

## Diseño y simulación de un gabinete acústico

Areco Franco - francoareco53@gmail.com

Lopez Lautaro - lautarolopez.20@gmail.com

Rodriguez Jannots Gonzalo - grodriguezjannots@gmail.com

Ingeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero

—

**Resumen** – En el presente informe se analiza, a partir de una serie de mediciones, el comportamiento acústico del parlante Genelec 6010A. Con esto se confecciona un sistema utilizando el altoparlante Lavoce WSF041, el cual logra superar levemente las prestaciones del sistema de referencia, con el fin de competir en este mercado. Para llegar a esta conclusión se realiza el análisis de las mediciones acústicas, logrando una medición cuasi-anecoica, y de impedancia del Genelec 6010A. Para finalizar, la comparación se realiza a través de simulaciones en el software Basta!

### 1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente informe se busca analizar un sistema conocido para recrear, en base a este, un modelo más eficiente y presentarlo en el mercado internacional. Para ello, se analizan una serie de mediciones con la finalidad de poder describir el comportamiento de los sistemas a partir de sus parámetros de Thiele-Small, la respuesta en frecuencia, la curva de impedancia eléctrica y, por último, simular ambos sistemas en el software Basta!.

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1. Mediciones de impedancia

Utilizando el software REW se analizan las mediciones de la impedancia eléctrica y se calculan los parámetros de Thiele-Small utilizando la medición del altoparlante al aire libre y la del mismo con una masa agregada de 5 gramos. Los parámetros obtenidos son  $f_s$ ,  $R_e$ ,  $L_e$ ,  $Q_e$ ,  $Q_m$ ,  $Q_t$ ,  $M_{md}$ ,  $C_{ms}$ ,  $V_{as}$  y el  $BL$ .

Por otro lado, a través de las fórmulas de gabinete cerrado y las mediciones de impedancia con el port tapado 1 2 y 3, se calcula el volumen del gabinete utilizado ( $V_a$ ).

$$f_c = f_s \sqrt{(\alpha + 1)} \quad (1)$$

$$Q_{tc} = Q_{ts} \sqrt{(\alpha + 1)} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{V_{as}}{V_b} \quad (3)$$

#### 2.2. Mediciones acústicas

Se trabaja con el software ARTA para observar las respuestas al impulso medidas y sumarlas para obte-

ner la respuesta en frecuencia de la medición cuasi-anecoica.

Se comienza sumando las mediciones nearfield del altoparlante low y del port. La medición del tweeter se desprecia ya que las mediciones de nearfield sirven para bajas frecuencias, rango de frecuencias en el que el tweeter no aporta nivel, pero en la medición farfield este sí se tiene en cuenta. Para esta suma se escala el port con la corrección por superficies según la ecuación 4:

$$\text{factor de escala} = \frac{D_{port}}{D_{parlante}} \quad (4)$$

Esto se da ya que ambas fuentes fueron medidas con el mismo micrófono (un mismo diafragma) a una distancia muy cercana, por lo tanto se capta el nivel de un mismo área y se debe corregir en base a la superficie del port y la superficie del diafragma.

La medición nearfield solo es válida en bajas frecuencias por lo que se calcula el valor de la frecuencia máxima hasta la cual la curva es representativa del sistema. Esta frecuencia se puede calcular con la ecuación 5:

$$f_{max} = \frac{c}{2\pi a} \quad (5)$$

A su vez, se le aplica un filtro low shelving el cual corrige la propagación de onda de  $2\pi$  a  $4\pi$  producida por el gabinete en esta banda de frecuencia. Con esto también se le agregan correcciones para la difracción que producen los cambios de impedancia entre los bordes del gabinete y el aire. Para esto se introducen las dimensiones de la cara frontal del gabinete en el software utilizado.

Por parte de la medición farfield se calcula la diferencia de tiempo entre el arribo del sonido directo y el arribo de la primer reflexión para así ventanear la respuesta al impulso y eliminar todas las reflexiones. El

ancho de la ventana sigue la ecuación 6

$$\Delta t = \frac{\Delta r}{c} = \frac{r_d - r_r}{c} \quad (6)$$

siendo  $r_d$  y  $r_r$  las distancias que recorren el sonido directo y la primer reflexión respectivamente y  $c$  la velocidad del sonido.

Sin embargo, al realizar el ventaneo la medición deja de ser representativa en bajas frecuencias, mas precisamente, debajo de la frecuencia donde un periodo sea igual al tiempo de la ventana utilizada. La misma se puede calcular con la ecuación 7

$$f_{min} = \frac{1}{\Delta t} \quad (7)$$

Finalmente, se superponen las magnitudes de las respuestas en frecuencia del nearfield y del farfield para encontrar un punto en común donde ambas respuestas sean significativas.

Las magnitudes de las respuesta en frecuencia presentará una diferencia, debido a que una medición se realiza a campo cercano y otro a campo lejano por lo cual se debe escalar por medio de la ecuación 8

$$factor \ de \ escala = \frac{r}{2 \ D_{farfield}} \quad (8)$$

En este punto de cruce se cortan ambas respuestas y se obtiene la respuesta final donde por debajo de esta frecuencia se utiliza la medición nearfield y por sobre esta la respuesta farfield.

### 2.3. Diseño de gabinete

Por último, se analizan los resultados y se propone diseñar un gabinete con sólo el transductor low que supere al dado en la consigna con el objetivo de obtener una mejor respuesta en frecuencia, una menor excursión en la frecuencia de sintonía (para conseguir menor distorsión) y buscar una relación de superficie y tubo que permita evitar la saturación por torbellino en el port, pero sin comprometer otros parámetros como su volumen, portabilidad o precio.

De esta manera, el objetivo final sera el de superar al altoparlante de la competencia. Para realizar la comparación entre ambos productos finales se utiliza el software BASTA!.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1. Análisis de mediciones

#### 3.1.1. Mediciones de impedancia

Se comienza analizando las mediciones de impedancia del altoparlante Genelec 6010A para así calcular sus parámetros de Thiele-Small.

En la Figura 1 se puede observar lo mencionado

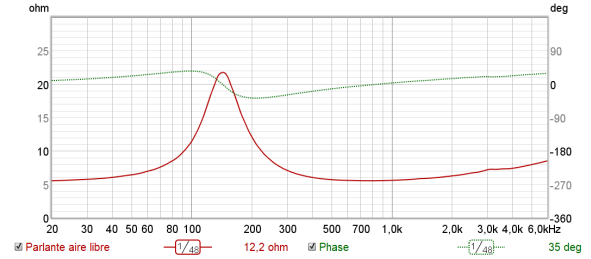


Figura 1: Impedancia eléctrica al aire libre del Genelec 6010A

La frecuencia de resonancia se ubica aproximadamente en los 140 Hz, en donde se encuentra el máximo de impedancia eléctrica. A su vez, se observa un pequeño aumento de la curva de impedancia en los 3 kHz.

Posiblemente, este pico se deba a resonancia o modos propios del cono, el cual no es absolutamente rígido. Del mismo modo, pueden llegar a ser reflexiones dependiendo si el altoparlante se mide sobre una mesa, pero al montarlo en el gabinete deberían desaparecer de la curva de impedancia.

Utilizando el software REW, se colocan las mediciones del altoparlante al aire libre y del mismo con masa agregada para obtener los parámetros de Thiele-Small a través del software. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 1

Tabla 1: Parámetros de Thiele-Small del altoparlante del Genelec 6010A

Fs [Hz]	Q <sub>es</sub>	Q <sub>ms</sub>	Q <sub>ts</sub>	R <sub>e</sub> [Ω]	L <sub>e</sub> [mH]
142.5	0.805	2.525	0.610	5.27	0.308
BxL [Tm]	M <sub>ms</sub> [g]	C <sub>ms</sub> [mm/N]	Vas [L]	Sd [cm <sup>2</sup> ]	η [%]
4.008	2.85	0.438	0.60	31.2	0.21

Por otro lado, analizando la medición de impedancia con el port tapado, es decir el parlante en un gabinete cerrado, se obtiene el volumen del gabinete del Genelec 6010A. En la Figura 2 se puede observar la curva de impedancia eléctrica

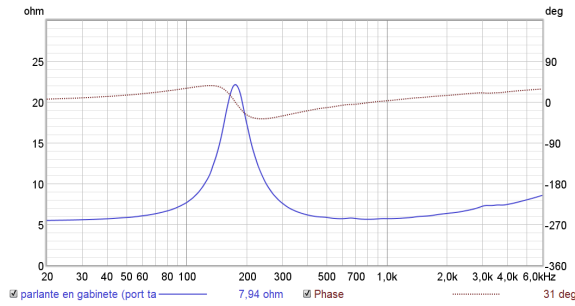


Figura 2: Impedancia eléctrica del Genelec 6010A con el port tapado

Analizando la curva de impedancia eléctrica de la Figura 2, se obtiene la frecuencia de resonancia del sistema ( $f_c$ ) la cual se ubica en el máximo de impedancia eléctrica, ya que el sistema se comporta como un gabinete cerrado. En este caso, al introducir el altoparlante en un gabinete cerrado, la frecuencia de resonancia del sistema aumenta en comparación con el parlante al aire libre, debido a la compliancia sumada al sistema. Por lo tanto, el volumen encerrado ofrece una mayor rigidez al altoparlante, por lo que la excursión del cono será menor.

Esto se debe a que allí hay un máximo de velocidad mecánica. Al obstruir la salida del port de un baffle sintonizado se provoca que el sistema se comporte como un gabinete cerrado.

Esta frecuencia de resonancia del sistema se visualiza en la fase, justo a los 90°. Esto se da ya que el sistema funciona como un filtro pasa banda de segundo orden con una fase de 180° por lo que, a los 90° se da el máximo de impedancia eléctrica en el sistema.

El pico por arriba de la frecuencia de resonancia (alrededor de los 3 kHz) no desapareció al montar el altoparlante en el gabinete, motivo por el cual queda confirmado que son modos propios del cono.

Se observa que surge otro pico alrededor de los 600 Hz, en donde esto puede estar relacionado a modos propios dentro del gabinete.

El volumen encerrado ( $V_b$ ) se calcula sabiendo la frecuencia de resonancia del sistema ( $f_c$ ) y la frecuencia de resonancia del parlante ( $f_s$ ) en donde por medio de la ecuación 1 se obtiene la relación de compliancia ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \left( \frac{174}{142,5} \right)^2 - 1 = 0,49 \quad (9)$$

De la ecuación 3 con el valor del volumen acústico de la suspensión ( $V_{as}$ ) se puede obtener el volumen encerrado ( $V_b$ ) dentro del gabinete

$$V_b = \frac{V_{as}}{\alpha} = 1,22 \text{ Litros} \quad (10)$$

### 3.1.2. Mediciones de respuestas al impulso

Para el análisis frecuencial del sistema, se comienza cargando la respuesta al impulso del port medido en campo cercano, denominado *nearfield*. Luego, se escala dicha medición debido a que esta se realiza al ras de la salida del tubo, en donde el micrófono de medición capta una mayor presión que lo que entrega el parlante. Esto sucede debido a que, al ser un volumen menor que el del port, la presión dentro será mayor. Por lo tanto, esta corrección se realiza por medio de la relación de superficies entre el port y el altoparlante. Mediante la ecuación 4 se obtiene dicho factor

$$\text{factor de escala} = \frac{3}{6,3} = 0,476 \quad (11)$$

Una vez escalado el port, se procede a realizar la suma de la respuesta al impulso del mismo en conjunto con la del altoparlante. Este procedimiento se realiza con las respuesta al impulso, ya que se debe tener en cuenta tanto la suma de la magnitud de la respuesta en frecuencia como también la suma de la fase de la misma.

En la figura 3 se observa la respuesta en frecuencia de la medición Nearfield.

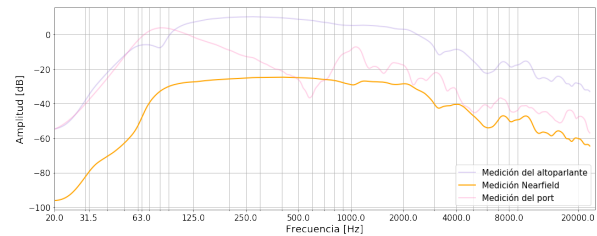


Figura 3: Respuesta en frecuencia de medición Nearfield

En la figura 3 se observa que el port entrega más nivel de presión sonora que el altoparlante en la frecuencia de resonancia. Este fenómeno sucede ya que la excursión del altoparlante, en la frecuencia de resonancia del sistema, es menor. Por otro lado, el port produce una máxima potencia acústica debido al acoplamiento del sistema resonante acústico.

Por debajo de la frecuencia de resonancia ( $f_b$ ), las respuestas al impulso se cancelan parcialmente, generando la pendiente de 24 dB/octava característica de un gabinete ventilado. Esto sucede debido a que los elementos irradian ondas acústicas con polaridad opuesta.

Al sumar las dos respuestas el sistema da por resultado una extensión en bajas frecuencias gracias al aporte de presión que genera el resonador de Helmholtz el cual maneja grandes cantidades de energía debido al volumen del gabinete.

La respuesta en frecuencia de la suma del port y el parlante de la Figura 3 devuelve un menor nivel debido a que, en este caso, al resultado final se le aplicó el filtro low shelving de -6 dB. Este filtro simula el comportamiento del *baffle step* del sistema, es decir, donde el gabinete presenta una radiación de  $4\pi$ . Cuando las dimensiones del gabinete son mayores a la longitud de onda y cuando el gabinete se opone a la radiación de energía de la cara trasera del altoparlante, este irradia en un semi-espacio  $2\pi$ .

Del mismo modo, se procede a escalar nuevamente la respuesta final, ya que al medir a una distancia menor al 11 % del radio del altoparlante, esta medición no representa la distancia a la cual se utilizará el altoparlante. Esto sucede ya que la medición se realiza a campo cercano. Por medio de la ecuación 8 se obtiene dicha corrección

$$factor\ de\ escala = \frac{6,3}{2 * 60} = 0,0525 \quad (12)$$

Debido a que la medición solo toma una pequeña área de la superficie a medir, la medición nearfield es válida para frecuencias menores a  $ka = 1$  ya que esta es la frecuencia a la que el pistón deja de ser completamente rígido y cada parte del mismo deja de moverse de la misma manera. Esta frecuencia se calcula según la ecuación 5

$$f_{max} = \frac{343}{2\pi * 0,063} = 866,5Hz \quad (13)$$

A partir de esta frecuencia se empieza a observar que la respuesta del parlante a medir deja de ser representativa. El motivo de esto es que la superficie radiante a estas frecuencias se pueden representar como pequeñas fuentes puntuales y el campo de presión será la suma de todas estas. La longitud de onda, a partir de esta frecuencia, comienza a ser comparable con las dimensiones propias del gabinete y el cono, el cual no es un pistón ideal. Su geometría se debe a que se busca la máxima rigidez posible para evitar resonancias. Como resultado, si se intenta medir las variaciones de presión en las cercanías del cono la respuesta cambiará drásticamente en función de la posición. En cambio, para frecuencias menores, la longitud de onda será mayor generando un campo de presión uniforme sobre toda la superficie del cono.

En relación a la medición lejana se realiza la medición denominada *farfield*. Para la misma se coloca el micrófono idealmente a 3 veces la diagonal mas larga del gabinete. Se realiza este procedimiento porque el parlante no está diseñado para un punto de escucha tan cercano a al gabinete. Cuando una fuente genera presión sonora, en el punto usual de escucha se integra

todo lo que está generando sonido (vibraciones). Esa integración depende, en parte, de la distancia en la que se capte la misma.

La medición de campo lejano permite caracterizar la respuesta del sistema en medias y altas frecuencias. Al realizarse una medición a través de este método, las reflexiones comienzan a estar más presentes en la respuesta al impulso debido a que, al alejarse de la fuente, la relación entre el nivel de la señal que proviene de la fuente directa y las reflexiones de la sala ahora son comparables. De este modo, no serán despreciables en la suma total y el efecto de estas reflexiones modificarán la respuesta de mi sistema.

El baffle (las dimensiones de la cara frontal del elemento) en donde este montado, va a afectar a la respuesta del elemento. No sólo por el cambio de radiación  $2\pi$  a  $4\pi$ , sino porque en el borde hay un cambio de impedancia que genera difracción (pequeñas fuentes).

Para que esta medición sea considerada cuasi-anecoica se debe ventanear la respuesta al impulso de tal manera que solo quede el sonido directo, es decir, eliminando la primera reflexión. Este procedimiento se observa en la figura 4

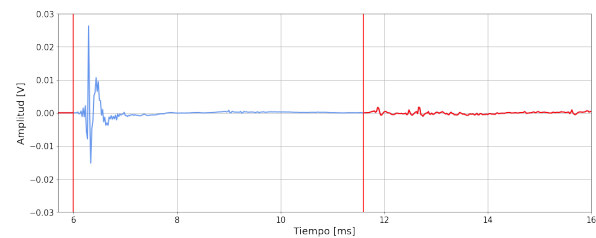


Figura 4: Ventaneo de la respuesta al impulso farfield

Para asegurarse de eliminar la primera reflexión, se calcula la diferencia entre el tiempo de arribo de la misma y el sonido directo utilizando la fórmula 6

$$\Delta t = \frac{\Delta r}{c} = \frac{2,53\ m - 0,6\ m}{343\ m/s} = 5,6\ ms \quad (14)$$

Este ventaneo, a su vez, implica que la medición no será representativa para un periodo mayor al tiempo de la ventana utilizada. Esta frecuencia se calcula según la fórmula 7

$$f_{min} = \frac{1}{5,6\ ms} = 178Hz \quad (15)$$

Con este ventaneo, la respuesta en frecuencia farfield se presenta en la figura 5 junto con la respuesta nearfield

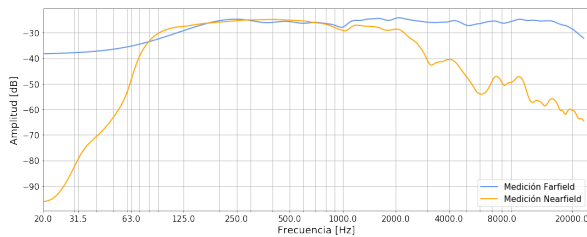


Figura 5: Respuestas en frecuencia de las mediciones nearfield y farfield

Se observa que entre las frecuencias de 178 Hz y 866.5 Hz ambas respuestas deben coincidir, ya que es el rango donde son representativas. Es por esto que la respuesta nearfield se amplifica 1.5 dB para igualar ambas curvas, corrigiendo así cualquier discrepancia entre las fórmulas utilizadas y el modelo real.

Por último, se selecciona un punto de cruce en entre ambas curvas dentro del rango representativo de ambas mediciones donde se utiliza por sobre esta la medición farfield y por debajo la medición nearfield. De esta manera se obtiene la respuesta en frecuencia del altoparlante en conjunto con el amplificador. Esto se observa en la figura 6 junto con la medición sin el amplificador.

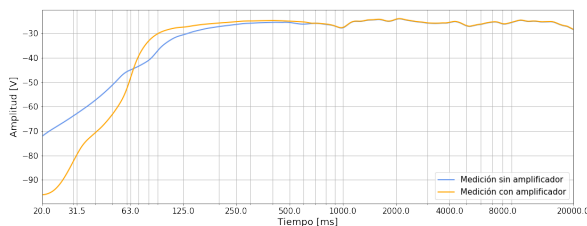


Figura 6: Respuesta en frecuencia final del parlante Genelec 6010A medido con amplificador y sin amplificador

Se observa en la Figura 6 la comparación de las mediciones de la respuesta en frecuencia del altoparlante contando el amplificador y restándolo, en donde se visualiza que dicho amplificador posee un ecualizador en bajas frecuencias con el fin de extender la respuesta en frecuencia del sistema en esa zona.

La diferencia sustancial entre ambas respuestas en frecuencias se da en las pendientes, en donde la respuesta del sistema en conjunto con el amplificador da como resultado una pendiente más pronunciada, cercana a 40 dB/oct, mientras que la respuesta del sistema sin el amplificador presenta una pendiente similar a 20 dB/oct. Estas pendientes se calculan utilizando la octava entre 31.5 Hz y 63 Hz ya que ambas se encuentran en la banda de rechazo.

Analizando, se identifica una respuesta plana entre 100 Hz y 1 kHz. En esta última, se observa un descenso de nivel el cual se puede suponer que es producido por

el parlante y no por la medición. Esto se debe a que esta presente en ambas mediciones. Igualmente, para tener más información de esta irregularidad, y de las presentes en frecuencias más altas, se analiza el *Cumulative Spectral Decay* presente en la figura 7

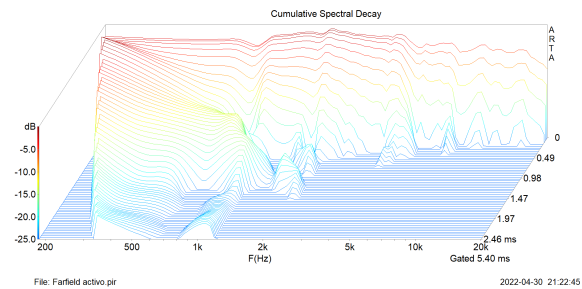


Figura 7: Cumulative Spectral Decay de la medición del Genelec 6010A medido

Con esto se corrobora que las irregularidades cercanas a 1kHz, 4kHz y 8kHz no son producto de reflexiones sino del mismo altoparlante debido a que la caída del espectro es continua. Por otro lado, en 2kHz si se observa que la energía se disipa totalmente para luego volver a subir, indicando que esta irregularidad es producida por una reflexión. Sabiendo que el  $ka = 1$  se encuentra en 866 Hz, y que todas estas irregularidades se encuentran en armónicos de una frecuencia cercana a 1kHz, pueden ser producto del cone breakup.

Para poder comparar la simulación del gabinete propuesto como competencia para el Genelec(sin amplificador), primero se debe comparar la simulación del mismo en el software Basta! con la medición realizada. Ambas curvas se observan en la figura 8

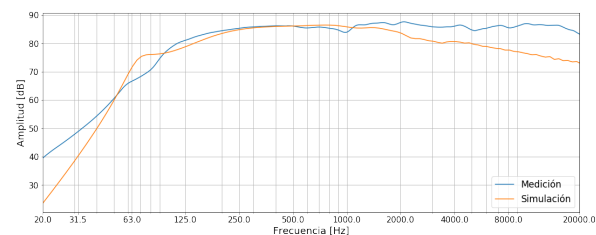


Figura 8: Comparación de medición con simulación del Genelec 6010A

Ambas curvas presentan una gran similitud en la banda de paso hasta 1 kHz. Por sobre esta frecuencia la simulación no es representativa ya que el software Basta! no solo no tiene en cuenta al tweeter, sino que tampoco tiene en cuenta las irregularidades del diafragma por sobre  $ka = 1$ . La diferencia entre ambas curvas es mayor por debajo de la banda de paso. Esto puede deberse a que la simulación realiza una idealización

de cuanto el gabinete ventilado puede extender la respuesta del altoparlante por debajo de su frecuencia de sintonía. Otro factor puede ser el de un mal cálculo de algún parámetro, principalmente la frecuencia de resonancia del Helmholtz a partir de la curva de resonancia, la cual, si fuera mas grande, haría que la frecuencia de corte de la simulación se vea desplazada hacia una frecuencia mayor, pareciéndose mas la curva de la medición. Esta diferencia debe tenerse en cuenta a la hora de comparar esta simulación con la del gabinete sintonizado propuesto.

Para un análisis mas preciso, se recurre al datasheet del Genelec 6010A, del cual se extraen los parámetros presentes en las tablas 2 y 3

Tabla 2: Medidas del gabinete del Genelec 6010A según datasheet

Alto [mm]	Largo [mm]	Ancho [mm]
181	121	114

Tabla 3: Volumen y frecuencia de resonancia del Genelec 6010A según datasheet

Volumen [L]	Frecuencia del sistema [Hz]
2.49	73

Estos valores presentan una diferencia con lo observado en las mediciones. Por parte de la frecuencia de corte a -3dB, según el datasheet es de 73 Hz mientras que en la medición es mas cercana a 80 Hz. Esta pequeña diferencia puede darse debido a algunas imprecisiones en la medición no ideal realizada o en alguna diferencia en el método utilizado para medirla. Por el lado del volumen y las medidas, al tener un gabinete con bordes redondeados, la medición con el calibre y el cálculo del volumen presentan diferencias. Además de esto, el volumen físico se diferencia del  $V_b$  ya que este no tiene en cuenta el espacio que ocupan los altoparlantes, sus montajes y otras cosas que ocupen espacio dentro del gabinete.

A su vez, en el datasheet se encuentra la respuesta en frecuencia presente en la figura 9

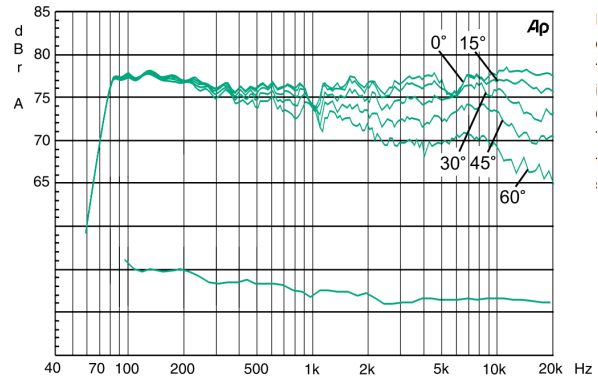


Figura 9: Respuesta en frecuencia presente en el datasheet del Genelec 6010A

En la frecuencia de 1kHz esta presente la caída de nivel analizada en base a la medición. Esto confirma que se debe al diseño del altoparlante y no a la medición. Además del cone breakup, puede deberse a alguna resonancia en el port o en el gabinete, o algún efecto acústico producido por el montaje de los altoparlantes.

### 3.2. Diseño de gabinete

Para el diseño del gabinete se selecciona, del mercado internacional, un altoparlante con características para su colocación en un gabinete ventilado ultra compacto. Esto implica que el altoparlante debe constar con un  $V_{as}$  lo mas bajo posible, para no necesitar de un gabinete de gran tamaño. A su vez un  $Q_{ts}$  cercano a 0.4 generaría una respuesta chebyshev, es decir, con un realce en la frecuencia de resonancia permitiendo así alargar la respuesta en frecuencia del altoparlante. A su vez, cuanto mas aumenta el  $Q_{ts}$ , mas aumenta el volumen del gabinete óptimo según el método del nomograma. Es por esto que se selecciona el altoparlante *Speaker Lavoce WSF041*, cuyos parámetros de Thiele se encuentran en la tabla 4.

Tabla 4: Parámetros de Thiele-Small del altoparlante del Lavoce WSF041

$F_s$ [Hz]	$Q_{es}$	$Q_{ms}$	$Q_{ts}$	$R_e$ [Ω]	$L_e$ [mH]
122	0.57	6.5	0.52	5.5	0.23
$B \times L$ [Tm]	$M_{ms}$ [g]	$C_{ms}$ [mm/N]	$V_{as}$ [L]	$S_d$ [cm <sup>2</sup> ]	$\eta$ [%]
5.8	4.5	0.53	1.5	54	0.47

A través de la carta de alineación de Thiele-Small presente en la figura 10 se obtiene el volumen óptimo del gabinete sintonizado, su frecuencia de resonancia y la frecuencia de sintonía del sistema.



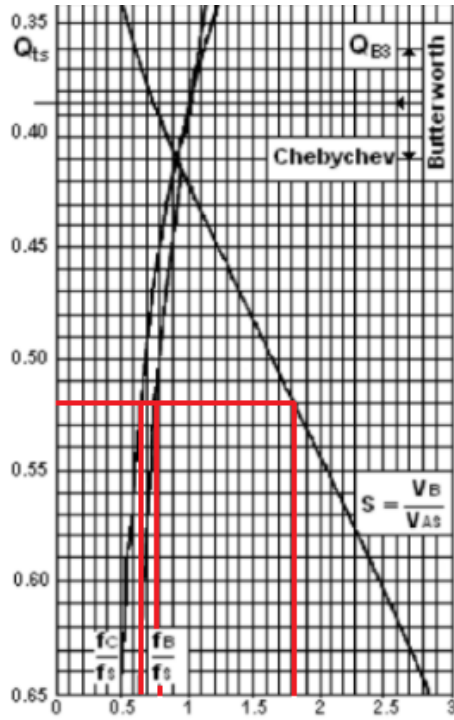


Figura 10: Carta de alineación de Thiele - Small

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.

Tabla 5: Valores obtenidos a través de la carta de alineación

$S$	$\frac{f_B}{f_s}$	$\frac{f_C}{f_s}$
1.8	0.8	0.7

Es así como utilizando la frecuencia de resonancia del altoparlante ( $f_s = 122 \text{ Hz}$ ) y el  $V_{as} = 1,5$  se obtienen los resultados presentes en la figura 6

Tabla 6: Valores calculados para la dimensión del gabinete ventilado

$V_b \text{ [L]}$	$f_B \text{ [Hz]}$	$f_C \text{ [Hz]}$
2	97.6	85.4

Cabe destacar que el volumen del gabinete por nomograma es de 2.7 litros, pero que debido a que este ya era mucho mayor al del Genelec 6010A, se disminuye a 2 litros para seguir siendo competitivo en lo compacto del sistema, pero comprometiendo así el nivel de la respuesta en la frecuencia en la resonancia del Helmholtz, disminuyendo esta 1.7 dB según el software Basta!.

Al ingresar estos parámetros en el software Basta! se busca la mejor relación largo/diámetro para que no

sea demasiado grande, con el fin de que entre en el gabinete, ni que sea demasiado chico como para generar torbellinos y saturar al sistema por velocidad de volumen. Para reducir estos torbellinos se debe hacer el interior del port lo menos rugoso posible y con bordes en el exterior más suaves. Por otro lado, se puede generar una resonancia mecánica y acústica por vibración con respecto al material y dimensión del port, lo cual genera una distorsión en altas frecuencias. Esto se soluciona colocando el port en la cara trasera del gabinete.

Las dimensiones del port obtenida por medio de la simulación se presentan en la tabla 7.

Tabla 7: Valores de dimensiones del port

Dimetro [cm]	Superficie [cm <sup>2</sup> ]	Largo [cm]
3.50	9.62	22,57

La excursión utilizada para la simulación del Genelec en el software Basta! es de 2.8 mm, similar al altoparlante *Lavoce WSF041*. Esto se debe a que no se puede obtener dicho datos mediante los parámetros de Thiele-Small. Por lo tanto, este valor se encuentra entre los valores medios de los parlantes de diámetros pequeños.

Por lo tanto, la tensión máxima, el cual se le puede aplicar al altoparlante *Lavoce WSF041*, se obtiene cuando la excursión del altoparlante y la velocidad del volumen del port comienzan a recortar. Esto se observa en la Figura 11

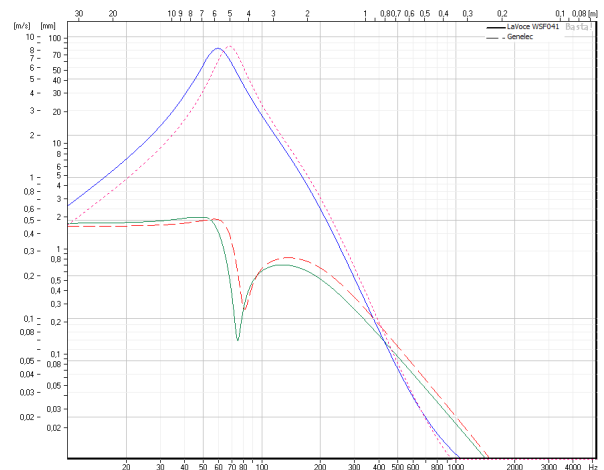


Figura 11: Comparación de la excursión del altoparlante y velocidad del volumen del port a MOL para el Genelec 6010A (línea discontinua) y gabinete propuesto (línea continua) a 5V/4.7W @ 5.5 Ω

Se visualiza en la Figura 11 que el gabinete sintonizado propuesto posee una velocidad de volumen del

port (línea verde) similar al Genelec, en el cual se observa que el diseño propio aporta mayor energía por debajo de la frecuencia de sintonía del Genelec.

El desplazamiento será mayor en el gabinete propuesto (línea azul) por debajo de la frecuencia de resonancia del sistema generando que se produzca una mayor distorsión debido a alinealidades en la suspensión y al motor electromagnético.

La comparación de las respuestas en frecuencia, fase y retardo de grupo simuladas se observan en la figura 12.

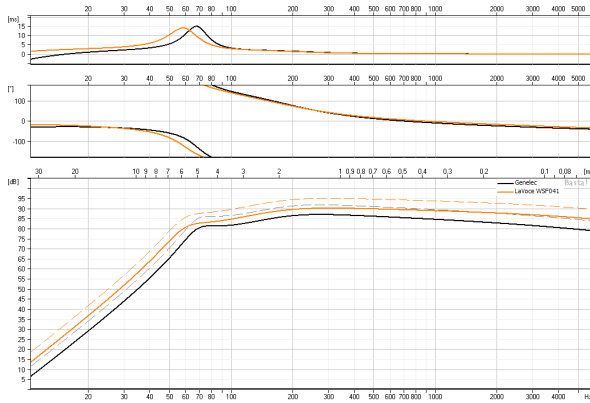


Figura 12: Comparación de las respuestas en frecuencia (línea continua) y respuesta en frecuencia a MOL (línea discontinua) para el Genelec 6010A (negro) y gabinete propuesto (amarillo) a 5V/4.7W @ 5.5  $\Omega$

En la curva de fase se observa que la frecuencia del gabinete sintonizado propuesto de 75 Hz mientras que el del Genelec se encuentra en 81 Hz. Esta diferencia también está presente en la frecuencia de -3 dB, causando un ligero aumento del rango útil del parlante propuesto en bajas frecuencias. A su vez, se observa un nivel a MOL mayor, cabe destacar que este valor varía según el  $X_{max}$  real del altoparlante utilizado en el Genelec 6010A. En el caso del retardo de grupo, no hay una diferencia notable en las amplitudes de los picos máximos. Sin embargo, hay una disminución en la frecuencia a la que se da este pico, lo implicaría que este sea menos perceptible. Por otro lado, ambas curvas presentan valores bajos, por lo que en ninguno de los casos será perceptible.

Cabe destacar que diferencias similares a las observadas entre las mediciones y la simulación del Genelec 6010A se observarán entre la simulación del sistema

propuesto y el producto final. Es por esto que aunque se observen estas mejoras analizadas en la simulación, los problemas que se presentan al momento del montaje y fabricación del producto final deben ser analizadas con el objetivo de rediseñar nuevamente el sistema en busca de arreglar estos problemas.

#### 4. CONCLUSIONES

La obtención de la medición cuasi-anecoica a través de las distintas mediciones realizadas fue satisfactoria. Esto se concluye debido a que la medición de la respuesta en frecuencia en comparación con la simulación en el Basta! dio resultados similares. Algunas discrepancias presentes son la respuesta en frecuencia por debajo de la  $f_s$ , la cual se puede deberse a que la simulación realiza una idealización de cuanto el gabinete ventilado puede extender la respuesta del altoparlante por debajo de su frecuencia de sintonía. Del mismo modo, puede deberse a una diferencia en el cálculo de algún parámetro, principalmente la frecuencia de resonancia del Helmholtz a partir de la curva de resonancia, la cual, si fuera mayor, haría que la frecuencia de corte de la simulación se vea desplazada hacia una frecuencia más alta, pareciéndose más la curva de la medición. Para las frecuencias altas la simulación ya no es representativa, a su vez y sin saber las condiciones ni las dimensiones de la sala, no podemos determinar la cantidad de reflexiones o interferencia que la misma ocasiona en las mediciones dadas.

Por otra parte, el diseño del sistema para competir también fue satisfactorio porque logra superar levemente las prestaciones del Genelec 6010A. Si se desea modificar este sistema propuesto la búsqueda de un altoparlante con un  $V_{as}$  menor, manteniendo el mismo  $Q_{ts}$ , permite reducir el tamaño del gabinete, siempre teniendo en consideración que el tubo de la ventilación debe poder colocarse dentro del mismo. A su vez, si se desea aumentar la excursión, y con ella el nivel, debe aumentarse el  $X_{max}$  del altoparlante.

Debe tenerse en cuenta que el sistema propuesto solo fue simulado, por lo que al momento de su fabricación se observarán discrepancias, como las observadas en la comparación de la simulación y medición del Genelec 6010A. Es por esto que toda conclusión final queda sujeta a los problemas que se deberán solucionar en esta última etapa.