

MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DRIVER-BOCINA

Calquin Facundo Epullan¹ y Agustín Galván²

¹Ingeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero
epullan44186@estudiantes.untref.edu.ar

²Ingeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero
agusgalvan1098@gmail.com

Resumen — Para la caracterización de un sistema compuesto por un driver de compresión y su respectiva bocina se realizó una medición de impedancia eléctrica sin y con el agregado de la última. Además con una serie de mediciones acústicas tanto en el plano horizontal como en el vertical se realizó el estudio de la direccionalidad del sistema además de estudiar el comportamiento del driver sin bocina. También se realizó la medición del ruido de fondo para corroborar las buenas condiciones ambientales para realizar las mediciones. El procesamiento de las mediciones se realizó mediante el desarrollo de un script en el lenguaje Python para la obtención de los gráficos de diagrama polar, contorno y respuesta en frecuencia con niveles reales para cada plano de estudio además de implementar un algoritmo de calibración o filtrado por bandas de tercio de octava del ruido de fondo.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se detalla tanto el procedimiento como el análisis de la medición de un sistema conformado por un driver de compresión y una bocina.

Con el fin de estudiar la direccionalidad del sistema, se llevó a cabo una serie de mediciones acústicas utilizando el software ARTA. Se rotó gradualmente el sistema en sentido vertical y horizontal, manteniendo el punto de medición fijo y especificando como eje de rotación el centro del plano correspondiente a la superficie de salida de la bocina. De esta manera se obtuvo la respuesta al impulso para cada ángulo considerado. Además, se midió la impedancia eléctrica del sistema con y sin bocina utilizando el software LIMP.

Luego, se desarrolló un script en Python para procesar las mediciones y obtener los gráficos correspondientes a la respuesta de impedancia del driver con y sin bocina, la direccionalidad del sistema tanto en sentido vertical como horizontal, la respuesta en frecuencia en dB SPL a ángulos de 0°, 15°, 30° y 45°, así como los diagramas polares y los gráficos de contorno. Por último, se obtuvo el nivel del ruido de fondo durante la medición filtrado por tercios de octava.

2. METODOLOGÍA

Para las mediciones se utilizó una notebook con los softwares LIMP y ARTA. Además, se requirió una placa de audio externa RME Fireface UCX, una mesa giratoria controlada por cable de red, un amplificador de potencia Powersoft M50Q, un multímetro, un micrófono de medición Earthworks M50, su respectivo calibrador un driver de compresión modelo DE64TN y una bocina ME60, ambos pertenecientes a la marca B&C Speakers.

2.1. Curvas de impedancia

Si bien la respuesta de impedancia no tiene gran relevancia para los análisis respectivos de este informe, por una cuestión de seguridad se analizaron las curvas para ubicar el pico de resonancia mecánica del driver de compresión, siendo posible aplicar un filtro pasa altos que evite su ruptura en dicha resonancia. En primer lugar, se calibraron los niveles de los dos canales de la interfaz. Luego, se definió dentro del programa una resistencia de referencia R_{ref} . Sin embargo, para corroborar que la medición se efectúe correctamente, fue necesario comparar el valor de una resistencia conocida con respecto a la constante de impedancia devuelta por el programa. La calibración se realizó de forma manual, modificando el valor de R_{ref} dentro de la configuración del software.

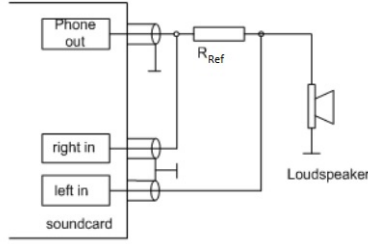


Figura 1: Diagrama de conexión a interfaz de audio

En la Figura 1 se puede observar la ruta de la señal. A continuación, se generó un barrido de frecuencia escalonado a razón de 1/24 de octava, obteniendo la curva de impedancia característica del driver. Posteriormente se colocó la bocina sobre el driver y se obtuvo la respuesta de impedancia de todo el sistema.

2.2. Gráficos de directividad del sistema

Como primer paso se colocó el sistema sobre una plataforma giratoria con la finalidad de obtener 37 mediciones de respuesta al impulso, siendo 37 el número de rotaciones de la mesa giratoria desde 0° a 180° (pasos de a 5°). Sin embargo, primero fue necesario establecer el eje y distancia de medición. Tal como se mencionó previamente, para el sistema completo la distancia de medición respecto al micrófono fue considerada respecto al centro del plano vertical que representa la superficie de salida de la bocina. En la tabla 1 se muestran las dimensiones de la bocina, donde se observa que la mayor de ellas corresponde a la diagonal.

Tabla 1: Medidas de la bocina.

Dimensión	Medida [mm]
Diámetro garganta	50,8
Ancho	270
Alto	237
Profundidad	202
Diagonal (frente)	345

Realizando una analogía con la distancia de medición far-field de los altoparlantes, se consideró tres veces la mayor de las dimensiones de la superficie de salida de la bocina para establecer la distancia al micrófono. Dicho criterio surge a partir de la intención de que las dimensiones del sistema mantengan su incidencia en la respuesta de frecuencia, polar y de contorno. Finalmente, el micrófono se colocó a 1 metro (la misma distancia fue considerada para las mediciones de directividad del driver sin bocina). Sin embargo, al tratarse de mediciones de respuesta al impulso es necesario aplicar una ventana que elimine la incidencia de las reflexiones y modos. Dicha ventana será de una única duración para todos los ángulos, por lo que su longitud máxima estará definida por la

reflexión más próxima de las 37 mediciones. Las distancias desde el centro de la superficie de salida de la bocina hasta las superficies más cercanas fueron las presentadas en la Tabla 2:

Tabla 2: Distancias a las superficies más cercanas.

Superficie	Medida [m]
Techo	1,35
Piso	1,17
Pared derecha	1,25
Pared izquierda	1,55

Entonces, teniendo en cuenta que la reflexión más cercana será la correspondiente a la superficie del piso, se puede calcular el diferencial de tiempo entre incidencia directa y reflexión:

$$d_{ref} = 2 * \sqrt{(0,5 \text{ m})^2 + (1,17 \text{ m})^2} = 2,54 \text{ m} \quad (1)$$

Donde d_{ref} es la distancia recorrida por onda reflejada en la superficie más cercana. Entonces, el tiempo de vuelo de la onda reflejada será $t_{ref} = 7,4 \text{ ms}$ considerando una velocidad del sonido de $343 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Por otro lado, el tiempo de de vuelo de la incidencia directa será $t_{dir} = 2,9 \text{ ms}$ (distancia recorrida de 1 metro). Entonces la longitud de la ventana deberá ser de $\Delta T = t_{ref} - t_{dir} = 4,5 \text{ ms}$. Sin embargo, se espera un cierto margen de error dado por las faltas de precisión a la hora de medir distancias y de colocar el centro de superficie de la salida de la bocina como eje de rotación. A continuación, se generaron 2 barridos de frecuencia por rotación de la mesa giratoria, obteniendo un promedio de respuesta al impulso por cada 5°. Las mediciones fueron efectuadas tal como se especifica en los siguientes ítems:

- Driver sin bocina: Se colocó el driver en el borde de la plataforma, considerando el centro de la superficie de salida de la cámara de compresión como eje acústico. El objetivo de esta medición es comparar la directividad del driver sin bocina con el driver conectado a su respectiva bocina.
- Medición del eje horizontal y vertical con bocina: es necesario establecer qué criterio se utilizó para especificar qué es radiación horizontal y qué es radiación vertical según la geometría de la propia bocina.



Figura 2: Imagen de la bocina utilizada

En la Figura 2 se observa que en la denominada dimensión horizontal el ángulo de apertura es mayor que el ángulo referido a la dimensión vertical. Por ende, se espera que la directividad sea más abarcativa en las mediciones angulares correspondientes a su dimensión horizontal que las de su dimensión vertical (ésta última aportará un mayor control directivo). Además, próxima a su superficie de acoplamiento con el driver se encuentra una reducción del área, la cual cumple la función de aportar efectos de difracción para aquellas frecuencias cuya longitud de onda es menor a la superficie de acoplamiento, siendo para dichas frecuencias invisible la bocina sin el estrechamiento de área propuesto por *B&C Speakers*. Entonces, manteniendo siempre la misma posición del micrófono se realizaron las 37 mediciones para obtener la directividad horizontal y luego la vertical.

2.2.1. Patrón Polar

Para generar éste gráfico fue necesario exportar cada una de las mediciones de respuesta al impulso para luego establecer una matriz con los valores de amplitud para cada uno de los 37 ángulos medidos. Luego se realizó un recorte de toda la matriz para excluir el efecto de la sala. Luego, se convirtieron las amplitudes de voltios a dBV. A continuación, se le aplicó la transformada rápida de Fourier a cada medición, obteniendo la respuesta en frecuencia. Dicha respuesta en frecuencia fue representada a partir de la cantidad de ciclos por segundo elegidos para no excitar al driver en su frecuencia de resonancia mecánica. Como siguiente paso se normalizaron las amplitudes entre 0 y 1 para obtener una representación en un círculo unitario. Finalmente, se procedió a seleccionar 4 frecuencias representativas del sistema para generar el patrón polar.

2.2.2. Gráfico de contorno

Tanto para este gráfico como para el correspondiente al de patrón polar, fue necesario espejar la matriz sobre aquella fila correspondiente al ángulo 0 para obtener una

respuesta de directividad simétrica que abarque los 360° (se espera que la directividad sea la misma de -180° a 0° que la de 0° a 180° dada su simetría geométrica). Luego, ingresando los ejes a graficar (frecuencia, ángulos y amplitudes) se obtuvo el gráfico de contorno, correspondiendo el eje x a las frecuencias, el eje y a los ángulos y la escala de colores a las amplitudes. Por otro lado, el gráfico fue normalizado respecto al eje de 0° para evitar que a la curva de directividad se le sume la curva de respuesta en frecuencia (para el análisis de este informe se pretende encontrar el ángulo de apertura correspondiente a la caída de -6 dB).

2.3. Respuesta en Frecuencia

Los análisis realizados se han hecho sobre mediciones referenciadas a la respuesta del sistema en el eje. Para un análisis en mayor profundidad y la comprensión de las limitaciones y condiciones de uso del sistema, es necesario obtener la curva de respuesta en frecuencia a diferentes ángulos. Para la obtención de esta curva, es parte de la medición sobre el eje y se calcula su espectro utilizando la transformada de Fourier. Sin embargo, para expresar esta curva en términos de dB SPL reales, es decir, en niveles de presión referenciados a $20 \mu Pa$, es necesario realizar una calibración al sistema de medición.

Para el proceso de calibración, se utilizó el sistema de medición sin modificar ninguna parte de la cadena ni sus niveles y se midió un tono a $1 kHz$ con un nivel de $94 dB SPL$ provista por un pistófono *Svantek SV 36*. Dado que la placa realiza mediciones de niveles de tensión, se puede convertir las mediciones eléctricas a mediciones de presión utilizando una regla de tres simples: si a los $94 dB SPL$ les corresponde $x_c V/Pa$, entonces es posible obtener las mediciones en pascas dividiendo las señales por el valor de x_c tal como muestra la ecuación (2).

$$s [Pa] = \frac{s [V]}{x_c [V/Pa]} \quad (2)$$

Este proceso se aplica a cada respuesta al impulso correspondiente a los ángulos de 15° , 30° y 45° fuera del eje tanto en plano horizontal como el vertical para luego obtener la respuesta en frecuencia en niveles SPL con la presión de referencia de $20 \mu Pa$.

2.4. Ruido de fondo en tercios de octava

Con el fin de poner la medición en contexto se realizó la medición del piso de ruido presente en el entorno en el momento de las mediciones de directividad. Para ello se realizó la grabación de un audio de $10s$ de duración que posteriormente, mediante el procesamiento realizado por un código desarrollado en *Python*, se le extrajo el nivel continuo equivalente (L_{eq}) filtrado por bandas de tercios de octava.

Para poder representar correctamente el valor L_{eq} del ruido de fondo, en primer lugar fue necesario realizarle una calibración siguiendo la ecuación (2). Luego se realizó el filtrado por bandas de tercio de octava empleando un filtro Butterworth de sexto orden. Dado que las mediciones de directividad fueron realizadas a partir de 600 Hz, no se tienen en cuenta las bandas por debajo de esta frecuencia.

Por último, por cada banda filtrada se obtuvo el nivel continuo equivalente siguiendo la ecuación (3) y posteriormente se representó su nivel en un gráfico de barras.

$$L_{eq} [dB] = 20 \cdot \log \left(\frac{Señal_{RMS}}{20 \mu Pa} \right) \quad (3)$$

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la presente sección se muestran los resultados de cada una de las mediciones.

3.1. Curvas de impedancia

3.1.1. Driver sin bocina

Antes de realizar las mediciones, se colocó una resistencia de referencia $R_{ref} = 5,4 \Omega$ tal como lo indica la Figura 1. A continuación se reemplazó la impedancia del transductor por una resistencia de 26,7 Ω para calibrar la referencia de impedancia. El valor de referencia ingresado en LIMP para obtener una constante acorde al valor real de resistencia fue de 4,9 Ω . En la Figura 3 se presenta la curva de impedancia del driver sin colocar la bocina.

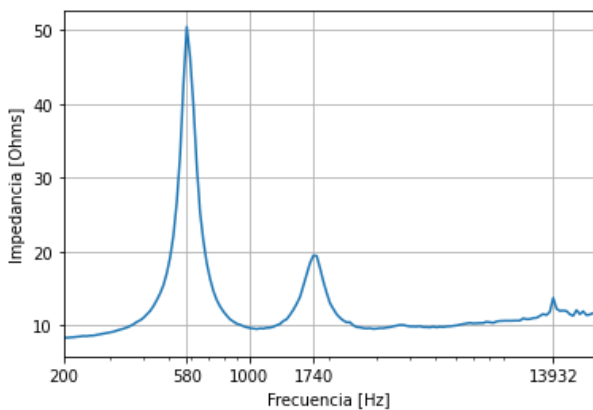


Figura 3: Curva de impedancia del driver

La resistencia medida con el multímetro sobre las borneras del driver fue de $R_e = 6,1 \Omega$. Se observa el pico de resonancia mecánica en los 580 ciclos, correspondiendo a un módulo de impedancia de 50,39 Ω . El nivel de medición fue lo suficientemente bajo como para evitar la ruptura del driver al pasar por esa frecuencia. Por otro lado, se observa un segundo pico en los 1740 Hz formado por un fenómeno acústico similar a la resonancia entre el

volumen trasero de un gabinete ventilado y la masa acústica del port. Los tubos correctores de fase de un driver poseen su propia masa acústica. En combinación con el volumen de aire de la cara trasera del driver, se produce una resonancia. Finalmente, el pico sobre los 13932 ciclos se debe a la resonancia del material que cumple la función de diafragma (rígido). Ecualizar positivamente ese rango produciría la ruptura del mismo.

3.1.2. Driver con bocina

A continuación se acopló la bocina al driver y se efectuó la medición de impedancia (Figura 4).

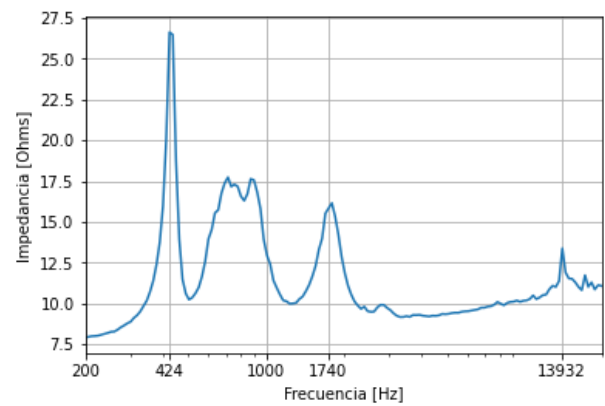


Figura 4: Curva de impedancia del driver con la bocina acoplada

Se puede observar que el pico asociado a la resonancia entre las masas acústicas de los tubos correctores de fase y el volumen de aire trasero se mantiene en la frecuencia de 1740 Hz dado que la implementación de la bocina no modificó sus valores de inductancia y compliance. Por otro lado, la resonancia del diafragma no se vió modificada por la adición de una bocina porque depende únicamente del material del que está hecho. Por otro lado, la resonancia mecánica disminuye dado que la masa mecánica del sistema aumenta.

3.2. Respuesta al impulso

A continuación, en la Figura 5 se presenta un ejemplo de aplicación de ventana para las respuestas al impulso medidas.

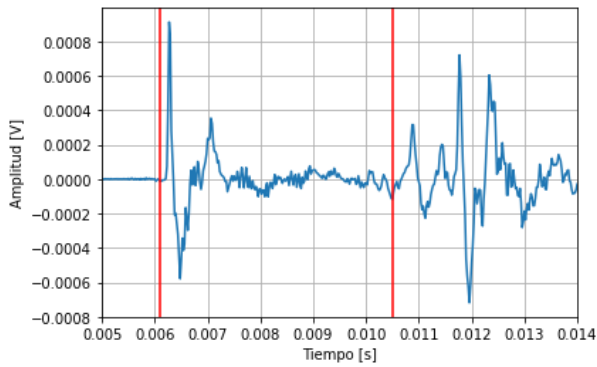


Figura 5: Aplicación de ventana para excluir efecto de la sala para los 100° de rotación del eje vertical de la bocina.

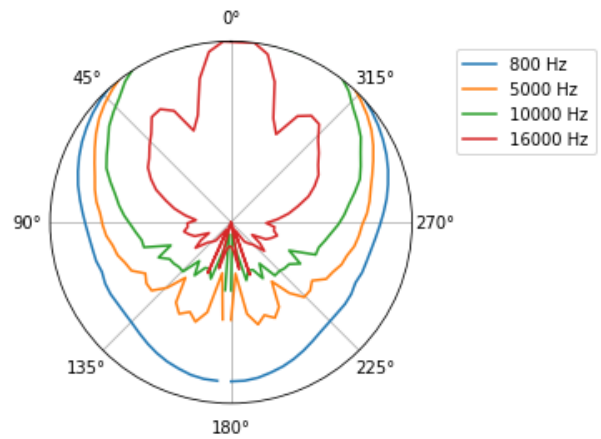


Figura 6: Patrón polar del eje horizontal

El tiempo de sonido directo, el cuál parecería ser cercano a los 6 ms, no es representativo de la medición ya que no se realizó una conexión de realimentación para obtener un canal de referencia y el respectivo retardo de la medición respecto a éste último. Sin embargo, se puede obtener el diferencial de tiempo que en este caso es $\Delta T = 10,5 \text{ ms} - 6,1 \text{ ms} = 4,4 \text{ ms}$. Sin embargo, a la hora de realizar el código, fue necesario hacer un análisis visual de cada uno de los ángulos para corroborar que la primera reflexión arribe siempre posterior a los 4,4 ms respecto al sonido directo. En ciertos casos se percibió una reflexión más cercana, lo cual se puede deber a la imprecisión a la hora de centrar el eje acústico de la bocina sobre el eje de rotación de la mesa giratoria, modificando su distancia respecto al micrófono para cada ángulo. Los barridos de frecuencia fueron efectuados a partir de los 650 Hz para evitar el pico de resonancia mecánica. La bocina tiene un control de directividad suficiente como para lograr que fuera del eje la amplitud de la primera reflexión sea comparable con la del sonido directo.

3.3. Directividad

En ésta sección se presentarán los gráficos correspondientes a la directividad de los elementos del sistema.

3.3.1. Patrón Polar

Se seleccionaron 4 frecuencias para representar la directividad del sistema. La menor fue de 800 ciclos considerando que el barrido de frecuencias tuvo un límite inferior de 650 ciclos para no dañar el driver. A continuación, en las Figuras 6, 7 y 8 se presentan los patrones polares del driver con y sin bocina.

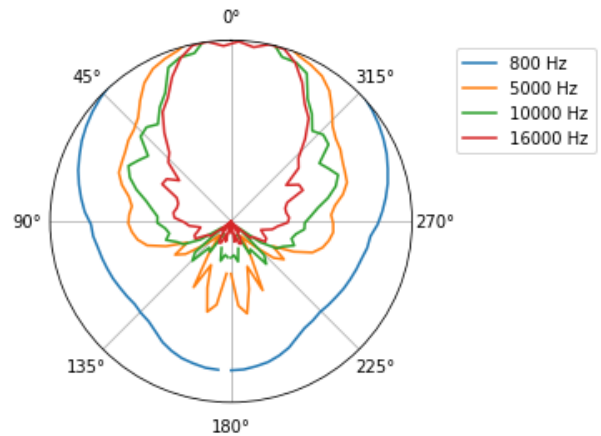


Figura 7: Patrón polar del eje vertical

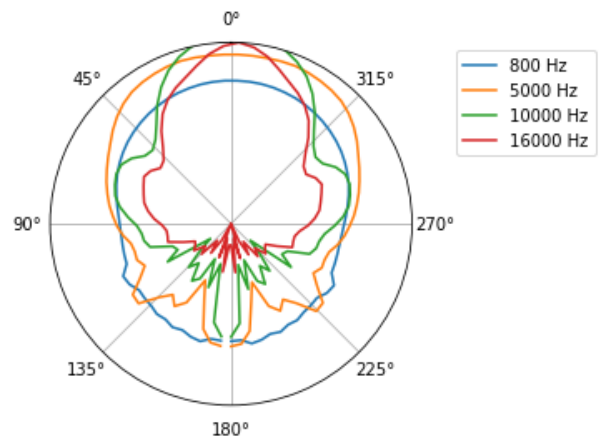


Figura 8: Patrón polar del driver sin bocina

Tanto en la Figura 6 como en la Figura 7 se puede observar que para los 800 Hz la bocina ofrece un control

muy limitado dado que la longitud de onda para esa frecuencia ($\lambda = 42$ cm) excede las dimensiones de la misma. Aún así, se observa una mayor cobertura angular hacia el frente de la bocina que hacia su parte trasera. Por otro lado, se percibe que a medida que aumenta la frecuencia, para ambos ejes la radiación se torna más direccional. Este fenómeno se da porque para las bajas frecuencias la geometría que controla la apertura angular es la de la mayor superficie de salida. A medida que la frecuencia aumenta, empiezan a actuar las paredes de la bocina funcionando como guías de onda con adaptación de impedancia. Finalmente, en altas frecuencias donde λ es menor a la superficie de acoplamiento, actúa la reducción de superficie produciendo una difracción aumentando rango angular (esto se da en el eje horizontal, ya que la geometría indica que el estrechamiento no se encuentra en el eje vertical). Si se toma un corte de la bocina desde su eje vertical, se puede observar que la bocina no modifica el ángulo de apertura, ofreciendo un mayor control para un rango de frecuencias más amplio.

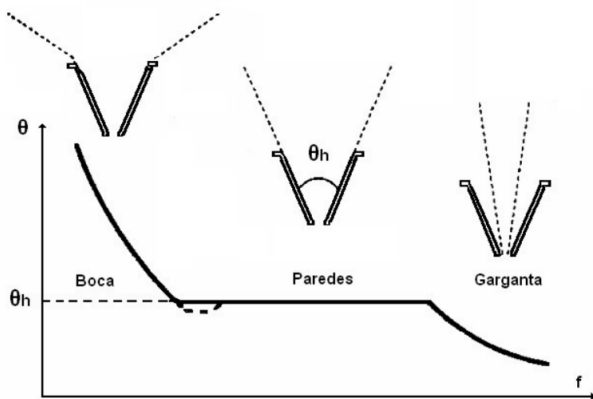


Figura 9: Ángulo de radiación en función de la frecuencia

En la Figura 9 se estudia cuál es la variación del ángulo de apertura en cada rango de frecuencia. Se atiende que para un cierto rango de frecuencias el ángulo es constante. Esto se da porque a medida que aumenta la frecuencia, la superficie que funciona como guía de onda es cada vez más pequeña pero mantiene el ángulo de apertura. Entonces, para todo el rango donde las longitudes de onda sean contenidas dentro de todos los planos contiguos que forman la geometría de la bocina en su largo L , el ángulo de salida será idealmente el mismo. A simple vista se repara en que el ángulo de salida del eje horizontal tiene una mayor apertura que la del eje vertical, por lo que intuitivamente se llega a la conclusión de que el ángulo cubierto será mayor. Además, a diferencia del corte propuesto previamente, si se analiza la bocina en un plano transversal, se perciben cambios en los ángulos. Entonces, a medida que λ vaya disminuyendo, la onda se topará con un cambio repentino donde se generará un efecto

de difracción. En términos generales, el patrón polar de la Figura 6 presenta en todas las frecuencias analizadas una mayor cobertura angular que el patrón polar de la Figura 7. Vale destacar que para la frecuencia de 16 kHz ($\lambda = 21$ mm) la radiación horizontal exhibe dos lóbulos secundarios, probablemente causados por el efecto de difracción en el estrechamiento de superficie de la bocina o por la respuesta propia del driver cuando las longitudes de onda son comparables con los correctores de fase internos. Finalmente, en la Figura 8, la frecuencia de 800 Hz presenta menor amplitud dada la nula adaptación de impedancia, siendo la superficie de salida de la cámara de compresión el área de incidencia (es un diámetro de 5,08 cm por el que se tiene que reproducir una longitud de onda de 42,8 cm). Por otro lado, se percibe un lóbulo significativo en los 180° de incidencia, el cual no se presenta en las mediciones del sistema completo. Esto es resultado de la bocina funcionando como guía de onda y utilizando la energía para radiar en el ángulo propuesto por su geometría.

3.3.2. Gráfico de contorno

En las Figuras 10, 11 y 12 se exponen los gráficos de contorno.

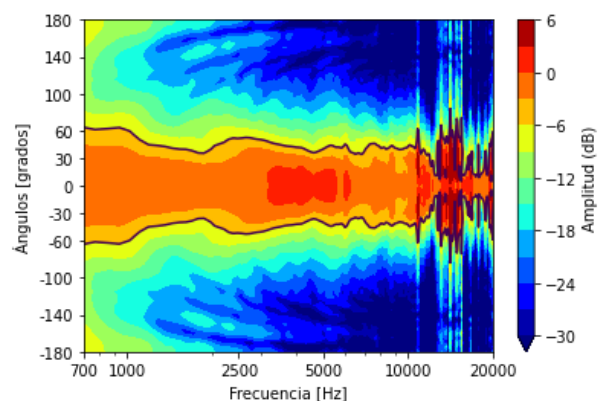


Figura 10: Gráfico de contorno del eje horizontal

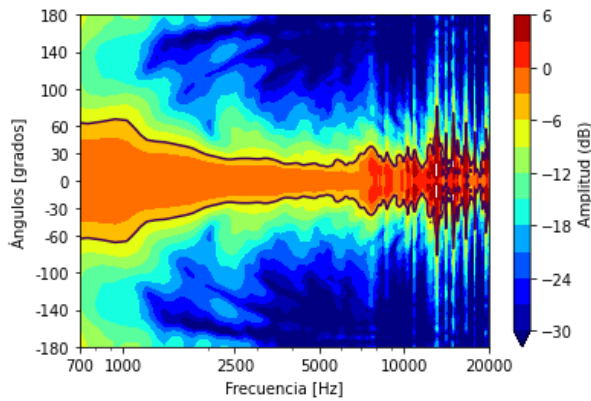


Figura 11: Gráfico de contorno del eje vertical

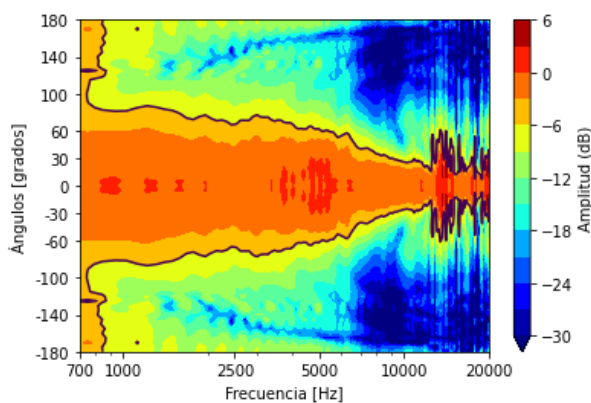


Figura 12: Gráfico de contorno del driver sin bocina

Al igual que en el caso del patrón polar, se puede apreciar que para el color asociado a la caída de -6 dB en el gráfico de contorno de la Figura 10 el ángulo cubierto es de 110° (-55° a 55°) mientras que el de la Figura 11 es de 60° (-30° a 30°). Esos ángulos son tomados analizando un cierto rango de frecuencias donde el ángulo de directividad se mantiene estable (por encima de los 2 kHz para ambos gráficos). Por otro lado, la referencia de -6 dB se toma considerando un arreglo en el que se coloque más de un sistema driver-bocina, siendo el ángulo de caída de 6 dB aquel donde se sumen las fuentes. En el eje horizontal se presenta un fenómeno de realce en la apertura angular entre los a partir de los 6500 Hz causada por la difracción generada en el angostamiento de las caras laterales (la longitud de onda para 6500 Hz es de 5,2 cm). Por encima de los 13 kHz se registran otros efectos asociados al propio comportamiento del driver cuando la longitud de onda empieza a ser comparable con las dimensiones de los correctores de fase, cámara de compresión, o por razones asociadas a la resonancia del material (se registran comportamientos similares en los tres gráficos en frecuencias altas). Cercano a los 1000 Hz del gráfico de contorno vertical se produce un realce en la apertura angular lo cual

puede indicar alguna resonancia o difracción del sistema (también se percibe en la Figura 10 en menor medida). Con respecto al aumento de directividad cercano a los 2 kHz ($\lambda = 15$ cm) para el eje horizontal, el efecto es generado por el cambio de ángulo de apertura más cercano a la superficie de salida de la bocina. Ese cambio de ángulo se da a los 13,4 cm del eje longitudinal respecto a la superficie de acoplamiento, produciéndose un efecto de difracción aumentando el ángulo cubierto.

La Figura 12 muestra la directividad del driver sin bocina. El rango entre 700 y 900 Hz se encuentra contenido por amplitudes mayores a -6 dB, a diferencia del sistema con bocina, donde para la cobertura mayor a los 80° la caída es mayor a -10 dB (color verde y celeste). Al colocarle la bocina al driver se extiende la frecuencia de corte f_c del sistema hacia bajas frecuencias, recuperando rango asociado a la relación de $k \cdot a$ siendo a el radio del diafragma. Al realizarse una adaptación de impedancia gradual hacia una superficie mayor, se logra que f_c disminuya, aumentando a su vez la sensibilidad y la componente resistiva de la impedancia.

3.4. Respuesta en frecuencia en dB SPL

Se realizó un estudio de respuesta en frecuencias con niveles SPL reales del sistema a 0° , 15° , 30° y 45° tanto en el plano horizontal como en el vertical. En la figura 13 se muestran las respuestas horizontales mientras que en la figura 14, las verticales.

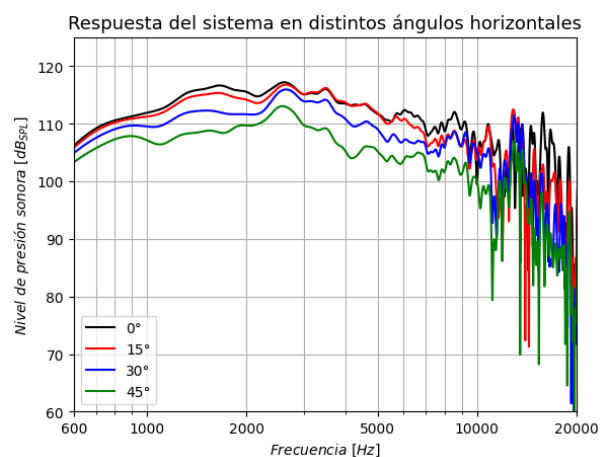


Figura 13: Respuestas en frecuencia en el plano horizontal.

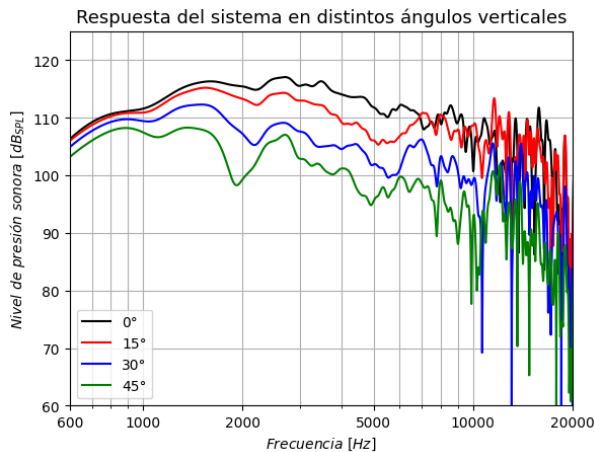


Figura 14: Respuestas en frecuencia en el plano vertical.

Al observar las figuras 13 y 14, se puede notar en primer lugar que, conforme a lo esperado, a medida que el ángulo de rotación con respecto al eje aumenta, el nivel de presión percibido en el punto de medición disminuye. Esta tendencia se vuelve más pronunciada a medida que la frecuencia aumenta. Además, se puede apreciar que la diferencia de nivel se acentúa más en la respuesta vertical a medida que el ángulo aumenta. Esto lleva a la conclusión de que el sistema exhibe una directividad más marcada en el plano vertical que en el horizontal.

Otro efecto apreciable en ambos planos de estudio es que hay frecuencias en que el nivel de la respuesta a 15° fuera del eje supera al del eje. Esto ocurre en frecuencias que son tan altas que la bocina no es capaz de ejercer el control directivo, sino que está directamente dictaminado por las dimensiones del driver de compresión.

Por otra parte, se nota que la diferencia de niveles entre la respuesta en el eje y fuera de él es más marcada en el plano vertical que en horizontal. Esto se debe a que el perfil en el plano horizontal de la bocina presenta un ligero estrechamiento en la garganta que conecta con la salida del driver. De este modo la apertura comienza en un diámetro menor de garganta que el de la salida del driver haciendo que la posterior expansión del perfil genere una radiación más amplia en alta frecuencia.

La razón por la cual es ángulo de cobertura en el plano horizontal es mayor al del vertical es que el uso que comúnmente se le da a este tipo de sistemas es el de cubrir una determinada área de oyentes. Estos se encuentran más dispersos sobre el plano horizontal ya sea de pie o sentados, mientras que en el plano vertical se tiene una baja dispersión debido a que todos poseen un punto de escucha a una altura similar entre sí.

Por último, se puede observar que la forma de la curva tiende a mantenerse a pesar del cambio de ángulo. Aunque con la rotación del sistema se produce una disminución lógica en el nivel de respuesta, se puede apreciar que

la forma de la curva no experimenta grandes cambios entre 600 Hz y 10 kHz. Esta característica resulta deseable ya que se busca que la respuesta acústica del sistema no varíe significativamente ante una ligera rotación.

3.5. Ruido de fondo en tercios de octava

En la figura 15 se muestra el nivel L_{eq} por bandas de tercio de octava.

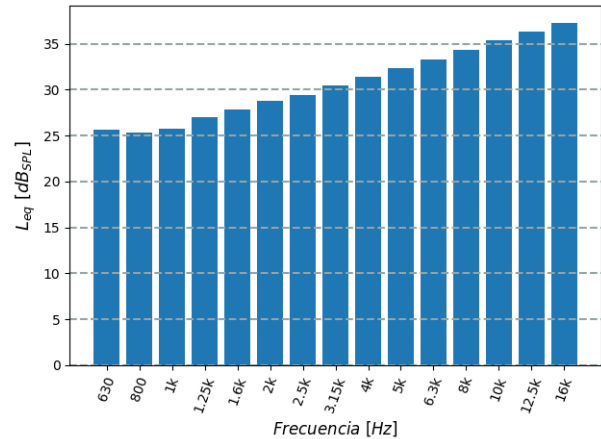


Figura 15: Ruido de fondo en tercios de octava.

Se aprecia que el nivel del ruido de fondo se encuentra por debajo de los 35 dB en prácticamente todo el rango de frecuencias en el que se llevó a cabo el estudio del sistema.

Se nota que el estudio se realizó en buenas condiciones a pesar de que la habitación en la que se efectuaron las mediciones se encuentra contigua a un aula en la cual se estaba realizando el dictado de clases en el mismo momento.

Por otra parte, al realizar una comparación entre los niveles del ruido de fondo (figura 15) y los niveles SPL tanto de la medición en el plano horizontal (figura 13) como en el vertical (figura 14) se nota una diferencia de más de 20 dB entre el piso de ruido y lo reproducido por el sistema, por lo que se puede asegurar que las mediciones no han sido intervenidas por el ruido presente.

4. CONCLUSIÓN

Se realizó la medición de diversos parámetros para la caracterización de un driver de compresión con y sin agregarle una bocina.

Se pudo comprobar las modificaciones que se inducen en la impedancia eléctrica del sistema cuando se adosa una bocina al driver de compresión.

También se corroboró el comportamiento en la direccionalidad del sistema tanto en el plano horizontal como en el vertical, comprobando que en el horizontal el sistema ofrece un mayor ángulo de cobertura. Además, se obtuvo la respuesta de direccionalidad del driver sin

agregarle la bocina para poder comprobar el control que la misma ejerce en ambos planos.

Para poder continuar con el análisis se realizó un estudio con la respuesta de niveles SPL reales del sistema completo mediante el desarrollo de un script en el lenguaje Python para obtener dichos valores mediante la calibración del sistema de medición. Aquí se pudo verificar tanto el comportamiento esperado por el diseño del sistema de reproducción como el obtenido mediante el estudio de respuesta al impulso.

Asimismo, se buscó la obtención del nivel del ruido de fondo filtrado por bandas de tercio de octava para poder verificar que el nivel al que se estaba realizando la medición no se corría el riesgo de que el ruido interfiriese.

Se notó buena correlación entre los resultados obtenidos mediante medición y los esperados por el desarrollo teórico.