada que se produce debida a éste, tienen solución.

En efecto, dicha resonancia, ocupa un pequeño ancho de banda, que se encuentra por encima del ancho de banda de interés. Ésta suele situarse varios dB por debajo del nivel con el que trabajará normalmente el altavoz encargado de reproducir dichas frecuencias (frecuencias mayores que la frecuencia de corte superior del paso banda), ya sea un woofer, o un squawker, o un motor a compresión, de modo que puede cuestionarse hasta que punto es problemática. En caso de precisar de una solución a este problema, podríamos insertar un filtro Notch (banda eliminada) entre los contactos del altavoz, de modo que a la frecuencia problemática se consiguiese la atenuación deseada. Otra solución sería introducir material absorbente en la cámara delantera (Vb2), con el fin de que quede amortiguada, pero este método no tiene un efecto positivo, debido a que la resonancia del puerto aumenta al aumentar la cantidad o densidad del material absorbente introducido, hecho por el cual debería evitarse. No obstante no debemos olvidar que el recinto presentará probablemente modos propios de vibración no uniformemente distribuidos en baja frecuencia (20Hz – 150Hz), de modo que se precisará cierta cantidad de material absorbente, por lo que debe buscarse un equilibrio intermedio entre los dos razonamientos. Algunos autores consideran la posibilidad de introducir el material absorbente directamente en el interior del puerto, procedimiento efectivo en la amortiguación de la resonancia de éste, pero a costa de una substancial pérdida en la zona de baja frecuencia de la respuesta en frecuencia del sistema. Como anteriormente se ha comentado está resonancia problemática, no aparece si en vez de un puerto utilizamos un radiador pasivo. En los sistemas de 6º orden no simétricos, las cámaras trasera y delantera incorporan un puerto. De este modo se consigue la respuesta paso banda característica, como la suma de un HPF de 4º orden, y de un LPF de 2º orden.

En función de donde se encuentren ubicados los puertos, podemos distinguir dentro de este tipo de sistemas dos clases:

- Clase A: Los puertos de ambas cámaras se encuentran directamente mirando al exterior, correspondiéndose con la figura 1. Son los más comunes.
- Clase B: En este caso, sólo un puerto, el de la cámara delantera, se encuentra directamente mirando al exterior, situándose el otro puerto de la forma que se observa en la figura 4.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Prototipos construidos

Se muestran en las figuras 5 y 6. Todas las medidas son interiores y se han expresado en centímetros. El material utilizado ha sido DM (aglomerado de alta densidad). El sistema de sexto orden se construyó de forma que fuese posible eliminar sin grandes dificultades la cámara 2. De esta forma se convertía en un sistema Bass Reflex.

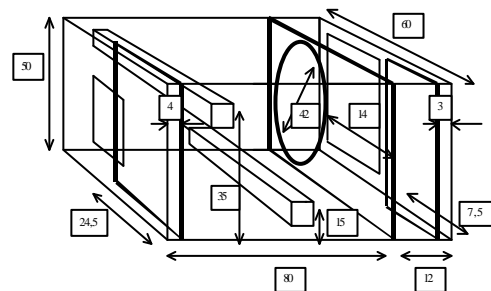
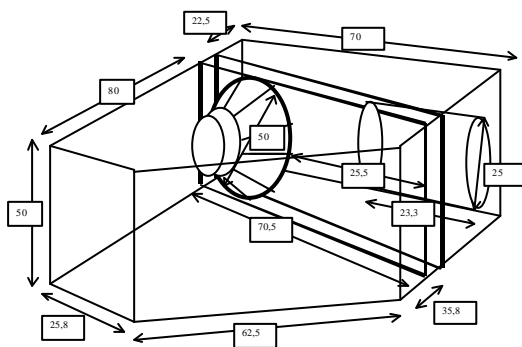


Figura 5. Medidas interiores del sistema acústico paso banda de 4º orden diseñado. Todas las medidas son en cm. La inclinación de la madera central es de 5º. Figura 6. Sistema acústico paso banda 6º orden asimétrico.

Medidas experimentales.

Se presentan gráficamente.

Respuesta en frecuencia y curva de impedancia

a) Sistema de 6º orden no simétrico.

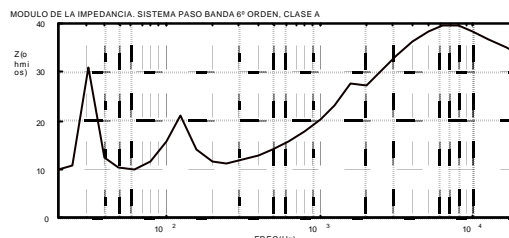
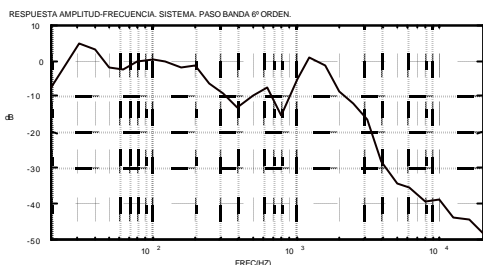


Figura 7. Respuesta en amplitud-frecuencia normalizada del prototipo de sistema de 6º orden. Figura 8. Impedancia del prototipo del sistema de 6º orden.

En este mismo dispositivo, se ha comprobado el efecto de introducir material absorbente en los puertos. Tal y como se puede deducir teóricamente, se obtiene una disminución del nivel en la zona inicial de la banda de paso. Esta caída de nivel es mucho más acusada en el caso de que el material absorbente se coloque en el puerto 2. Todo ello queda de manifiesto en las figuras 9 y 10.

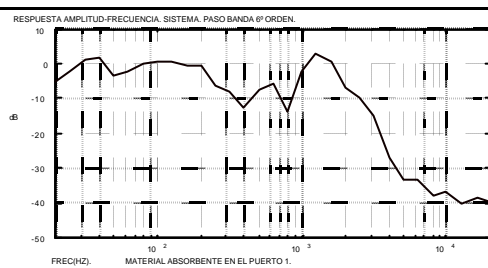
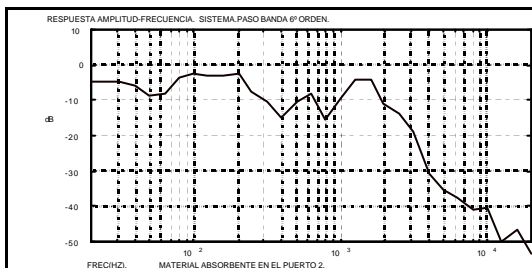


Figura 9. Respuesta en frecuencia del prototipo con absorbente en el puerto 2

Figura 10. Respuesta en frecuencia del prototipo con absorbente en el puerto 1

b) Sistema Paso Banda de 4º orden simétrico

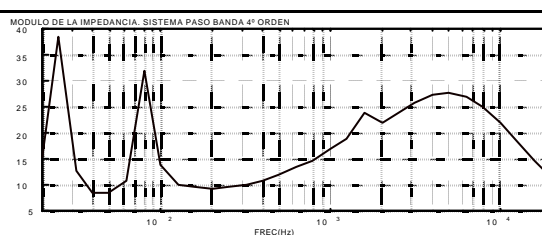
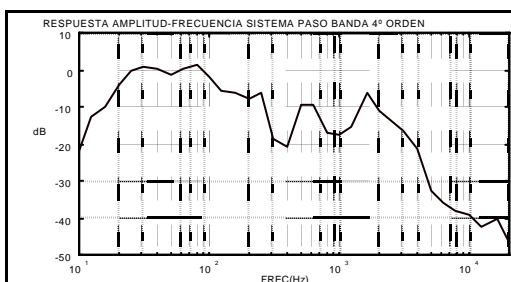


Figura 11. Respuesta en frecuencia del prototipo de sistema de 4º orden.

Figura 12. Curva de impedancia del prototipo de sistema de 4º orden.

Distorsión armónica provocada por los armónicos 2º y 3º.

a) Sistema de 6º orden asimétrico.

En las figuras 13 y 14 se representan la distorsión correspondiente al segundo y tercer armónico, calculadas mediante las relaciones:

$$THD(H2) = \sqrt{\frac{a_2^2}{a_0^2}} \times 100$$

$$THD(H3) = \sqrt{\frac{a_3^2}{a_0^2}} \times 100$$

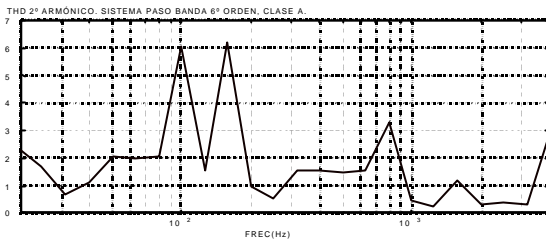


Figura 13.-Distorsión en % del segundo armónico.

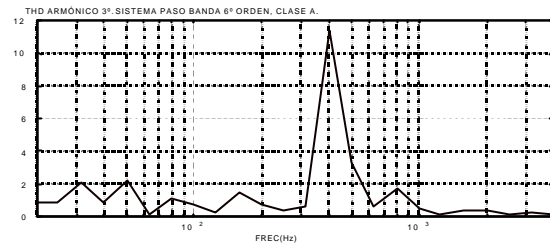


Figura 14.- Distorsión en % del tercer armónico.

Con el objeto de comprobar experimentalmente la reducción de distorsión característica de estos sistemas se han realizado medidas de la THD del sistema eliminando el volumen de la cámara 2, es decir, midiendo con la cámara totalmente abierta (con la tapadera abierta). Esta medida se ha hecho desde 2 posiciones :posición 1 (desde el mismo punto que las anteriores) y en la posición 2 (a 1 metro del cono del altavoz). Los resultados se presentan en las figuras 15, 16, 17 y 18.

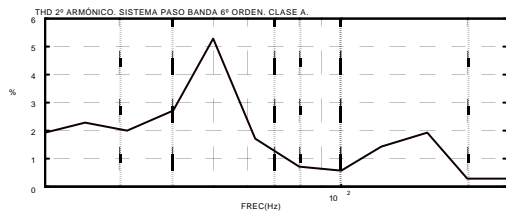


Figura 15.-Posición 1. Cámara 2 abierta

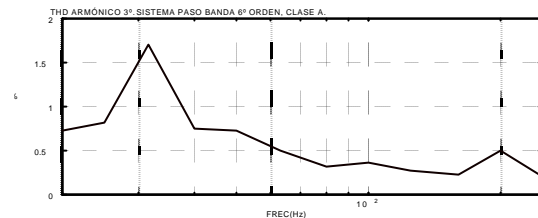


Figura 16.-Posición 1. Cámara 2 abierta.

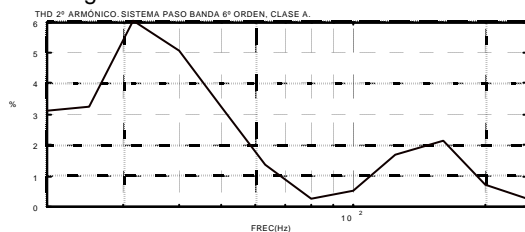


Figura 17.-Posición 2. Cámara 2 abierta

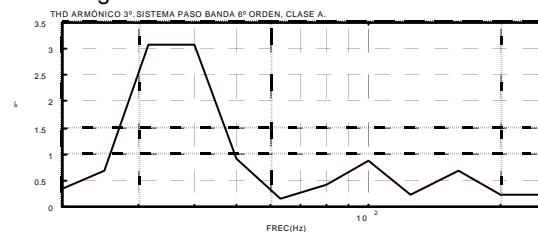


Figura 18.-Posición 2. Cámara 2 abierta

b) Sistema acústico paso banda de 4º orden simétrico.

Se presenta en las figuras 19 y 20.

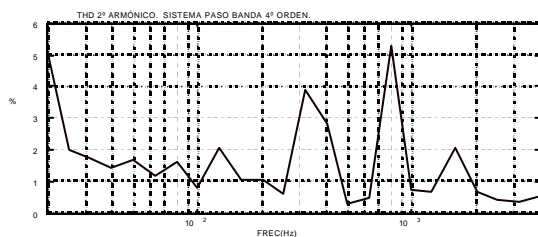


Figura 19.- Distorsión del segundo armónico

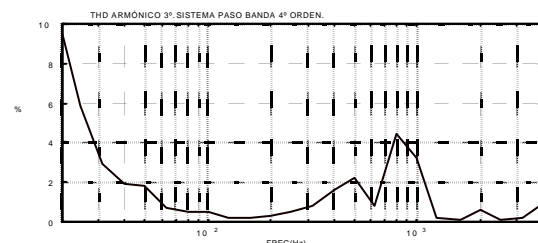


Figura 20.- Distorsión del tercer armónico.

CONCLUSIONES

Se comentan los resultados correspondientes a la respuesta en frecuencia y la distorsión.

Respuesta en frecuencia.***Sistema acústico paso banda de 4º orden simétrico.***

Se aprecia que el paso banda medido tiene un ancho de banda aproximado de 86 Hz, con una frecuencia de corte inferior, $f_1 \cong 24$ Hz, y una frecuencia de corte superior, $f_2 \cong 110$ Hz.

Las pendientes de subida y de bajada, son de 12 dB/octava. En el caso de la pendiente de bajada, ésto resulta más difícil de apreciar, debido a la existencia de una irregularidad en la respuesta del altavoz. Esta irregularidad la podemos observar en el intervalo de frecuencias existente entre 140 Hz y 200 Hz. Si prolongamos la pendiente de bajada que existe sobre los 100 Hz, con la pendiente de bajada existente en 200 Hz, ignorando dicha irregularidad, observaremos que la caída en dB dentro de esa octava es de aproximadamente 12 dB. Por lo tanto, podemos afirmar que sí se ha conseguido un filtro paso banda de 4º orden simétrico.

Respecto a la banda de paso, en la figura correspondiente, se observa un aumento de nivel (respecto a 0 dB) sobre los 80 Hz, que se cumple de igual modo en la respuesta en frecuencia obtenida en la simulación realizada para el diseño.

Sistema acústico paso banda de 6º orden no-simétrico.

Podemos observar que el paso banda medido, tiene un ancho de banda aproximado de 175 Hz, con una frecuencia de corte inferior $f_1 \cong 25$ Hz, y una frecuencia de corte superior $f_2 \cong 200$ Hz. Se observa en los resultados que se ha producido un pequeño desplazamiento de la frecuencia de corte superior, respecto del valor esperado. Este aumento del ancho de banda, probablemente haya sido producido por ciertas pérdidas detectadas en la tapadera de la cámara 2. Por otro lado, los resultados obtenidos en la frecuencia de corte inferior, son exactos.

La diferencia de nivel en la octava comprendida entre 10 Hz y 20 Hz, es de unos 27 dB, que es prácticamente la pendiente esperada (24 dB/octava). Para el razonamiento de la pendiente de bajada, nos centraremos de nuevo en la figura 67. Observando la caída de nivel entre las frecuencias 200 Hz y 400 Hz, encontramos una pendiente de 12 dB/octava, que es justo lo que esperábamos.

Por otro lado, queda totalmente demostrado que, tal y como afirma la teoría, la adición de material absorbente en los puertos produce una disminución de nivel en el principio de la banda de paso. Esto, como ya se indicó anteriormente se observa en las figuras 69,70.

Respecto a la forma de la banda de paso, observamos un pequeño valle entre 50 Hz y 60 Hz, tal y como se muestra en la respuesta en frecuencia obtenida de la simulación.

Distorsión armónica creada por los armónicos 2 y 3.

Una de las ventajas de los sistemas paso banda acústicos, es que son capaces de conseguir reducciones notorias de la THD. Por esta razón, se realizaron unas medidas comparativas de la THD del paso banda de 6º orden. Estas medidas comparativas consistieron en eliminar la cámara 2, y medir el nuevo recinto (nueva configuración: caja Reflex) desde una nueva posición: a 1 metro, apuntando al cono del altavoz. Todo esto queda plasmado en el apartado de medidas de THD.

Comparando los resultados obtenidos entre la distorsión de la configuración paso banda, y la nueva configuración Bass Reflex (posición de medida 2), es posible establecer que la reducción de la THD se produce en la zona de trabajo (frecuencias menores a 100 Hz), a costa de un empeoramiento fuera de dicho rango (frecuencias superiores a 100 Hz). Esto realmente, es algo positivo ya que el hecho de que se produzca distorsión fuera de la zona de trabajo del recinto, no aporta ninguna desventaja.

REFERENCIAS.

[1] Earl R. Edges; " An introduction to Band-Pass Loudspeaker Systems"; Journal Audio Eng. Soc. ; Vol. 37, pp 308-342 (1989 Mayo).