

TRABAJO PRÁCTICO 2: MEDICIÓN DE PARÁMETROS THIELE - SMALL

JONATHAN D. FREIDKES ¹

¹ Universidad Nacional de Tres de Febrero, Electroacústica I, Buenos Aires, Argentina.
jonifreidkes@gmail.com

Resumen – Se realiza el presente trabajo con el fin de obtener empíricamente los parámetros definidos por Thiele y Small que describen el funcionamiento de altoparlantes en baja señal. Se supone que en esta condición, el comportamiento del transductor es lineal y se obtienen descriptores de su funcionamiento. Se utilizan dos métodos distintos para llegar a los resultados con el fin de compararlos con los dados por el fabricante.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Se realiza este trabajo con el fin de conocer experimentalmente los parámetros definidos por Richard Small en su trabajo de 1972 [1] que continúa lo iniciado por Neville Thiele en especificaciones generales de parlantes. Estos descriptores son de utilidad a la hora de comparar distintos transductores y realizar un diseño de gabinete acústico con esos componentes. La intención de ensayar los altoparlantes es también comparar los resultados con los datos provistos por los fabricantes.

En particular se mide frecuencia de resonancia del altoparlante (f_s), resistencia mecánica de la suspensión en su equivalente eléctrico (R_{es}), resistencia eléctrica de la bobina a corriente continua (R_e) y superficie efectiva de radiación efectiva (S_d). Mediante estos se puede calcular Q_{es} , Q_{ms} , Q_{ts} , volumen acústico de la suspensión (V_{as}), rendimiento (η), máximo desplazamiento (X_{MAX}), Inductancia de bobina (L_e) y motor electromecánico (Bl).

Se utilizan varios métodos de medición para comparar los resultados entre sí. El primero implementado responde al modelo sin utilización de computadoras, simplemente con instrumental electrónico de laboratorio observando figura de Lissajous en un osciloscopio analógico. Luego se mide con el software LIMP y una configuración simple a través de una interfaz de sonido. Finalmente en otra etapa se utiliza la interfaz y el software de DATS y luego Smaart. Estos últimos métodos mencionados son de diseño específico para este tipo de mediciones, lo que hace más simple el conexionado y configuración del experimento.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Parámetros Thiele – Small

Definiciones extraídas del apunte dado por la cátedra [2] y del paper de Small [1].

f_s : Frecuencia de resonancia.

R_{es} : Dual eléctrico de la resistencia de suspensión por pérdidas.

R_e : Resistencia de la bobina a corriente continua.

S_d : Area efectiva proyectada del diafragma.

Q_{es} : Medida del control que efectúa la suspensión mecánica sobre el cono.

Q_{ms} : Medida del control que efectúa la suspensión eléctrica del sistema.

Q_{ts} : Q total considerando mecánico y eléctrico.

V_{as} : Volumen de aire con igual compliancia acústica que la suspensión.

η_0 : Eficiencia o rendimiento. Porción de la potencia entregada que es efectivamente transformada en presión sonora.

X_{MAX} : Desplazamiento límite del diafragma.

L_e : Inductancia de la bobina.

Bl: Producto del flujo magnético en el entrehierro con el largo del bobinado.

3. EQUIPAMIENTO UTILIZADO

Para la realización de todas las experiencias se requirió el siguiente equipamiento:

- Macbook Pro con Smaart y LIMP
- DATS
- Interfaz de audio ART DualPre
- Generador de señales GW Instek GAG-810
- Altoparlante 6.5" B&C 6MD38
- Altoparlante 18" B&C 18TBX100

- Osciloscopio analógico Sinometer YB4328
- Amplificador de audio Sony STR-DE315
- Multímetro digital UNI-T UT61D
- Resistencia R_{lim} comercial 68Ω
- Micrófono de medición

4. METODOLOGÍA UTILIZADA

4.1. Método con figura de Lissajous

La figura de Lissajous, lograda en el osciloscopio es resultado de la comparación de fase de dos señales, pudiendo tomar diversas formas, como se observa en la Figura 1.

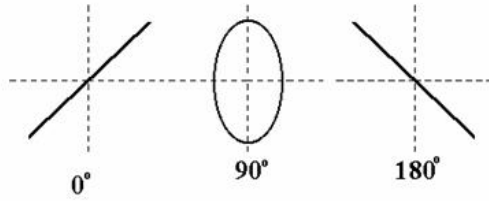


Figura 1: Figuras de Lissajous.

Para lograr su visualización se utiliza el conexionado esquematizado en la Figura 2.

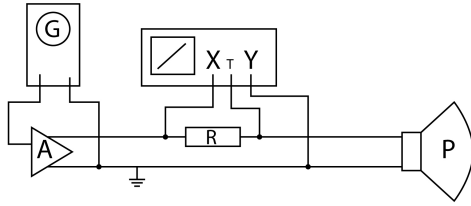


Figura 2: Conexionado para visualizar figuras de Lissajous.

G representa el generador de señales, A el amplificador, R la resistencia R_{lim} y P el altavoz. Es preciso destacar la importancia de la conexión de la señal de masa (T) del osciloscopio para referencia de las otras entradas. La conexión a tierra del osciloscopio debe estar desconectada de la red eléctrica, lo que se logra mediante un adaptador de conexión eléctrica. El altavoz se suspende del techo para no limitar su movimiento.

Previo a la realización del circuito se mide el valor exacto de R_{lim} con el multímetro. Se varía la frecuencia del generador hasta ver las señales en fase, según la figura de Lissajous. Se sabe que allí el sistema se encuentra trabajando en su frecuencia de resonancia y se mide la tensión sobre el altavoz, Y. Se define

entonces R_p como:

$$R_p = R_e + R_{es} \quad (1)$$

Conociendo la tensión eléctrica de entrada al circuito, X, se puede calcular ese valor despejando del divisor de tensión logrado:

$$\frac{X}{Y} = \frac{R_p}{R_p + R_{lim}} \quad (2)$$

Para calcular Q_{es} y Q_{ms} es necesario también medir dos frecuencias, f_1 y f_2 . Estas son las correspondientes a la tensión eléctrica V_r :

$$V_r = V_g \frac{R_e \sqrt{r_0}}{R_{lim} + R_e \sqrt{r_0}} \quad (3)$$

Donde se define r_0 como:

$$r_0 = \frac{R_{es} + R_e}{R_e} \quad (4)$$

Una vez medido, se procede al cálculo de los valores Q a través de:

$$Q_{ms} = \sqrt{r_0} \frac{f_2}{f_2 - f_1} \quad (5)$$

$$Q_{es} = \frac{Q_{ms}}{r_0 - 1} \quad (6)$$

Es posible así calcular también V_{as} obteniendo inicialmente C_{ms} a través de:

$$f_s = \sqrt{\frac{1}{M_{md} C_{ms}}} \quad (7)$$

$$M_t = M_{md} + M_a \quad (8)$$

Donde M_t es la masa total del sistema, M_{md} es la masa del diafragma y M_a se define:

$$M_a \cong 3.15 a^3 \quad (9)$$

Con a como radio efectivo del parlante. Agregando la masa conocida de 20 gramos, M_x sobre el diafragma, se sabe:

$$f'_s = \sqrt{\frac{1}{(M_{md} + M_x) C_{ms}}} \quad (10)$$

Así se puede obtener:

$$M_{md} = \frac{M_x}{\frac{f_s^2}{f'^2_s} - 1} - M_a \quad (11)$$

Se puede calcular V_{as} como:

$$V_{as} = 140000 S_d^2 C_{ms} \quad (12)$$

Finalmente, el rendimiento puede aproximarse:

$$\eta_0 = \frac{27.3 f_s^3 S_d^2 C_{ms}}{Q_{es}} \quad (13)$$

4.2. Método con software LIMP

La Figura 3 muestra el conexionado para la medición con LIMP.

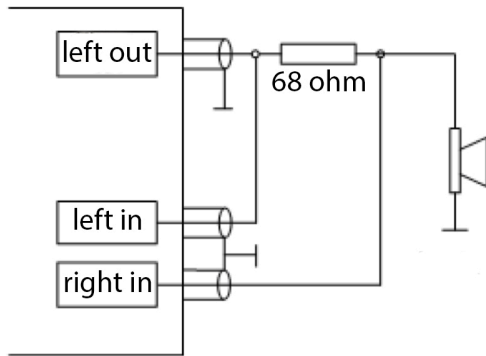


Figura 3: Esquema de conexionado para medición con software LIMP.

El software genera la señal que se rutea de la salida de línea L de la interfaz de audio hacia el altoparlante en prueba a través del paso por R_{lim} . En simultáneo, las entradas de línea de la interfaz funcionan como antes lo hacían las puntas del osciloscopio, por lo que también sus masas son puestas en cortocircuito.

Luego de calibrar el sistema de medición se configuran las especificaciones para la prueba. Se elige trabajar con el modo *step sine* para lograr mejorar la relación señal-ruido para la medición, en lugar del modo *FFT* con señal de ruido rosa. Así el software realiza el barrido y las mediciones correspondientes y genera la curva de impedancia.

Para la obtención de los parámetros de Thiele y Small es necesaria la implementación del método de masa agregada, generando la nueva curva de impedancia en forma automática y calculando los parámetros.

4.3. Método con DATS

La medición con DATS (Dayton Audio Test System) simplifica el circuito de la figura 3, resumiendo todo en un único elemento que se conecta a la computadora a través de la interfaz de sonido. Conectando los extremos dados al parlante, con el software LIMP se logra trazar nuevamente la curva de impedancia en función de la frecuencia.

4.4. Método con Smaart

Se realiza la conexión como se muestra en la Figura 4.

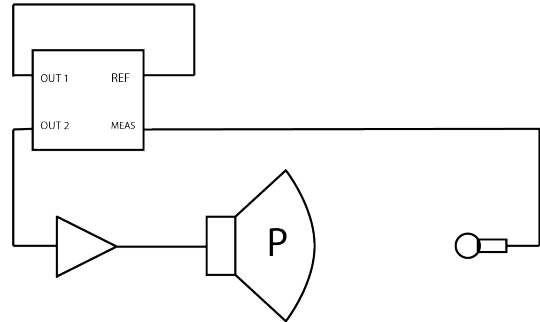


Figura 4: Conexión con software Smaart.

Se realiza en el software Smaart la función de transferencia entre las señales *REF* y *MEAS* que representan la referencia y la medición respectivamente. Con la emisión de ruido rosa en ambas salidas se compara la señal sin procesamiento con la que pasa por amplificador, parlante, recinto de medición, micrófono de medición e interfaz de audio.

Con el micrófono a 50 cm del altoparlante, se mide la respuesta en frecuencia del transductor.

5. RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los resultados medidos y calculados para el altoparlante B&C 6MD38 de 6.5”.

Tabla 1: Parámetros de Thiele-Small para B&C 6MD38.

Parámetro	Valor medido - calculado	Valor medido con LIMP	Valor Medido con DATS	Valor del fabricante
f_s [Hz]	153.85	161.58	163.5	130
R_e [Ω]	5.7	5.7	5.7	5.7
Q_{es}	0.47	0.62	0.63	0.49
Q_{ms}	5.54	6.17	5.02	3.7
Q_{ts}	0.43	0.56	0.56	0.44
V_{as} [litros]	2.39	3.03	-	2.83
S_d [cm ²]	147.41	147.41	-	132
M_{ms} [kg]	0.014	0.0097	-	-
C_{ms} [m/N]	0.00016	0.0001	-	-
R_{ms} [kg/s]	-	1.65	-	-
X_{MAX} [mm]	-	-	-	2
Bl [Tm]	-	-	9.73	10.5
L_e [μ Hy]	-	223,29	720	250
η_0 [%]	3.73	2.07	-	1.4

Se muestra en la Figura 5 el resultado de las curvas de impedancia en función de la frecuencia obtenidas por las mediciones en LIMP.

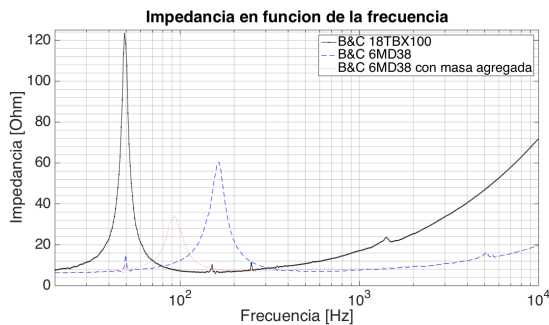


Figura 5: Impedancia en función de la frecuencia para varios altoparlantes, medido con LIMP.

Se observa en la Figura 6 la impedancia en función de la frecuencia para B&C 6MD38 medido con DATS.

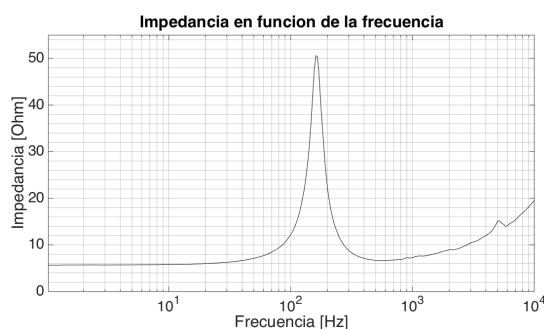


Figura 6: Impedancia en función de la frecuencia para B&C 6MD38, medido con DATS.

La Figura 7 muestra la respuesta en frecuencia con y sin baffle.

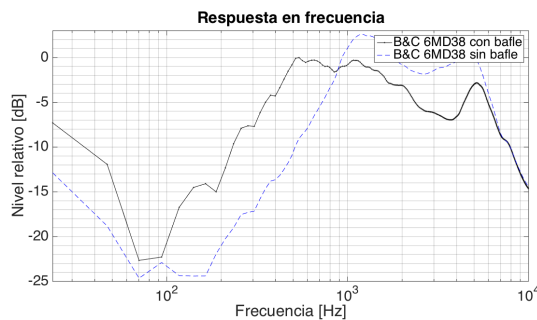


Figura 7: Respuesta en frecuencia con y sin baffle

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El valor obtenido para f_s encuentra diferencia entre los métodos computacionales y el método “clásico”. Asimismo, todos son mayores al dado por el fabricante. Podría considerarse más confiable el resultado dado por LIMP y DATS tiene métodos de cálculo más complejos y no requieren interpretación de la experimentación mientras se realiza. Es decir, no sucede como en el método clásico donde es necesario observar la figura de Lissajous y luego buscar valores en instrumental de medición, la computadora realiza la obtención de datos en forma autónoma.

Q_{es} presenta una particularidad en los resultados, ya que el valor obtenido por el método “clásico” es del orden del dado por el fabricante, mientras que el proveniente de LIMP o DATS difiere hasta en un 25%.

En Q_{ms} se obtienen valores más altos que los dados por el fabricante, pero como es un valor que no influye en el Q_{ts} como lo hace Q_{es} , la diferencia no reviste tanta importancia.

El valor obtenido por LIMP para V_{as} es bastante similar al dado por el fabricante, que es un dato que es útil para el diseño de un gabinete acústico con este tipo de parlantes.

S_d probablemente difiere el dado por el fabricante debido al método de medición implementado por ambos, o por la consideración de punto límite para superficie del diafragma.

En DATS se obtiene un dato probablemente erróneo de L_e , debido a que el dado por el fabricante se asemeja al obtenido por LIMP.

El rendimiento menor en la comparación resulta ser el dado en las especificaciones del fabricante, mientras que los ensayos dan mejores valores. De todos modos, es probable que sea una incoherencia de los métodos aplicados, pero dan valores esperables, del orden que suelen estar los altoparlantes, que se sabe que son sistemas de muy bajo rendimiento.

La mayoría de las diferencias pueden ser por la implementación de métodos diferentes en la obtención de los parámetros Thiele – Small. Es importante considerar que las mediciones fueron llevadas a cabo en condiciones que no responden a las necesarias en un laboratorio de ensayos acústicos. Es decir, el tiempo de reverberación no era controlado, no hay criterio de diseño modal, poca aislación respecto del ruido externo y los participantes del experimento estaban presentes en el recinto de medición. Como el altoparlante es un sistema electro-mecano-acústico, las mediciones pueden ser influenciadas por ruido incidente sobre el parlante, movimiento mecánico indeseado o interferencias eléctricas.

7. CONCLUSIONES

Se logró obtener en forma exitosa los parámetros determinados por Thiele y Small para altavoces en baja señal. Al implementar métodos estandarizados, es posible llegar a un punto de comparación con los fabricantes, que se asume que implementan experimentos similares. Más allá de encontrar discrepancias entre los resultados y los datos provistos, se encuentran valores que son del orden esperable, pueden ser útiles para el diseño de gabinetes. Es importante validar este tipo de ensayos, ya que son de realización sencilla con instrumental accesible y se puede caracterizar un transductor en forma rápida y precisa.