



Cátedra
Fundamentos de Acústica y Electroacústica
(Año 2018)

Docente: Ing. Sebastián P. Ferreyra (Prof. Adjunto)

Trabajo Práctico Nro: 4 (individual)

Tema: Diseño de Caja Acústica

Objetivo: Diseñar tres (3) cajas acústicas pasivas para altavoces tipo bobina móvil de 10", 15" y 18" de diámetro respectivamente, aplicando parámetros de pequeña señal (parámetros Thiele-Small).

1 Materiales e Instrumental necesarios.

- Programa para diseño de cajas acústicas (ejemplo Bass Box Pro; Perfect Box, Lodspeakers Enclosure Designer, Loudspeaker Modeling Program, Speaker Workshop, entre otros).
- Parámetros Thiele-Small de cada altavoz de bobina móvil de 10", 15" y 18" de diámetro (hoja de datos del fabricante del altavoz).

2 Marco Teórico

Los conceptos teórico-prácticos se describen a través del ejemplo de diseño de una caja acústica para un altavoz tipo bobina móvil de 6" de diámetro con tweeter coaxial.

2.1 Ejemplo de diseño de caja acústica ventilada (reflector de bajos)

2.1.1 Selección del altavoz

En la Tabla 1 se presentan los resultados del relevamiento de modelos, características básicas y cotizaciones de altavoces disponibles en plaza (ciudad de Córdoba) al 28 de mayo de 2013:



Tabla 1. Características básicas de altavoces tipo bobina móvil de 6" de diámetro con tweeter coaxial disponibles en ciudad de Córdoba

Marca, Modelo	Potencia (W) P.M.P.O.	Potencia (W) R.M.S.	Diámetro (pulgadas)	Respuesta en frecuencia (Hz) -6 dB SPL	Sensibilidad (dB) SPL, 1W, 1m	Precio (\$) 4 unidades
FOXTEX, 180	180	45	8	40-4500	90	360
FOXTEX, 160	160	30	6	60-5500	90	280
TARGA, TAG5200	165	20	5,25	70-26000	92	570
TARGA, TAG6300	-	35	6,5	50-22000	93	735
PIONEER, 1344	220	35	5	43-27000 (-20 dB)	89	1170
Full Energy, S300	150	50	6	40-20000	90	544
B52, WA 6181	-	30	6,5	55-22000	92	735
BOSS, CH5520	200	-	5,25	100-18000	90	550
BOSS, Bp8.8	500	-	8	35-6000	94	-
Nippon America	-	30	6	55-5000	-	240

Altavoz seleccionado (por relación características técnicas y precio):

- **Marca:** Full Energy
- **Modelo:** S300

2.1.2 Medición de parámetros Thiele-Small (TS)

En la Figura 1 se presenta la medición de la impedancia del altavoz en campo libre.

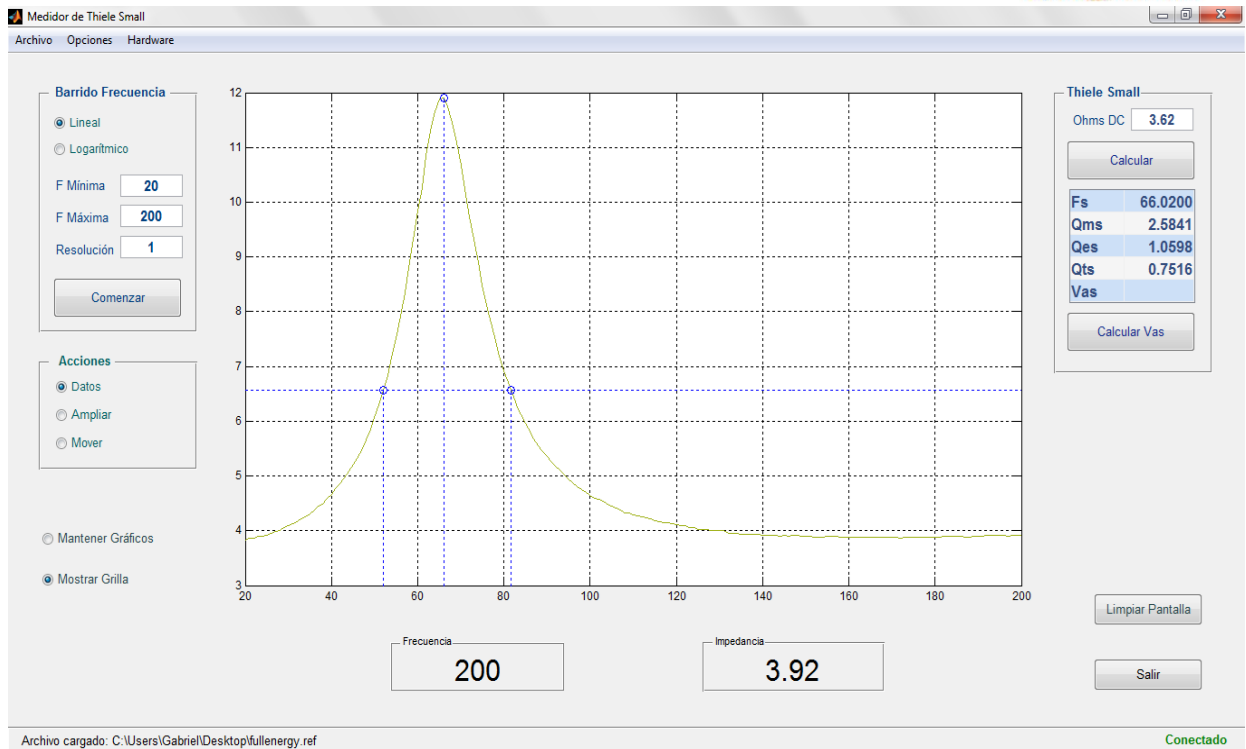


Fig. 1: Impedanciometría del altavoz Full Energy S300 en campo libre.

Los **parámetros Thiele-Small (TS)** ó de pequeña señal son:

- f_s : Frecuencia de resonancia del altavoz montado en pantalla normalizada
- Q_{MS} : Factor de calidad mecánico
- Q_{ES} : Factor de calidad eléctrico
- V_{AS} : Volumen de aire equivalente (análogo a la compliancia del altavoz)

por otra parte,

- Q_{TS} : Factor de calidad total (donde $Q_{TS} = Q_{MS} // Q_{ES}$)

Los valores de la medición obtenidos fueron:

$$f_s = 66,02 \text{ Hz}$$

$$Q_{MS} = 2,5841$$

$$Q_{ES} = 1,0598$$

$$Q_{TS} = 0,7516$$



2.1.3 Determinación del valor de V_{AS} del altavoz

Para determinar el valor del parámetro V_{as} (volumen de aire que siendo comprimido por un pistón con superficie igual a la del altavoz, presenta la misma compliancia ó constante elástica que la suspensión del altavoz) se realizó una nueva medición de la frecuencia de resonancia colocando sobre el altavoz una masa conocida ($m = 11,41$ g), obteniendo los siguientes resultados:

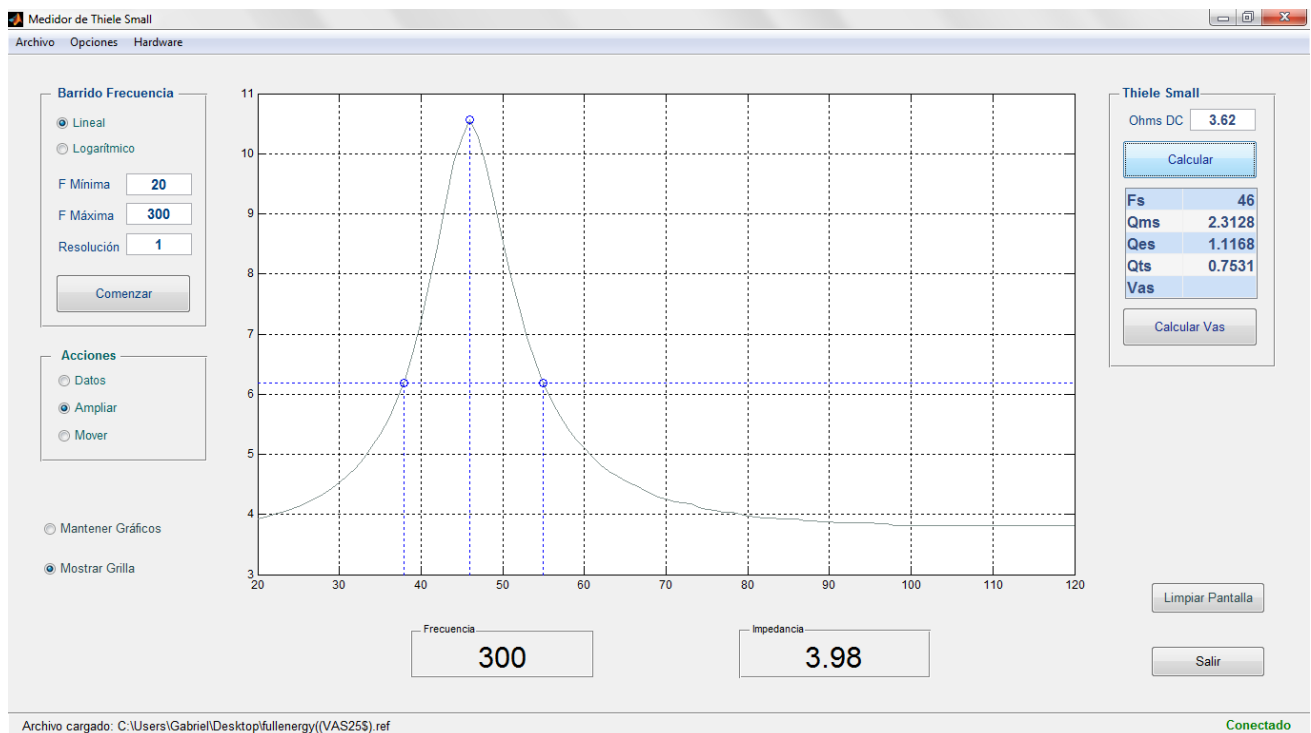


Fig. 2: Impedanciometría del altavoz Full Energy S300 en campo libre, más masa de referencia.

La nueva frecuencia de resonancia, $f_s = 46$ Hz, y la masa conocida es $m = 11,41$ g. La *masa mecánica equivalente incluyendo la masa de radiación* es, M_{ms} :

$$M_{ms} = \frac{m}{\left(\frac{f_s}{f_s'}\right)^2 - 1} = \frac{11.41 \text{ g}}{\left(\frac{66.02 \text{ Hz}}{46 \text{ Hz}}\right)^2 - 1} = 10.76 \text{ g} = 0.0107 \text{ Kg}$$

El *radio del pistón equivalente*, r es igual al radio del cono (radio de la circunferencia equivalente a la base del cono, es decir a su proyección sobre un plano perpendicular a su eje) sumado a un tercio el radio de la suspensión

$$r = 5.56 \text{ cm} + \frac{1.00 \text{ cm}}{3} = 5.89 \text{ cm} = 0.0589 \text{ m}$$



Por lo que la *superficie equivalente del pistón* es:

$$S = \pi r^2 = \pi \times (5.89\text{cm})^2 = 0.0109\text{ m}^2$$

Calculando la *masa mecánica del diafragma* y de la *carga del aire sobre el diafragma* como:

$$Mas = \frac{Mms}{s^2} = 90.43 \frac{Ns^2}{m^5}$$

Y la *compliance acústica de suspensión*, C_{as} :

$$Cas = \frac{1}{(2\pi fs)^2 Mas} = 6.43 \times 10^{-8} \frac{m^5}{N}$$

Finalmente, el *volumen de aire equivalente (análogo a la compliance del altavoz)*, V_{as}

$$Vas = Cas (\rho_0 c^2) = 6.44 \times 10^{-8} \frac{m^5}{N} \times (1.21 \frac{Kg}{m^3} \times (346.3 \frac{m}{s})^2)$$
$$Vas = 9.33 \times 10^{-3} m^3 = 9.33L$$

2.1.4 Diseño de la caja acústica para el altavoz

Se ingresa al software de diseño (ejemplo: BassBox Pro) con los valores de los parámetros de Thiele-Small del altavoz:

$$\begin{aligned} f_s &= 66,02 \text{ Hz} \\ Q_{ms} &= 2,5841 \\ Q_{es} &= 1,0598 \\ Q_{ts} &= 0,7516 \\ V_{as} &= 9,33 \text{ L} \end{aligned}$$

Se selecciona el tipo de caja acústica a construir (ejemplo tipo reflector de bajos -Bass-Reflex), de las siguientes dimensiones externas (utilizando como material fenólico de 12 mm de espesor)

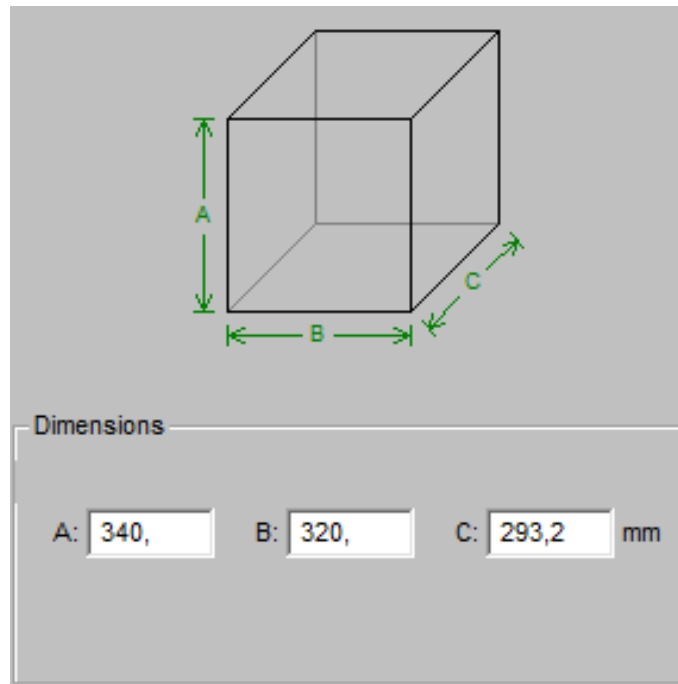


Fig. 3 Dimensiones de la caja acústica

El *tubo de resonancia* será fabricado con tubo PVC de 50 mm de diámetro, con las siguientes características:

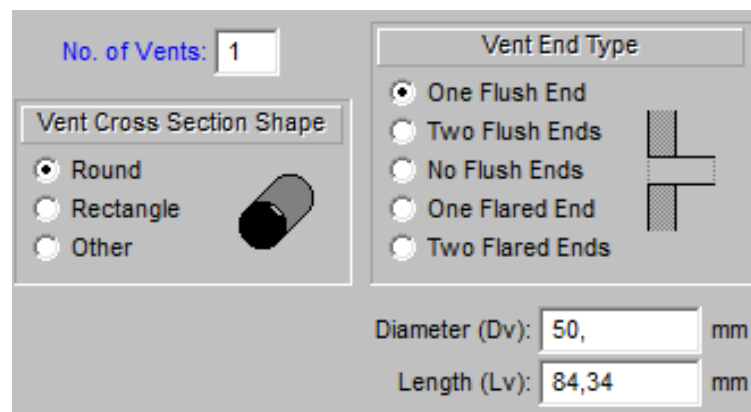


Fig. 4. Parámetros del tubo de resonancia de la caja acústica.

Tabla 4: Características del tubo de resonancia para el sistema altavoz-caja acústica ventilada diseñado

Parámetro	Valor
Número de ventilaciones	1
Forma de la sección transversal	Circular
Fin de la ventilación	1 extremo al ras (sin borde)
Diámetro	50 mm
Largo	85 mm



Las *dimensiones de los paneles* de fenólico de la caja son los siguientes:

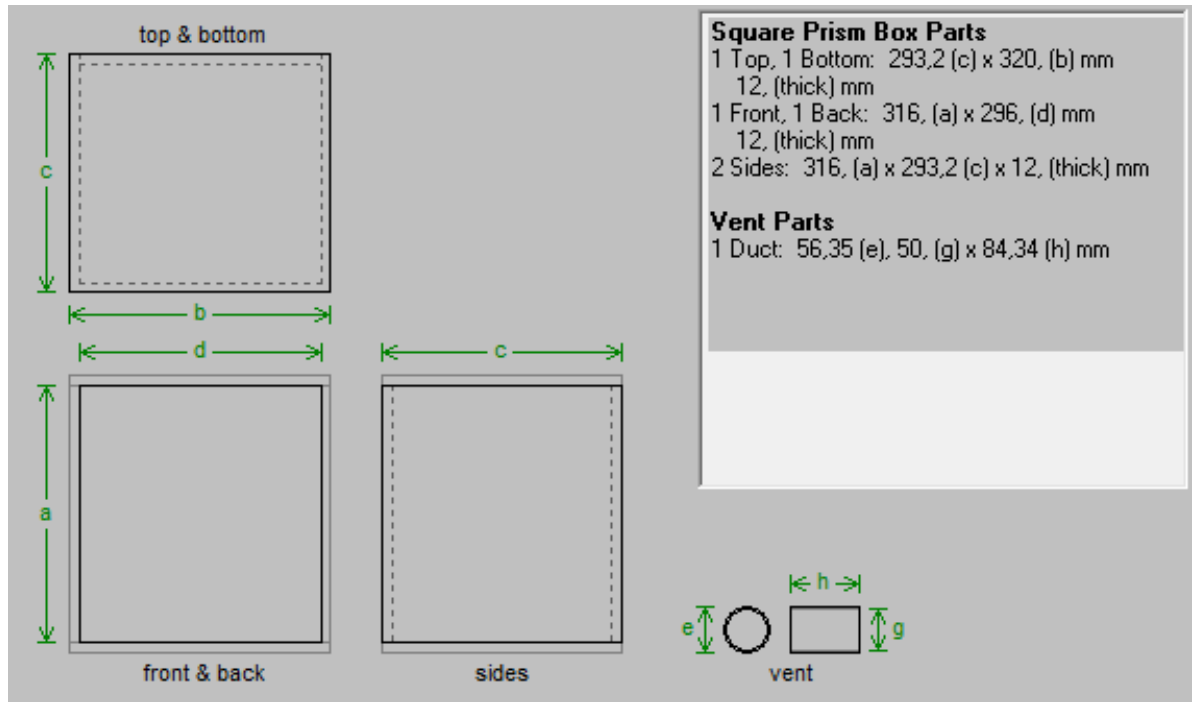


Fig. 5. Dimensiones de las maderas utilizadas en la caja acústica

De acuerdo al cálculo realizado por el programa, la *magnitud de la respuesta en frecuencia* del sistema altavoz-caja acústica es:

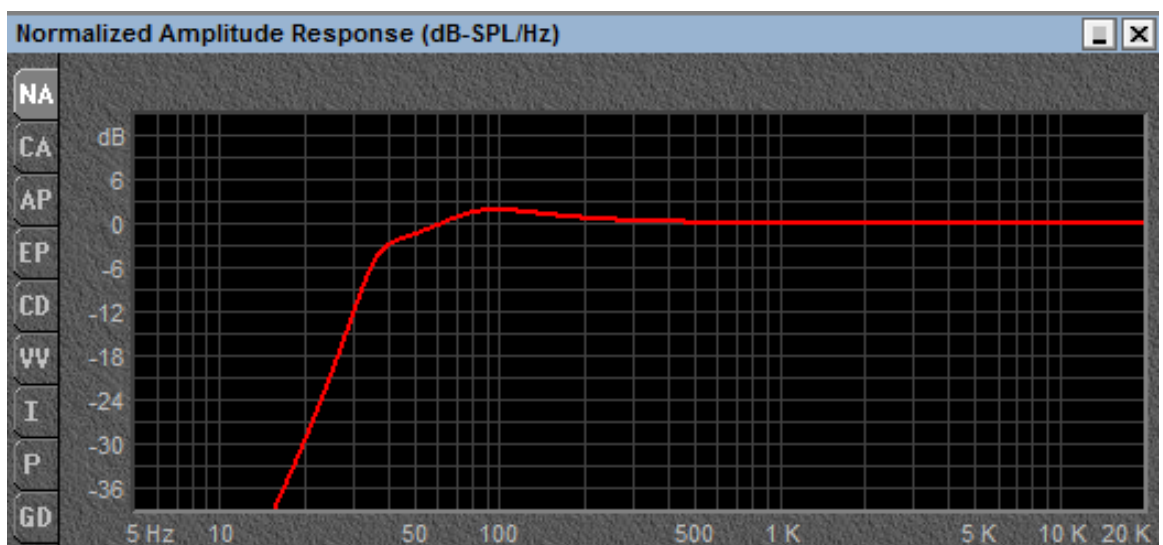


Fig. 6. Magnitud de la respuesta en frecuencia del sistema altavoz-caja acústica



3 Desarrollo del TP:

Pasos a seguir para el desarrollo del TP4:

1. Programa de diseño: instalar un programa de diseño de cajas acústicas (Bass Box Pro, Perfect Box, Lodspeakers Enclosure Disigner, Loudspeaker Modeling Program, Speaker Workshop, entre otros). Verificar que la versión del programa permita diseñar la caja acústica aplicando los parámetros de pequeña señal (Thiele-Small) del altavoz.
2. Transductores: seleccionar tres (3) altavoces tipo bobina móvil de 10", 15" y 18", y descargar sus hojas de datos con respectivos parámetros Thiele-Small asociados a cada transductor.
3. Diseñar:
 - a) una caja cerrada (closed box) para el altavoz de 10"
 - b) una caja ventilada (open box ó bass réflex) para el altavoz de 15" y 18"
4. Calcular la magnitud de la respuesta en frecuencia con el programa de diseño del sistema altavoz caja acústica.
5. Comparar los resultados obtenidos de los tres (3) sistemas altavoz-caja acústica. Analizando ventajas y desventajas de ambos tipos de cajas acústicas (caja cerrada y caja ventilada).
6. Describir el principio de funcionamiento de un altavoz de bobina móvil y un altavoz de compresión (compression driver)

4 Formato:

El TP, será presentado en un Informe Técnico individual (A4) en el formato propuesto por el Departamento de Ingeniería Electrónica para la confección de Trabajos Prácticos.

5 Metodología de Evaluación:

La evaluación contemplará: 1) la capacidad del alumno de documentar el diseño e informar los resultados. 2) la organización de la información presentada; 3) la calidad de las conclusiones obtenidas.

6 Referencias

- Beranek, L. L. (1961), "*Acústica*". MIT, USA, Edición en castellano Editorial Panamericana. Bs As.
Davis, Don & Caroline (1983), "*Ingeniería de Sistemas Acústicos*", Editorial Marcombo. Mexico.
Pueo Ortega, Basilio y Romá Romero, Miguel (2003), *Electroacústica, altavoces y micrófonos*. ISBN: 84-205-3906-6. Pearson Educación, Madrid