



Cátedra

Fundamentos de Acústica y Electroacústica

(Año 2018)

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

Trabajo Práctico Nro: 4 (individual)

Alumno: Sueldo Enrique

Legajo N°: 62508

Curso: 6R1

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 Disigner, 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 costo):

- **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.

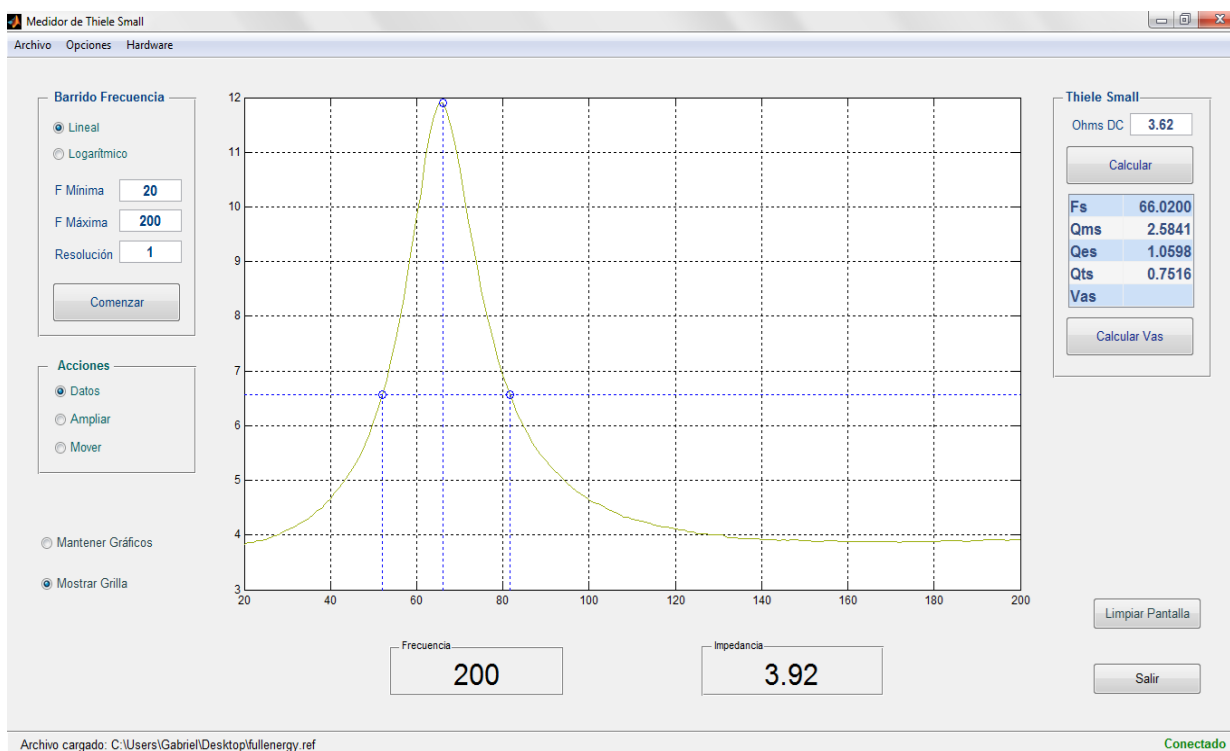


Fig. 1: Impedanciometría del altavoz Full Energy S300 en campo libre.



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 ($m = 11,41 \text{ g}$), obteniendo los siguientes resultados:

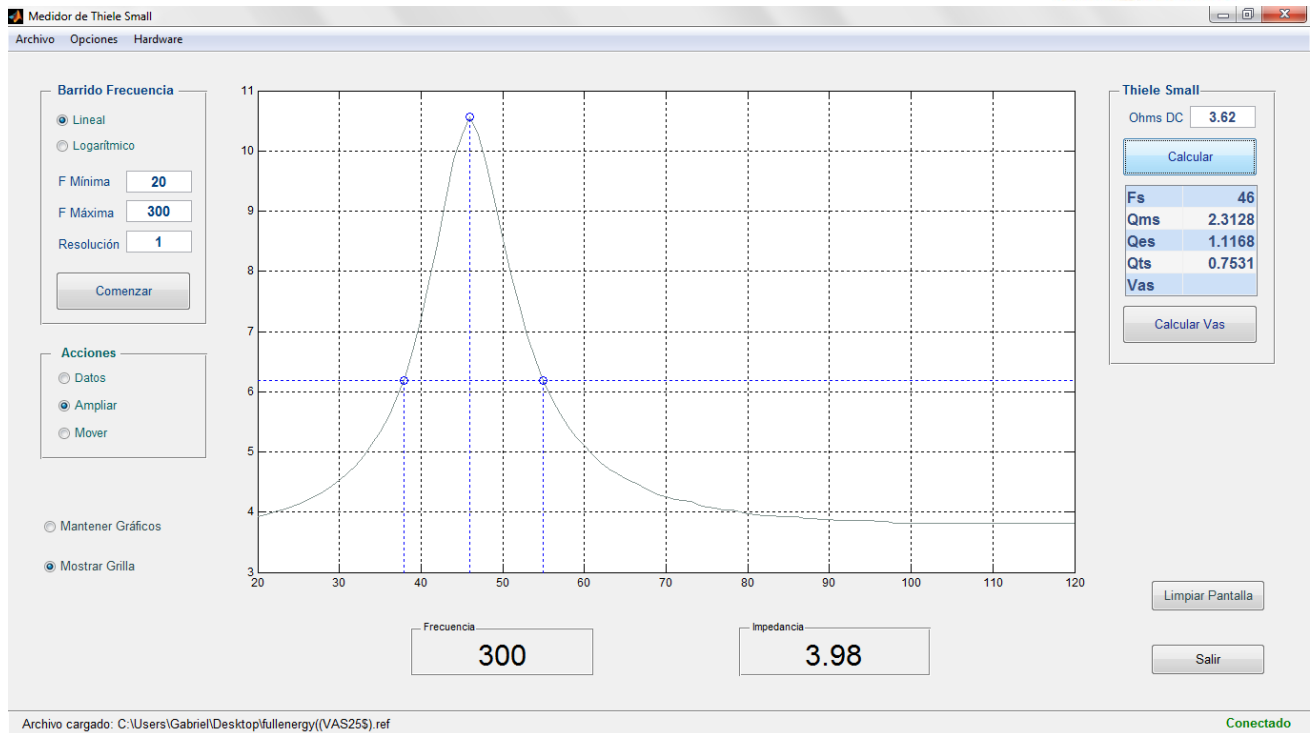


Fig. 2: Impedanciometría del altavoz Full Energy S300 en campo libre, más masa de referencia.

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:

$$M_{as} = \frac{M_{ms}}{s^2} = 90.43 \frac{\text{Ns}^2}{\text{m}^5}$$



Y la compliancia acústica de suspensión, C_{as} :

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

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

$$V_{as} = C_{as} (\rho_0 c^2) = 6.44 \times 10^{-8} \frac{m^5}{N} \times (1.21 \frac{Kg}{m^3} \times (346.3 \frac{m}{s})^2)$$

$$V_{as} = 9.33 \times 10^{-3} m^3 = 9.33 L$$

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:

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

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

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

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

$$V_{as} = 9,33 \text{ L}$$

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)

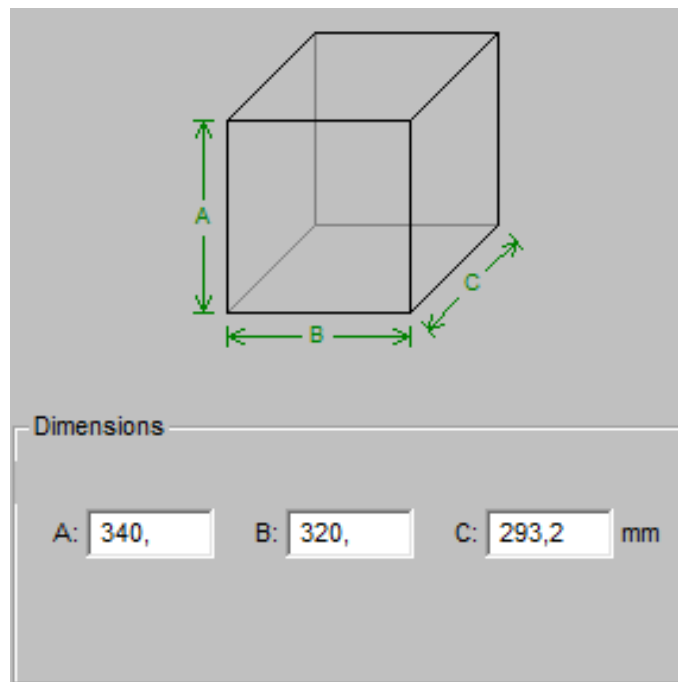


Fig. 3 Dimensiones de la caja acústica.



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:

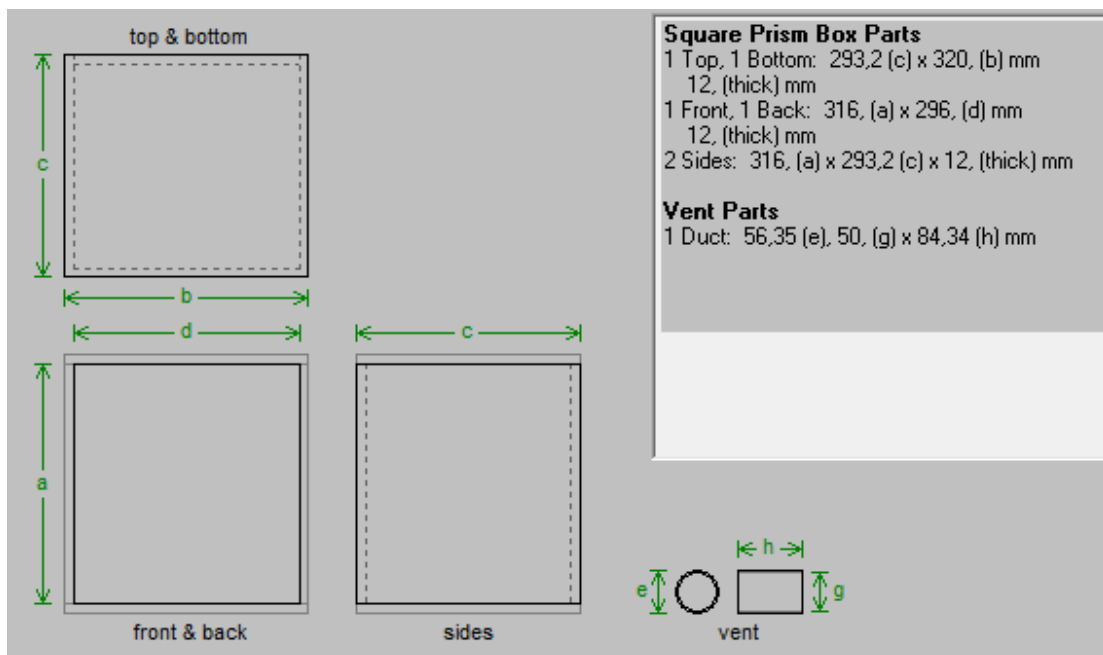


Fig. 5. Dimensiones de las maderas utilizadas en la caja acústica



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

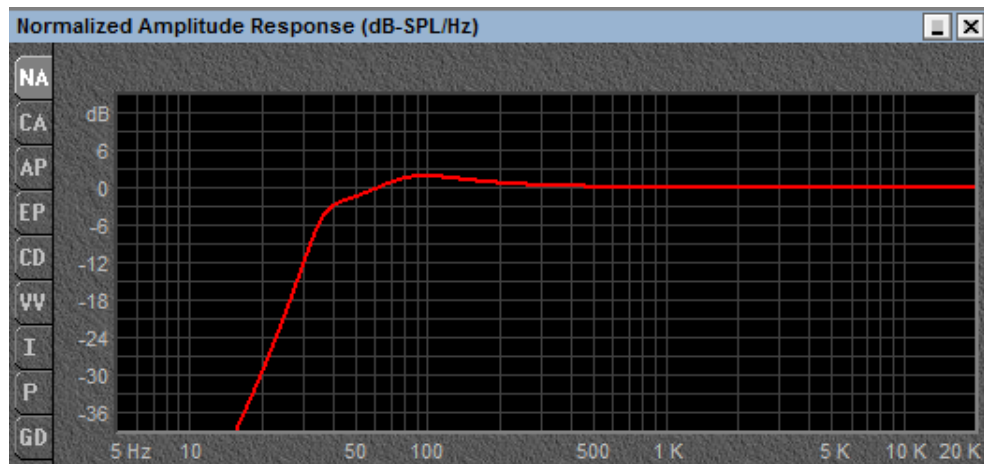


Fig. 6. Magnitud de la respuesta en frecuencia del sistema altavoz-caja acústica

3 Desarrollo:

Se diseñaran 3 cajas acústicas a partir los parámetros Thiele-Small, obtenidos del datasheet de 3 altavoces de bobina móvil. Para el altavoz de 10" se diseñara una caja cerrada y para los altavoces de 15" y 18", una caja ventilada.

Para el mencionado diseño se utilizara un software llamado Bass Box Pro V6.

Los altavoces que se escogieron son los siguientes:

- Altavoz 10", B&C SPEAKERS 10FW64 [1].
- Altavoz 15", B&C SPEAKERS 15CLA76 [2].
- Altavoz 18", B&C SPEAKERS 18NBX100[3].

En la Tabla 5 se muestra los parámetros Thiele-Small de cada altavoz

<i>Parámetros</i>	Altavoz 10"	Altavoz 15"	Altavoz 18"
	B&C SPEAKERS 10FW64	B&C SPEAKERS 15CLA76	B&C SPEAKERS 18NBX100
<i>Frecuencia de resonancia (fs) [Hz]</i>	63	40	35
<i>Factor de calidad mecánico (Qms)</i>	3,4	6,9	5,9
<i>Factor de calidad eléctrico (Qes)</i>	0,25	0,31	0,4
<i>Factor de calidad total (Qts)</i>	0,23	0,3	0,38
<i>Volumen de aire equivalente(Vas) [litros]</i>	27	176	198

Tabla 5: Parámetros



3.1 Altavoz 10" B&C SPEAKERS 10FW64

Una vez ingresado en el software todos los parámetros extraídos de la hoja de datos correspondiente, se diseñó una caja cerrada (closed box) con condiciones óptimas y un panel de 12 mm.

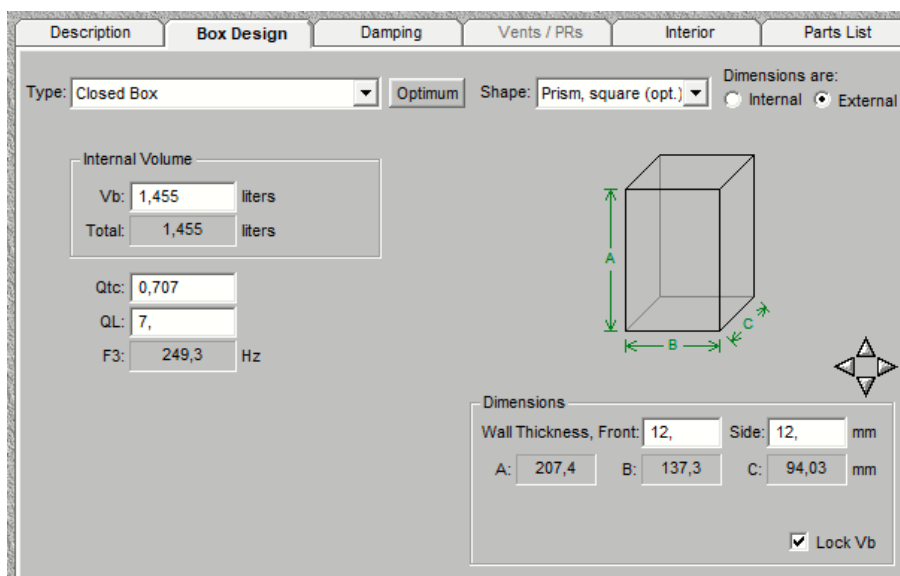


Fig. 7. Dimensiones de la caja acústica para altavoz 10"

Las dimensiones de los paneles de fenólico se encuentran a continuación:

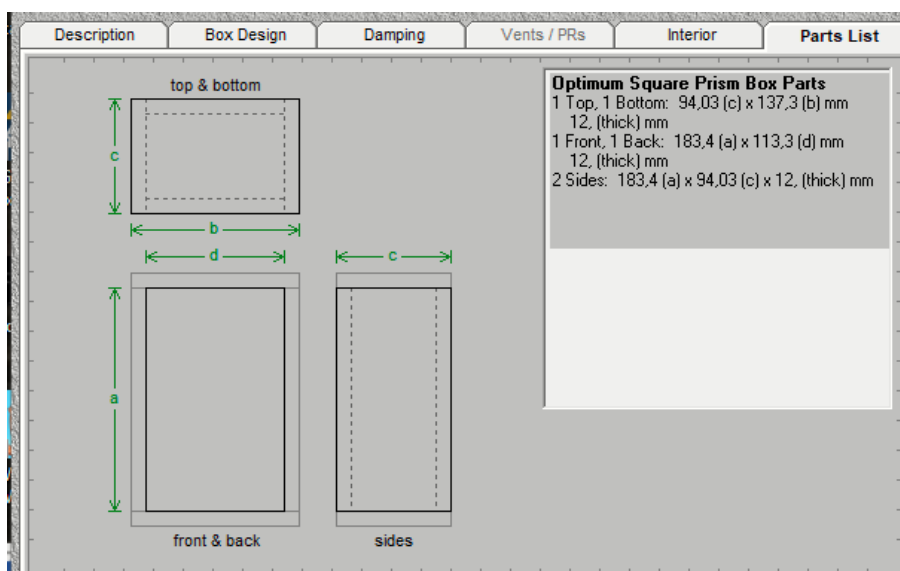


Fig. 8. Dimensiones de las maderas utilizadas en la caja acústica altavoz 10"



En la Fig. 9 se muestra la magnitud de la respuesta en frecuencia del sistema altavoz-caja acústica del altavoz de 10”:

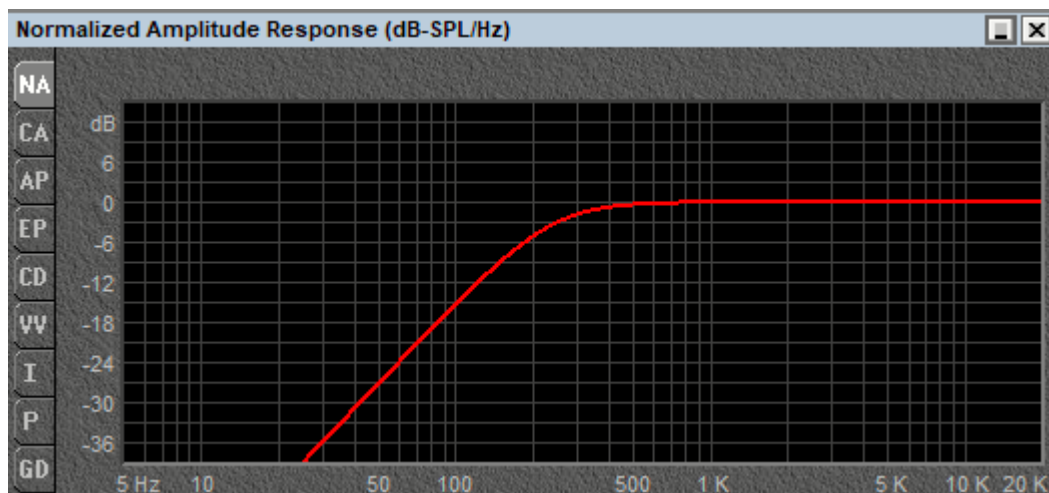


Fig. 9. Magnitud de la respuesta en frecuencia del sistema altavoz-caja acústica

3.2 Altavoz 15” B&C SPEAKERS 15CLA76

Una vez ingresado en el software todos los parámetros extraídos de la hoja de datos correspondiente, se diseñó una caja ventilada (open box) con condiciones óptimas y un panel de 12 mm.

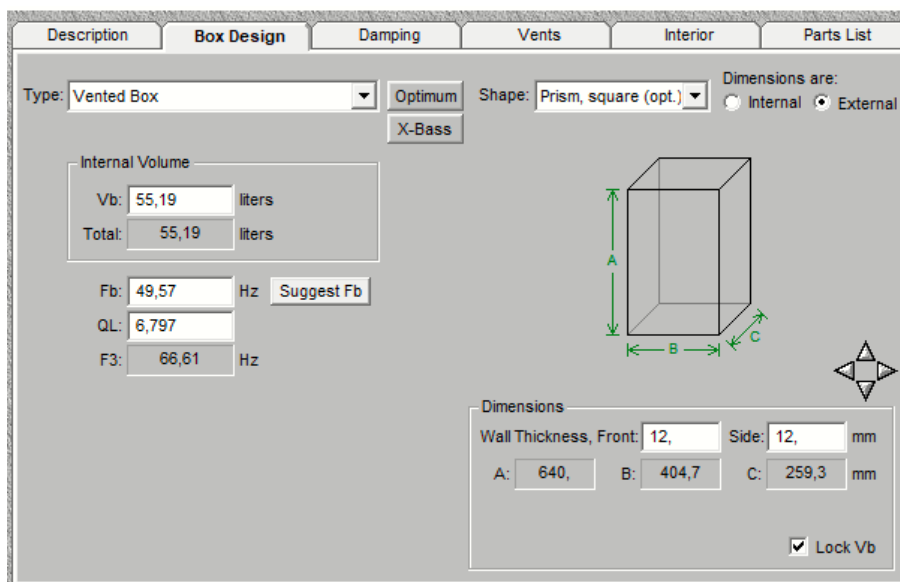


Fig. 10. Dimensiones de la caja acústica para altavoz 15



El tubo de resonancia será fabricado con tubo PVC de 70 mm de diámetro, con las siguientes características:

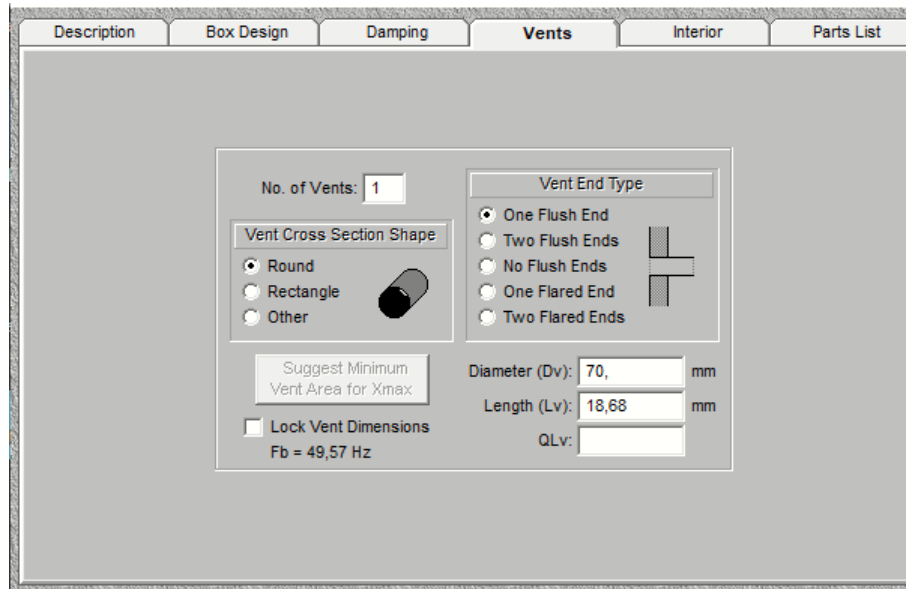


Fig. 11. Parámetros del tubo de resonancia de la caja acústica.

Las dimensiones de los paneles de fenólico se encuentran a continuación:

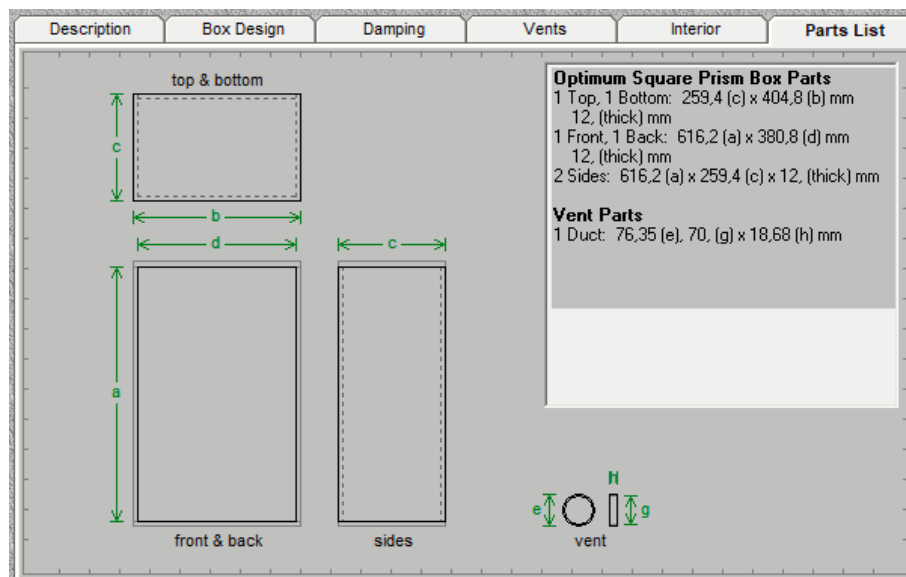


Fig. 10. Dimensiones de las maderas utilizadas en la caja acústica altavoz 10"

En la Fig. 11 se muestra la *magnitud de la respuesta en frecuencia* del sistema altavoz-caja acústica del altavoz de 15":

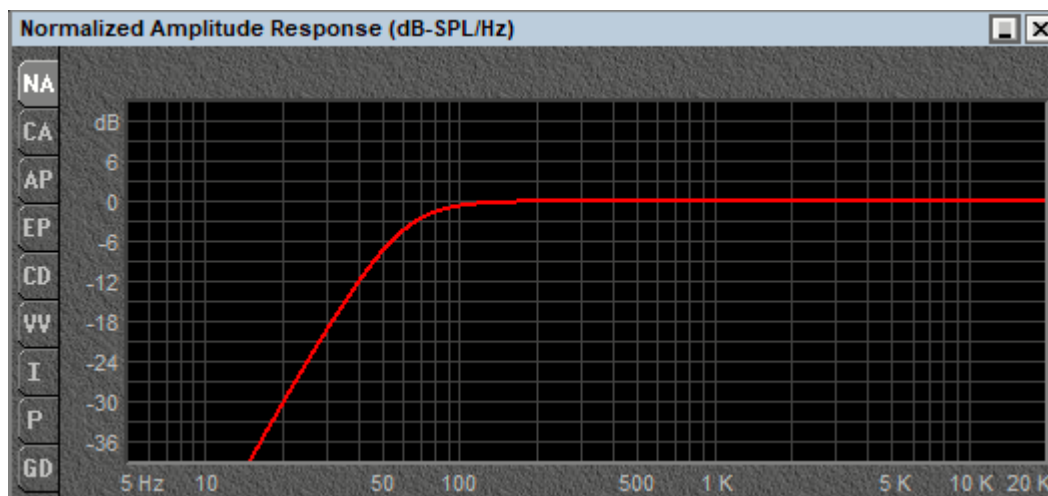


Fig. 11. Magnitud de la respuesta en frecuencia del sistema altavoz-caja acústica

3.3 Altavoz 18" B&C SPEAKERS 18NBX100

Una vez ingresado en el software todos los parámetros extraídos de la hoja de datos correspondiente, se diseñó una caja ventilada (open box) con condiciones óptimas y un panel de 12 mm.

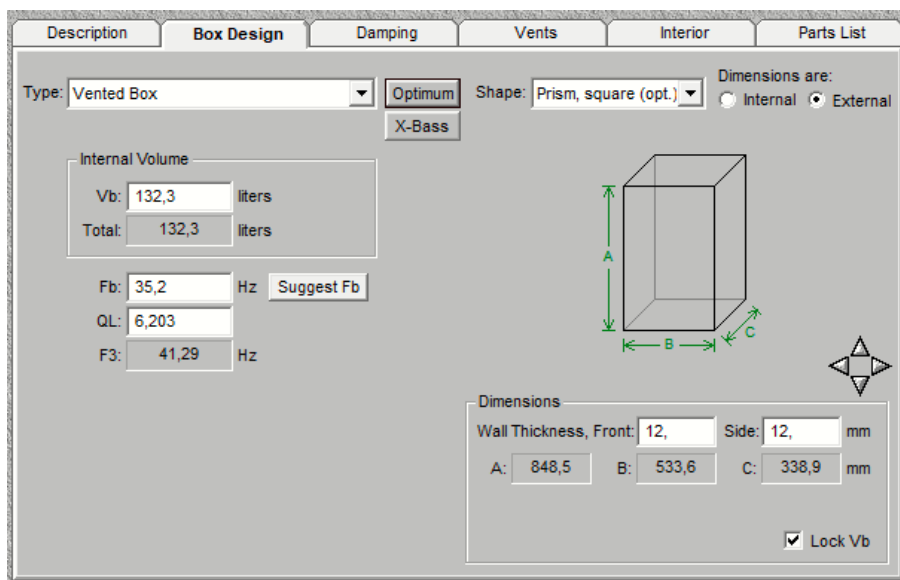


Fig. 12. Dimensiones de la caja acústica para altavoz 18"



El tubo de resonancia será fabricado con tubo PVC de 96,74 mm de diámetro, con las siguientes características:

Description Box Design Damping **Vents** Interior Parts List

No. of Vents: 1

Vent Cross Section Shape

☒ Round
☐ Rectangle
☐ Other

Suggest Minimum Vent Area for Xmax

☐ Lock Vent Dimensions
Fb = 35,2 Hz

Vent End Type

☒ One Flush End
☐ Two Flush Ends
☐ No Flush Ends
☐ One Flared End
☐ Two Flared Ends

Diameter (Dv): 20, cm
Length (Lv): 39,88 cm
QLv:

Fig. 13. Parámetros del tubo de resonancia de la caja acústica.

Las dimensiones de los paneles de fenólico se encuentran a continuación:

Description Box Design Damping Vents Interior Parts List

top & bottom

front & back

sides

vent

Optimum Square Prism Box Parts

1 Top, 1 Bottom: 348,9 (c) x 549,6 (b) mm
12, (thick) mm

1 Front, 1 Back: 850,5 (a) x 525,6 (d) mm
12, (thick) mm

2 Sides: 850,5 (a) x 348,9 (c) x 12, (thick) mm

Vent Parts

1 Duct: 206,4 (e), 200, (g) x 398,8 (h) mm

Fig. 14. Dimensiones de las maderas utilizadas en la caja acústica altavoz 18"



En la Fig. 15 se muestra la *magnitud de la respuesta en frecuencia* del sistema altavoz-caja acústica del altavoz de 18”:

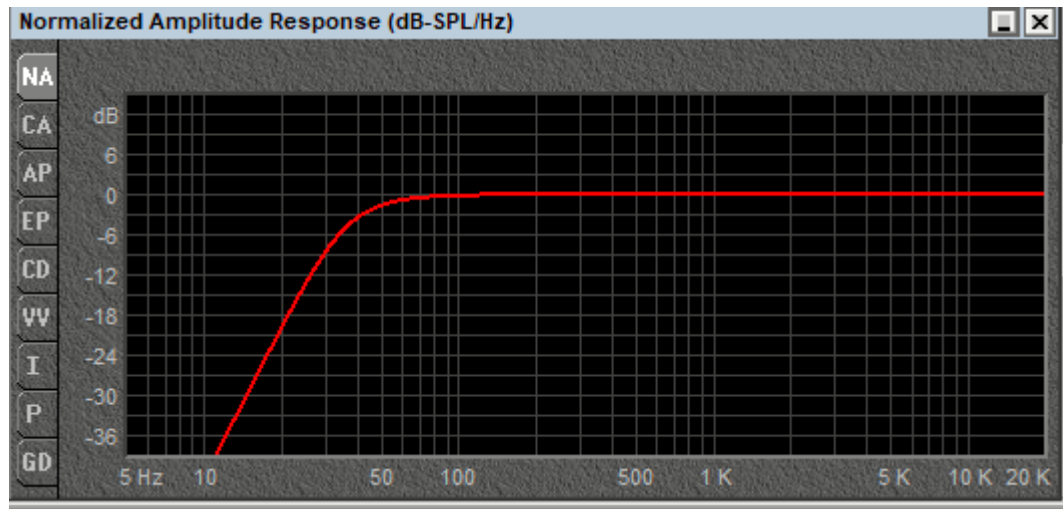


Fig. 15. Magnitud de la respuesta en frecuencia del sistema altavoz-caja acústica

4 Comparación:

En la Fig. 9 notamos que filtra las bajas frecuencias hasta aproximadamente 25 Hz, volviéndose plana alrededor de los 500Hz.

En el caso de la Fig. 11, apreciamos una señal similar a la anterior, pero en esta atenúa hasta 15 Hz, estabilizándose en 100 Hz.

Por ultimo podemos observar en la Fig.15 el mismo comportamiento pero atenuando hasta alrededor de 12 Hz.

Podemos mencionar las siguientes ventajas y desventajas obtenidas del Informe Técnico de alumnos de la catedra.

4.1 Caja cerrada

Ventajas	Desventajas
Mayor control de la membrana del altavoz. El diseño es muy sencillo de calcular. El tamaño es reducido en relación a otras configuraciones. Admite algo más de potencia al tener que trabajar con una presión/depresión de aire. Sonido más real. Sonido más agradable.	En las frecuencias bajas se nota su menor presión sonora. Necesitamos más potencia para rendir como otras configuraciones. La frecuencia de corte no es muy baja, con un tamaño de caja normal. El aire contenido en la caja, a gran SPL (Sound Pressure Level, nivel de presión sonora), actúa como un muelle y se crea gran distorsión a alto volumen.



4.2 Caja ventilada

Ventajas	Desventajas
Buen rendimiento en graves. Rinde aproximadamente 3 dB más que la hermética. Mayor SPL en las frecuencias más bajas Si está bien calculada su respuesta en frecuencias es más ancha que una hermética.	Su cálculo es mucho más complicado que una hermética. El control de la membrana es peor que en hermético. La pendiente de atenuación es muy alta, y que cuando se trabaja por debajo de la frecuencia de corte de la caja, el aire contenido en el conducto ya no actúa como resistencia, y el altavoz es como si estuviese funcionando al aire libre. La respuesta temporal no es demasiado buena.

5 Conceptos:

5.1 Funcionamiento de altavoz de bobina móvil:

Cuando se aplica a la bobina la señal eléctrica procedente del amplificador o de cualquier otro equipo, se crea un campo magnético que varía de sentido de acuerdo con dicha señal. En el entrehierro del imán se coloca una bobina cilíndrica de hilo que está unida al diafragma. La bobina genera una corriente eléctrica que provoca un campo magnético que interactúa con el campo del imán permanente, haciendo vibrar la membrana.

Al vibrar la membrana, mueve el aire que tiene situado frente a ella, generando así variaciones de presión en el mismo, o lo que es lo mismo, ondas sonoras.

En función de las variaciones de voltaje de entrada, el cono vibra y genera perturbaciones equivalentes en el aire.

Se puede demostrar que el desplazamiento del diafragma se relaciona con la frecuencia por: $\text{Desplazamiento} = \frac{\text{Voltaje aplicado}}{\text{Frecuencia}} \cdot \frac{1}{B \cdot L}$; es decir, a menor frecuencia mayor desplazamiento del cono y viceversa. Por ello, es fácil ver el movimiento del cono de un woofer y difícil el diafragma de un tweeter. Cuando el altavoz reproduce bajas frecuencias, los desplazamientos del cono son grandes y lentos. Sin embargo cuando son altas frecuencias, ocurre lo contrario.

Los altavoces que radian bien las bajas frecuencias sólo funcionan eficientemente hasta 1 o 2 kHz. Cuanto mayor sea el valor de la potencia acústica producida por el cono, mayor será la sensación de volumen que podremos percibir.



5.2 Funcionamiento de altavoz de bobina móvil:

Un controlador de compresión es un pequeño altavoz especializado de diafragma que genera el sonido en un altavoz de bocina. Está conectado a una bocina acústica, un conducto de ensanchamiento que sirve para radiar el sonido de manera eficiente en el aire. Funciona en un modo de "compresión"; el área del diafragma del altavoz es significativamente mayor que la abertura de la garganta del claxon, por lo que proporciona altas presiones de sonido. Los controladores de compresión con bocina pueden lograr eficiencias muy altas, alrededor de 10 veces la eficiencia de los altavoces con cono de radiación directa. Se utilizan como altavoces de medios y agudos en altavoces de refuerzo de sonido de alta potencia y en altavoces de cuerno reflejado o reflejo en megáfonos y sistemas de megafonía.

6 Conclusiones:

A lo largo del informe se presentaron los principios de funcionamientos, cálculos teóricos, ventajas y desventajas de las distintas cajas acústicas.

Comprendiendo los parámetros Thiele-Small que fueron necesarios para poder diseñar dichas cajas. Con la ayuda del software BassBox Pro V6.

7 Referencias

- Beranek, L. L. (1961), "Acústica". MIT, USA, Edición en castellano Editorial Panamericana. Bs As.
- B&C SPEAKERS, Online encyclopedia., Worst-case execution time.
<http://www.bcspeakers.com/en/products/lf-driver/10-0/8/10fw64>
- B&C SPEAKERS, Online encyclopedia., Worst-case execution time.
<http://www.bcspeakers.com/en/products/lf-driver/15-0/8/15cla76-8>
- B&C SPEAKERS, Online encyclopedia., Worst-case execution time.
<http://www.bcspeakers.com/en/products/lf-driver/18-0/8/18nbx100>
- 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
- Pellis Gerardo, et al. "Cajas acústicas, características y aplicaciones". Departamento de Ingeniería Electronica. Córdoba, Argentina.
- Wikipedia, Online encyclopedia., Worst-case execution time.
https://en.wikipedia.org/wiki/Compression_driver case execution time. Revision 05:23, May 14th, 2018.
- Wikipedia, Online encyclopedia., Worst-case execution time. https://es.wikipedia.org/wiki/Altavoz_dinamico time. Revision 20:30, May 17th, 2018.