

TRABAJO PRÁCTICO 3: MEDICIÓN DE DRIVER DE COMPRESIÓN Y BOCINAS

JONATHAN D. FREIDKES¹

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

Resumen – Se realiza el presente trabajo con el fin de visualizar y verificar empíricamente el funcionamiento del driver de compresión, su impedancia, su respuesta en frecuencia y la interacción con la bocina en su salida. Se experimenta con dos tamaños posibles de bocina: una coincidente con la boca de salida del transductor y otra de boca más grande. Se analizan las influencias de ambas en la impedancia total del transductor, se obtiene la respuesta al impulso del driver de compresión sin bocina y se mide la directividad del mismo, con bocina acoplada, tanto en su extensión vertical como horizontal. Se logra así trazar un diagrama de directividad del driver analizado con la bocina correspondiente en todo el rango de aplicación.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Como fue demostrado en trabajos anteriores, los parámetros de Thiele-Small son de utilidad a la hora de comparar distintos transductores y realizar un diseño de gabinete acústico. También se ha expuesto respecto de los beneficios de aplicar métodos de medición computarizados, a través del software LIMP y el simple circuito asociado, que calcula y mide valores confiables y precisos de manera sencilla y rápida. En el caso de los driver de compresión, sin embargo, es más complicada la medición ya que las dimensiones con las que se trabaja (diafragma, cámara de compresión, corrector de fase) son muy reducidas. Esto lleva a que hayan ciertos valores que no pueden ser obtenidos, ya que no es posible implementar el método de masa agregada, pero de todos modos dan un marco de referencia para ciertos cálculos y diseños. También sucede aquí que a diferencia de los parlantes, la curva de impedancia de driver no tiene un único máximo pronunciado, sino que suelen darse varios picos en simultáneo por lo que otro objetivo del trabajo es obtener la respuesta de impedancia y analizar su comportamiento.

Como es conocido a nivel teórico, la implementación de bocina es necesaria para el correcto funcionamiento del driver de compresión, por lo que otro objetivo es el análisis de su comportamiento con y sin la misma para evidenciar su necesidad y los beneficios que trae. Asimismo, la bocina es el elemento que define principalmente la directividad, tanto a nivel vertical como horizontal, por lo que se analiza su comportamiento y su eficiencia en la contención del campo acústico desarrollado. Por otra parte se analiza el acoplamiento entre la bocina y el driver de compresión, observando el comportamiento en bocas coincidentes y luego en el caso de bocina con boca

mayor a la salida del driver con el fin de visualizar las diferencias entre acoplamientos coincidentes o de bocas de distinto tamaño.

2. MARCO TEÓRICO

El driver de compresión es un transductor para alta frecuencia de radiación indirecta. La parte trasera del diafragma radia hacia una cámara de compresión rellena con material absorbente para evitar reflexiones internas que afecten la respuesta en frecuencia del sistema y con el fin también de controlar la adaptación de impedancia. Se acopla la bocina al driver a través de la boca, que debiera ser de tamaño y forma coincidente para evitar difracciones de borde, ondas estacionarias dentro de la zona de unión, o cualquier otro tipo de problema que afecte el funcionamiento normal del transductor.

La bocina permite que el driver se encuentre cargado con la energía reactiva equivalente a la presente en la boca de salida de la bocina, donde la radiación será más efectiva que en el caso sin bocina, se extiende el rango hacia baja frecuencia y se supone una mejora la respuesta general del sistema. Esto también logra una adaptación de impedancia acústica a través del cambio de velocidad en las partículas en el driver, aumentando la misma en la garganta. Existe un corrector de fase entre el driver de compresión y la boca de la garganta que genera un frente de onda plano y de acuerdo a la forma de crecimiento y largo de la bocina, se determinará en gran parte el funcionamiento del transductor y su extensión en baja frecuencia.

Los diagramas de directividad permiten la visualización del comportamiento del transductor en función de tres variables relevantes: frecuencia, amplitud y ángulo de radiación. Es fácilmente observable la respuesta en frecuencia del transductor

en cada ángulo de análisis, respecto de la posición frontal (cero grados). Esta imagen permite la visualización de la apertura lograda por el conjunto driver-bocina y su evolución en cada frecuencia de análisis.

2.1. Parámetros Thiele – Small

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

- Computadora de escritorio con software Smaart, Arta y LIMP.
- Interfaz de audio Digidesign Digi 003.
- Driver de compresión B&C DE10-8.
- Multímetro UNIT UT-61D
- Bocina de directividad constante. Desarrollo lineal vertical y exponencial horizontal.
- Amplificador de potencia Peavey.
- Resistencia R_{lim} comercial 100 Ω (valor medido con multímetro: 99.5 Ω).
- Micrófono de medición Earthworks con soportes.
- Cableado de señal balanceada y desbalanceada.
- Mesa giratoria Outline ET250-3D.
- Bocina de boca 12 cm x 12 cm con 9 cm de largo. Vertical lineal, horizontal exponencial.
- Bocina de boca 24 cm x 27 cm con 31.4 cm de largo. Vertical lineal, horizontal exponencial.

4. METODOLOGÍA IMPLEMENTADA

4.1. Método con software LIMP

La Figura 1 muestra el conexionado utilizado para la medición con LIMP.

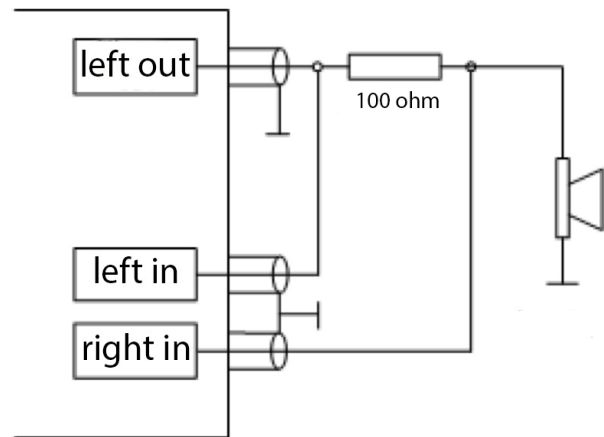


Figura 1: Esquema de conexionado para medición con software LIMP.

El software genera la señal que se rutea de la salida de línea L de la interfaz de audio hacia el dispositivo en prueba a través del paso por R_{lim} . En simultáneo, las entradas de línea de la interfaz funcionan en modo similar a las puntas de un osciloscopio, por lo que también se comparte la masa internamente con la salida que esta conectada al driver. Se eligió ese valor de resistencia con el fin de optimizar la circulación de corriente por los componentes y las impedancias de salida de la interfaz, ya que es importante considerar que el instrumental no es dedicado para este tipo de mediciones. Sin embargo, con un valor como el elegido, los resultados son exactos y no se sobre-exige al instrumental involucrado, ya que se involucra baja magnitud de corriente a través de la interfaz.

Inicialmente se realiza la calibración del sistema para que ambos canales trabajen con la misma ganancia durante la medición. Como fue demostrado en el primer trabajo práctico de la materia, la utilización de la señal *step sine sweep* puede ser beneficioso en términos de relación señal a ruido durante la medición, especialmente en recintos que distan de condiciones ideales. De todos modos para optimizar el tiempo disponible para la realización de las experiencias, la señal elegida para la excitación fue el ruido rosa. Los resultados obtenidos no son tan lejanos a los que se podrían obtener con el sweep, pero en cuanto a tiempos de

medición y procesamiento, es mucho más veloz.

4.2. Método con Smaart

Para la medición acústica de respuesta en frecuencia se realiza la conexión como se muestra en la Figura 2.

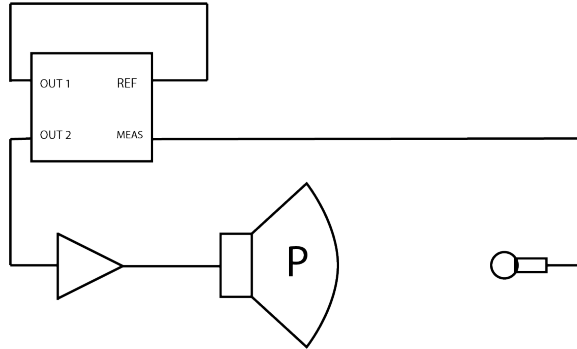


Figura 2: Conexión con software Smaart.

Se realiza en el software 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, capacitores, driver, bocina recinto de medición, micrófono de medición, cableado e interfaz de audio.

4.3. Medición con Arta.

Se utiliza una simple conexión para la medición con este sistema que consiste en la amplificación de una señal (*sine sweep*) generada por software desde la salida de la interfaz, a través del amplificador de potencia Peavey hacia el transductor. Se mide con un micrófono direccionado hacia la fuente, cuya señal es tomada por la interfaz en una de sus entradas. Se genera señal de ruido rosa y tras un promediado de señal (en este caso con 3 promedios), el programa genera por cálculo la respuesta al impulso para cada posición deseada a través de la aplicación del filtro inverso al sweep y la convolución de señales. Se utiliza la mesa giratoria para tener precisión en la rotación de ángulo y barrer una superficie de 180 grados (+/- 90). Con el nombre de archivo tal como lo exige el programa, se calcula el diagrama de directividad.

Se coloca material absorbente sobre la mesa giratoria para evitar influencias de reflexiones dadas por la misma y se sostiene el transductor a través de una base a 20 cm de altura para que la apertura de la bocina sea evidente en la medición. Se encuentran

problemas de diafonía al momento de iniciar la experiencia, ya que la señal de micrófono que solo debe ser grabada, vuelve a ser reproducida por el transductor, efecto indeseado que se torna inevitable.

Se utiliza un filtrado pasa-altos de primer orden de la señal mediante la colocación de un capacitor en serie con la señal para evitar que el driver reproduzca frecuencias que podrían afectar su funcionamiento, en el rango de media y baja frecuencia. Para ello se utilizan 3 capacitores en paralelo de polyester con un valor de capacidad total de 3 μ F.

Se elige para la medición de directividad una distancia entre el micrófono y fuente de 154 cm aproximadamente para permitir que el driver desarrolle la energía acústica en el recinto y se pueda tener una medición del sistema completo en los 180 grados totales de giro en pasos de 10 grados.

5. RESULTADOS

El cálculo del software LIMP permite obtener algunos parámetros Thiele-Small del driver analizado, que se muestran en la Tabla 1 en condición sin bocina.

Parámetro	Valor medido
f_s	1626.52 Hz
R_e	5.7 ohm
L_e	24.66 μ H
Q_{ts}	1.41
Q_{es}	1.85
Q_{ms}	5.95

Tabla 1: Parámetros Thiele-Small para B&C DE10-8 con software LIMP.

Se limita la visualización de los gráficos en el rango de 1 KHz a 20 KHz para centrar el análisis en la banda de frecuencias que serán de uso para el driver. No tendría mucho sentido que reprodujera señales de media-baja y baja frecuencia, ya que no es el fin del diseño de drivers, transductores dedicados para alta frecuencia.

La Figura 3 muestra la curva de impedancia obtenida con el programa LIMP y en la Figura 4 se observa su fase correspondiente.

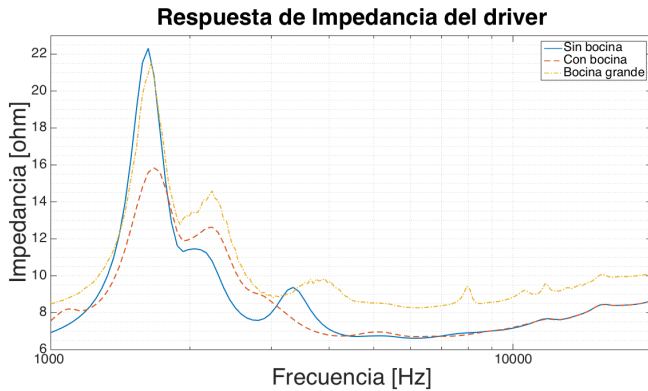


Figura 3: Curva de impedancia para el driver medido. En trazo azul continuo se observa el driver sin bocina, en trazo rojo interrumpido el caso con bocina de boca coincidente y el trazo naranja interrumpido con punto muestra el caso de una bocina de boca mayor a la salida del driver.

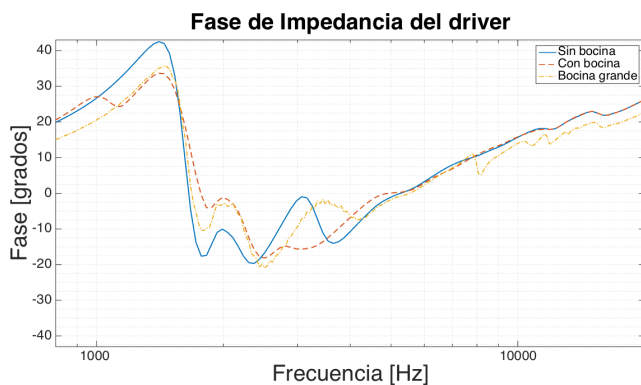


Figura 4: Curva de fase de impedancia para el driver medido. En trazo azul continuo se observa el driver sin bocina, en trazo rojo interrumpido el caso con bocina de boca coincidente y el trazo naranja interrumpido con punto muestra el caso de una bocina de boca mayor a la salida del driver.

Se mide luego la respuesta en frecuencia del radiador con y sin bocina a través de medición en transferencia y se muestra el resultado obtenido en la Figura 5. También se visualiza la respuesta en frecuencia dada por Arta a través de la medición de respuesta al impulso.

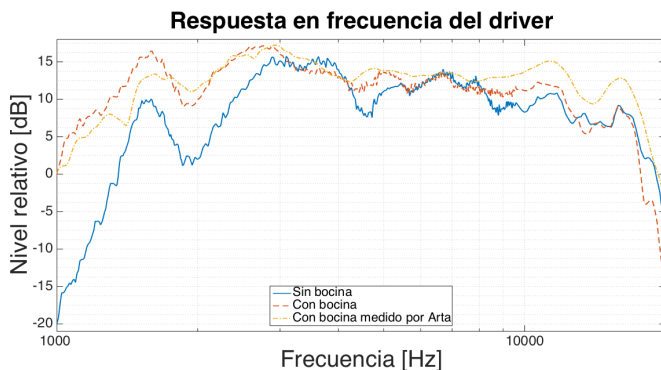


Figura 5: Curva de respuesta en frecuencia para el driver medido. En trazo azul continuo se observa el driver sin bocina y en trazo naranja interrumpido el caso con bocina de boca coincidente.

A continuación se muestran los resultados de medición de directividad. La Figura 6 muestra la directividad horizontal y la Figura 7 la directividad vertical.

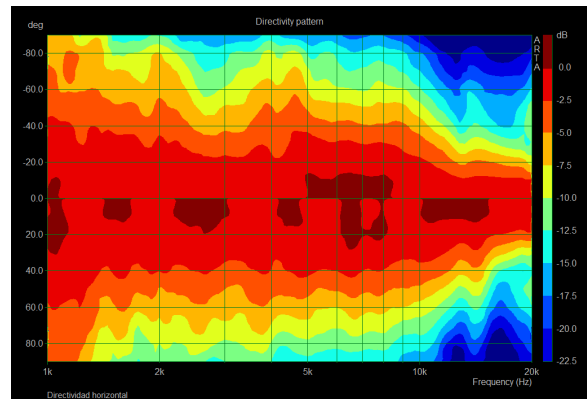


Figura 6: Directividad horizontal para el driver medido.

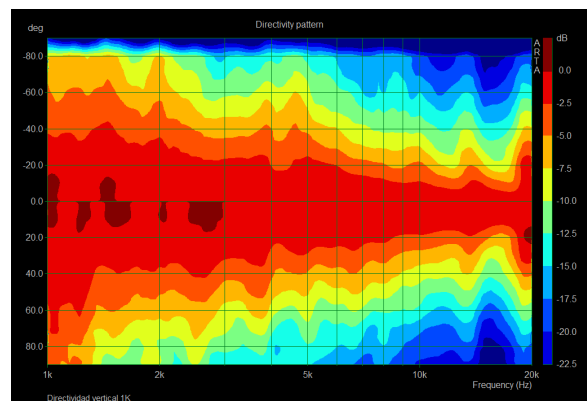


Figura 7: Directividad vertical para el driver medido.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los datos obtenido, es importante considerar que las mediciones fueron llevadas a cabo en condiciones que no responden a las necesarias en un laboratorio de ensayos acústicos. Principalmente, el recinto de medición dista de un lugar ideal para mediciones acústicas: pobre aislación, tratamiento acústico interno nulo, tiempo de reverberación no controlado y falta de criterio modal en el diseño. Como el driver, al igual que el parlante, es un sistema electro-mecano-acústico, las mediciones pueden ser influenciadas por ruido incidente, movimiento mecánico indeseado sobre la superficie de apoyo o interferencias eléctricas en el sistema de medición. De todos modos, con esta consideración, la metodología implementada apunta a técnicas de maximización de la relación señal-ruido, por lo que los resultados obtenidos son confiables. Asimismo, como en toda medición científica, existe un grado de incertidumbre dado por el instrumental, el ambiente de medición, los métodos aplicados y muchos otros factores. Por lo tanto, por más precisión de cálculo que se pueda tener, los resultados están

sujetos a cierto margen de error por la medición implementada.

Todas las mediciones de respuesta en frecuencia fueron realizadas en modo transferencia, con el beneficio de tener independencia de la señal de prueba, ya que se compara la señal de referencia con la de prueba, atribuyéndole a esta última toda la alteración de la señal de salida del software. Otro beneficio de este método es la medición en condición de fase mínima: todo retardo se le atribuye al sistema, no a la electrónica involucrada.

La elección de la posición del micrófono para las mediciones acústicas responde principalmente a una decisión tomada como solución de compromiso. En el caso de respuesta en frecuencia se elige una distancia más cercana, sobre el eje de la bocina, pero para la medición de directividad, se opta por un lugar más distante para minimizar las diferencias de distancia al girar el driver, respecto de la distancia fuente-micrófono en cada giro de la mesa.

Las curvas de impedancia obtenidas evidencian las características estudiadas de los drivers de compresión. Se encuentran varios picos sucesivos luego de uno “principal” y luego el típico incremento proporcional a la frecuencia, encontrado en estos transductores principalmente por accionar de L_e . En cuanto a la bocina coincidente, se nota una importante disminución del valor máximo de impedancia, reducido aproximadamente en un 30% y con un aumento leve en frecuencia. Se observa también un incremento de módulo en el segundo lóbulo pero una disminución importante en el tercero, para luego en alta frecuencia converger en forma asintótica a la curva sin bocina. En el caso de la bocina de boca mayor a la de salida del driver no se observa la disminución de la primera resonancia, pero sí un leve corrimiento en frecuencia. Asimismo, empeora en el resto del espectro analizado, incrementando también el valor luego de 4 KHz donde el resto de las curvas rondan los 7 ohm, y en este caso se está cerca de 9 ohm, alrededor de un 30% de aumento. Asimismo, este caso de no coincidencia trae varias irregularidades en la curva, especialmente en 3.5 KHz, 8 y 11 KHz, entre otros. Aquí se evidencia la necesidad, más allá de la comodidad mecánica, de tener una boca de salida del driver coincidente con la boca de entrada a la bocina para un correcto acoplamiento que no afecte al driver sin bocina.

La curva de fase permite el mismo análisis anterior, especialmente en las irregularidades presentadas por mal acoplamiento y evidencia que en la zona de 3 KHz, la implementación de bocina trae beneficios en la transición de -15 a -5 grados aproximadamente, que se observa más regular y “suave”.

La respuesta en frecuencia es coherente con la variación de impedancia ya que se observa en ambos gráficos la mejora de respuesta luego del primer

lóbulo de resonancia, lo que explica la diferencia de 20 dB en 1 KHz, inferior a f_s . Es evidente la extensión entre 1 y 3 KHz de la respuesta del sistema, mejorando en hasta 5 o 6 dB aproximadamente respecto de la condición sin bocina. Fuera de eso, en cuanto a comportamiento en frecuencia, las curvas son bastante similares en alta frecuencia especialmente, rango donde la bocina no influye sobre el sistema. Es notoria la irregularidad de la respuesta, cosa que inicialmente puede deberse a la falta de suavizado de la misma, pero es importante destacar que las curvas de transductores electroacústicos nunca son totalmente planas como algunos fabricantes proponen. De todos modos, la respuesta en frecuencia puede verse influenciada por reflexiones del recinto de medición, lo que puede generar cancelaciones y refuerzos en todo el rango de análisis. Se muestra también en la Figura 5 la respuesta en frecuencia obtenida por Arta a través del análisis de la respuesta al impulso en posición 0 grados. Al tener un promediado de 1/6 de octava, se observa un comportamiento más suave y más cómodo visualmente. Alrededor de 4.5 KHz se observan diferencias respecto de las mediciones de transferencia, por lo que se podría confiar allí más en el resultado dado por Arta. Esto se debe a que se toma la respuesta al impulso que se supone minimiza aún más la influencia del recinto, ya que se puede analizar casi exclusivamente la respuesta directa y filtrar las reflexiones con un ventaneo de señal adecuado. Sucede lo mismo alrededor de 2 KHz y por encima de los 8 KHz. Más allá de las diferencias presentadas, el desarrollo es similar pero con un desfase en ciertas frecuencias que llega hasta 10 o 12 dB.

Las Figuras 6 y 7 muestran las curvas de directividad dadas por Arta que permite la rápida visualización del comportamiento directivo del sistema analizado. En colores se puede ver el nivel de presión generado, permitiendo trazar curvas de igual nivel, y en la extensión vertical se da el ángulo del driver respecto del centro. Es notorio, como es de esperar que a medida que la frecuencia aumenta, el campo acústico deja de poder ser controlado y contenido por las paredes de la bocina, y su haz tiene cada vez menor ancho. Esto se observa principalmente por encima de 10 KHz en el caso horizontal y se evidencia aún antes en el análisis vertical. Al correrse del eje más de 20 grados en alta frecuencia se encuentran zonas donde la caída será superior a 6 o 7 dB aproximadamente. Se observa también falta de simetría en ambas figuras. Esto probablemente pueda deberse a un mal posicionamiento de micrófono, ya que parecen estar desfasadas las zonas 0 a +90 respecto de 0 a -90, logrando que las reflexiones tengan distintos tiempos de arribo y den esta información presentada.

En el caso horizontal, se observa que, considerando un margen de 6 dB, la bocina tendrá

una apertura de 160 grados como mejor punto en 1 KHz, luego un valor promedio que ronda los 60 u 80 grados hasta 10 KHz, donde la bocina ya casi no logra guiar el campo y se emite casi directamente desde el driver, ya no a través del transformador acústico. Es llamativo el incremento de apertura alrededor de 12 KHz que se refleja en ambas zonas, positiva y negativa, rompiendo la tendencia decreciente desde 4.5 KHz. De todos modos, este fenómeno es aún más notorio en el caso vertical, quizás debido al factor de forma de la bocina o a resultados incorrectos.

Como es de esperar, a nivel global, la apertura en el plano horizontal es mayor que la vertical en todo el espectro, elemento de diseño buscado, para poder distribuir mejor la presión sonora en un plano horizontal, donde es más crítico que el vertical a nivel cobertura de sistema respecto de oyentes, en las condiciones más comunes de uso. Se nota en ambos casos la tendencia en frecuencias superiores a 10 KHz a cerrar el haz de emisión y volverse casi un frente puntual.

Es importante notar que ambos gráficos son tomados en forma relativa al eje de 0 grados, a veces también denominado *on axis*, lo que se toma como valor 0 dB y se observan los incrementos y pérdidas respecto de este eje.

Los errores (o valores no esperados) en el gráfico pueden tener variado origen: error de cálculo, mal posicionamiento del micrófono en la sala (mucha influencia de la misma), problemas por la diafonía detectada y otras.

7. CONCLUSIONES

Tal como se logró en trabajos anteriores de la materia, los parámetros en este caso mensurables de Thiele-Small fueron sencillamente obtenidos gracias a las facilidades del software utilizado y su breve circuito asociado. Este conexionado también permitió medir las curvas de impedancia en forma veloz y precisa, obteniendo valiosa información en poco tiempo.

Se pudo evidenciar la influencia de la bocina en el driver en cuanto a su extensión de respuesta en media frecuencia y sus cambios en impedancia. Se evidenció también la diferencia entre acoplamientos de bocinas, en el caso coincidente y no coincidente.

Sin embargo, la respuesta en frecuencia presenta muy poca claridad respecto del funcionamiento del sistema analizado y en comparación con y sin bocina. Es conocido que el driver de compresión no es un sistema de respuesta en frecuencia totalmente plana, sino que es útil en términos de sensibilidad y efectividad de radiación. Es por eso que tiene aplicación principal en sistemas de refuerzo sonoro donde se prioriza la potencia desarrollada frente a otras condiciones del equipamiento. En casos *hi-fi* o profesionales en bajo nivel (usado en estudios de grabación y mezcla), se suele optar por otros

sistemas: sistemas de cinta o tweeters de radiación directa.

Los diagramas de directividad tienen problemas para su lectura por asimetrías y dan valores (superiores a 0 dB) que son producto de error en el proceso de medición o de cálculo del software utilizado. De todos modos marcan el camino para entender la apertura que logra la bocina en conjunto con el driver en la zona donde es más importante su análisis. Los resultados adversos en este caso están por fuera de la zona donde la directividad juega su rol más importante.

8. REFERENCIAS

- [1] Ruffa, Francisco; Sacerdoti, Eduardo. Apunte de la cátedra Electroacústica II, perteneciente a la carrera Ingeniería de Sonido, de la Universidad Nacional de Tres de Febrero. (2017)
- [2] Small, Richard H. "*Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis*". Journal of the Audio Engineering Society, Junio 1972.