

MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DRIVER-BOCINA

Bach Franco¹, Mezzabarba Tomás² y Sol Begonja³

¹Universidad Nacional de Tres de Febrero
francobach47@gmail.com

²Universidad Nacional de Tres de Febrero
tmezzabarba@gmail.com

³Universidad Nacional de Tres de Febrero
solbegonja@hotmail.com

Resumen — En el presente trabajo, se busca estudiar el comportamiento de un sistema driver-bocina. Para ello, se realizan mediciones de direccionalidad tanto en eje vertical como horizontal, además de mediciones de impedancia eléctrica. Luego, se utiliza Python para el post procesamiento de las mediciones y obtener así los gráficos que caracterizan al sistema, como el patrón polar, contorno, y respuesta en frecuencia para ambos ejes acústicos; además del spinorama basado en normativa ANSI-CTA-2034-A. También se emplea un algoritmo de calibración y filtrado del ruido de fondo por tercios de octavas asociados al entorno de medición. Se logra cumplir con el estudio y caracterización del sistema en los aspectos mencionados.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se realiza el estudio y evaluación de un sistema constituido por un driver de compresión modelo DE64TN8 acoplado a una bocina M60 B&C. En la Figura 1 se muestran dichos componentes y en la Tabla 1 se presentan las medidas de dicha bocina. Además, en la Figura 2 se muestran las dimensiones acompañado con diagramas y distintas perspectivas de la bocina [1][2].



Figura 1: Driver de compresión DE64TN8 y bocina ME60 B&C.

Tabla 1: Dimensiones de la bocina

Dimensión	Medida
Largo	270 mm
Ancho	237 mm
Diámetro (garganta)	50 mm
Profundidad	202 mm
Diagonal	330 mm
Sup. de la garganta	1,96 mm ²
Sup. de la boca	64 mm ²
m	17,26

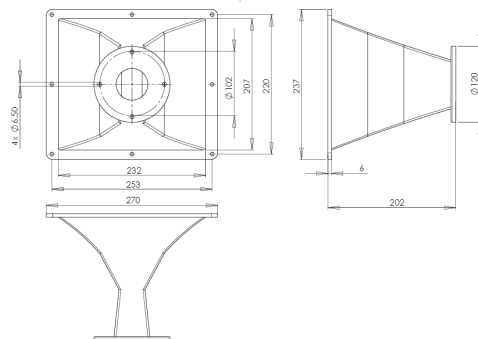


Figura 2: Dimensiones y diagrama de la bocina ME60.

Se estudia el comportamiento del sistema driver con y sin bocina. Para ello se realizan distintas mediciones acústicas con el software ARTA, con las cuales se busca evaluar la direccionalidad y la respuesta del sistema; por lo que se mide el sistema en el eje vertical y horizontal, tomando mediciones de 0° a 180° con pasos cada 5° , para así tener una buena precisión y poder determinar el comportamiento correcto.

Por otra parte, se realizan mediciones de impedancia eléctrica con el software LIMP, mediciones de ruido de fondo de manera de asegurarse de tener un rango dinámico aceptable, y se mide una señal de calibración para tener un nivel de referencia a la hora de presentar los resultados de su respuesta en magnitud.

Para efectuar el procesamiento de las mediciones, se desarrolla un script de Python, de manera tal de obtener los gráficos correspondientes a la respuesta de impedancia eléctrica del driver con y sin bocina; la direccionalidad del sistema analizado con y sin bocina en sentido vertical y horizontal representada con los gráficos de contorno, los diagramas polares, la respuesta en frecuencia en $dB SPL$ a 0° , 15° , 30° y 45° , y el spinorama basado en la normativa ANSI-CTA-2034-A. Finalmente se obtiene el nivel continuo equivalente del ruido de fondo presente en el momento de la medición filtrado por tercios de octava.

2. METODOLOGÍA

2.1. Medición de impedancia

La medición de la impedancia eléctrica se realiza principalmente con el objetivo de poder aproximar la frecuencia de resonancia del driver y poder evitarla durante las mediciones acústicas. Esto, ya que dado que se utiliza un amplificador de potencia para alimentar el sistema, el exceso de excursión en cercanías a la frecuencia de resonancia puede dañar el dispositivo. Por otro lado, también se analiza la curva para ver si existe alguna anomalía en el sistema.

Dicha medición se lleva a cabo con el software LIMP, luego de realizar las calibraciones correspondientes. Estas consisten en ajustar el valor de la resistencia de referencia en el software de acuerdo a la resistencia total del circuito, y equiparar los niveles de las dos entradas de la placa. En este caso, se hace uso de la placa RME Fireface UCX. La configuración para la medición se muestra en la Figura 3.

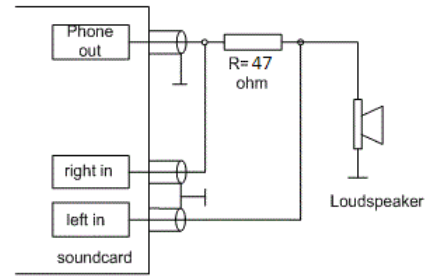


Figura 3: Circuito para la medición de impedancia eléctrica.

A través de la salida de la placa se reproduce un stepped sine entre $20 Hz$ y $20 kHz$, y el software calcula la curva de impedancia a partir de las tensiones de las dos entradas. Este mismo proceso se repite con la bocina acoplada al driver, para poder observar como ciertos cambios mecano-acústicos en el sistema afectan a la impedancia eléctrica del mismo, además para ayudar a discernir sobre que información en la respuesta en frecuencia puede estar condicionada por la bocina.

2.2. Medición de direccionalidad

Para esta medición, el driver acoplado a la bocina se coloca en un soporte y sobre una mesa giratoria OUTLINE ET250-3D, en una altura total de $1,15 m$. Además, para registrar las mediciones se utiliza un micrófono Earthworks M50 posicionado a $1 m$ de distancia de la boca de la bocina. Esta distancia se define teniendo en cuenta que la medición debe realizarse en campo lejano (ya que las dimensiones del micrófono son comparables a las longitudes de onda de altas frecuencias, y al estar cercano se podrían generar reflexiones y cambiar el comportamiento del campo acústico), por ende se toma una distancia de tres veces la mayor dimensión de la superficie radiante, la cual en este caso, se considera a la diagonal de la boca de salida de la bocina.

Debido a que en este caso se utiliza un amplificador de potencia para excitar al driver, y el diafragma de éste último está confinado en un volumen muy pequeño casi entrando en contacto con el corrector de fase, se aplica a modo de protección un filtro digital pasa-altos con frecuencia de corte en $700 Hz$, con la finalidad de evitar altas excursiones del sistema en frecuencias cercanas a su resonancia mecánica, y por debajo de la misma, ya que en dicha zona la excursión es crítica y puede dañar el diafragma.

Dado que se busca caracterizar el comportamiento directivo del sistema, se realizan mediciones no solo en el eje acústico. Específicamente, se realizan mediciones de 0° a 180° con pasos de 5° , obteniendo así un total de 37 respuestas. Además, se asume simetría acústica respecto al eje de rotación, dado a la radiación simétrica de energía. Para realizar dichas mediciones de manera precisa,

se hace uso de una mesa giratoria Outline ET 250 3D, la cual se conecta a la PC a través de cable de red mediante protocolo de redes UDP. Dichas mediciones son llevadas cabo mediante el software ARTA, en las cuales se excita el sistema con un barrido senoidal logarítmico logrando la respuesta al impulso del sistema.

Para lograr un estudio completo, se realiza la medición en el eje horizontal y luego se gira 90° el sistema para poder medir sobre el eje vertical. Además, se mide la direccionalidad del driver sin la bocina en una sola posición.

Al haber realizado todas las mediciones en campo lejano, es necesario ventanearlas para excluir los efectos de la sala (como ser reflexiones y modos de resonancia) y así obtener solo la respuesta del sistema. El ventaneo propuesto se realiza teniendo en cuenta la distancia de medición (sonido directo) y la distancia de la primer reflexión en el eje. En este caso, se considera que la primera reflexión en arribar al punto de medición es la del piso, con lo cual, mediante la ecuación 1 se puede obtener la diferencia de tiempo que hay entre el sonido directo y la primer reflexión, la cual depende de la altura de medición (h), la distancia de medición (d) y la velocidad del sonido (c).

$$\Delta t = \frac{2 \cdot \sqrt{h^2 + \frac{d^2}{4}} - d}{c} \quad (1)$$

Por otro lado, cuando se aplica un ventaneo a una respuesta al impulso, debido a las propiedades de la transformada de Fourier discreta, se pierde información en baja frecuencia, donde la frecuencia mínima a partir de la cual se obtiene información relevante para el análisis es aquella cuyo período sea igual al tamaño de la ventana. La misma se puede expresar de la siguiente manera:

$$f_{min_{FF}} = \frac{1}{\text{Tamaño de ventana [s]}}$$

Como en esta situación se estudia una unidad de alta frecuencia, esto no representa un problema. Además, sumado a esto, el filtrado aplicado al dispositivo probablemente se encuentre por encima de esta frecuencia mínima, con lo cual todo lo que se encuentre por debajo de la frecuencia de corte está fuera del rango de interés.

Una vez obtenidas todas las respuestas al impulso, se procede a procesarlas en un script desarrollado en Python con el objetivo de obtener distintas representaciones gráficas que describan el comportamiento directivo del sistema, entre ellas, gráfico de contorno y gráfico de patrón polar. El primero muestra frecuencia por frecuencia la diferencia de nivel existente entre la respuesta en el eje y los diferentes ángulos directivos. Por otro lado, el gráfico de patrón polar proporciona información direccional en frecuencias particulares.

A su vez, con el objetivo de clarificar la información que brinda el gráfico de contorno, se realiza el cálculo

del ángulo de cobertura del sistema tanto en el sentido vertical como en el horizontal. El mismo se calcula teniendo en cuenta la curva de -6 dB con respecto al eje central. Dicho cálculo se realiza dentro de la zona donde la direccionalidad está controlada, quitando del análisis la respuesta del sistema por encima de 12 kHz .

2.3. Respuesta en frecuencia en dB SPL

Con el objetivo de continuar el análisis sobre las condiciones de uso del sistema y sus limitaciones se propone obtener la curva de respuesta en frecuencia en distintos ángulos. Para esto, se toman las mediciones y se calcula su espectro mediante la transformada de Fourier, no obstante, para que éstas mediciones sean más representativas de la realidad se deben expresar en dB SPL reales. Con tal fin, se calibra el sistema usado midiendo un tono puro de 1 kHz con un nivel de 94 dB SPL proveniente del calibrador del sonómetro SV30 Svanter. Debido a que por la placa se registran niveles de tensión, a través de una regla de tres simple, se pueden referenciar los valores de las mediciones eléctricas a mediciones de presión. En este caso, como los 94 dB SPL equivalen a x_{CAL} volts (osea, $x_{CAL}[\frac{V}{Pa}]$), entonces se pueden obtener las mediciones en pascals con la ecuación:

$$\text{Signal}[Pa] = \frac{\text{Signal}[V]}{x_{CAL}[\frac{V}{Pa}]} \quad (2)$$

Ya con los valores referenciados se procede a calcular la respuesta en frecuencia y expresar la curva final suavizada en dB SPL teniendo en cuenta la presión de referencia de $20 \mu Pa$. Para realizar un análisis más completo se toman no solo la respuesta en el eje sino también las respuestas a 15° , 30° y 45° tanto horizontal como verticalmente [3].

2.4. Ruido de fondo en tercios de octava

Dado que las mediciones son realizadas en un ambiente no ideal, se debe tener en cuenta el ruido presente en el recinto durante el procedimiento. Para ello, se captura el ruido de fondo existente, y luego mediante un procesamiento de dicha medición, se obtiene el nivel continuo equivalente (L_{eq}) de dicha señal filtrada por bandas de tercios de octava. Al igual que las mediciones donde se caracteriza la respuesta del sistema, la señal de ruido debe ser calibrada mediante 2 para obtener su representación en valores de presión (pascals) [4].

Una vez calibrada la señal de ruido, se implementa un filtro Butterworth de sexto orden por tercios de octava, y para cada banda filtrada se obtiene el nivel continuo equivalente según la ecuación 3. Finalmente se expresan los resultados en un gráfico de barras.

$$L_{EQ}[dB] = 20 \cdot \log\left(\frac{\text{Signal}_{RMS}}{20\mu Pa}\right) \quad (3)$$

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Medición de impedancia

En la Figura 4 se presenta la respuesta en impedancia del driver. Se puede observar que su frecuencia de resonancia f_s se encuentra en 580 Hz , con un valor de $53.3\ \Omega$. Dicha medición difiere de la otorgada por el fabricante, en la cual encuentra su f_s en 500 Hz . A partir de esta medición se decide implementar el filtro pasa altos para futuras mediciones de mayor potencia, por los motivos explicados anteriormente.

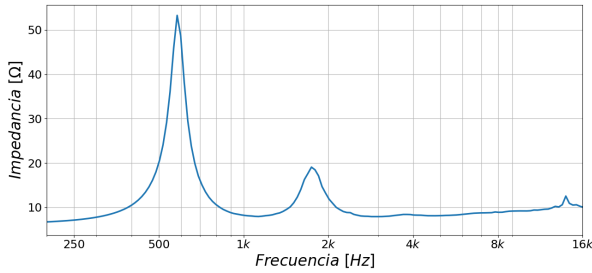


Figura 4: Respuesta en impedancia del driver.

Además, se observan pequeñas fluctuaciones en altas frecuencias, las cuales pueden deberse a resonancias acústicas propias del driver y su funcionamiento. Estas resonancias no solo dependen del material del diafragma, sino también del recorrido del aire por los tubos del corrector de fase.

Por otro lado, en la Figura 5 se compara la respuesta en impedancia del driver con y sin bocina. Se aprecian cambios y diferencias notables entre ambas curvas. Se puede ver como la impedancia del driver se ve afectada en el rango de 350 Hz a 4 kHz . Esto se debe a la generación de ondas reflejadas que se dan en la boca de la bocina, las cuales se traducen en variaciones de la impedancia eléctrica.

A mas altas frecuencias, las dos curvas se mantienen similares. Lo cual tiene que ver con que la direccionalidad del driver comienza a aumentar y por ende la bocina deja de influir en su radiación.

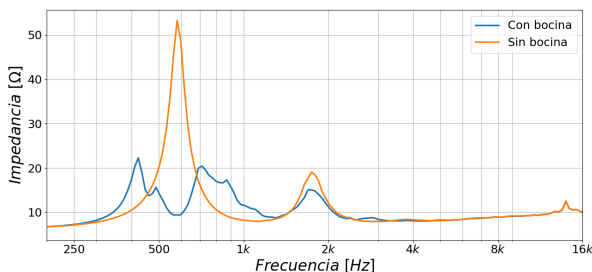


Figura 5: Respuesta en impedancia del driver con y sin bocina.

3.2. Medición de direccionalidad

En esta sección se analizan los gráficos de contorno y de patrón polar con el objetivo de caracterizar la respuesta directiva del sistema. A raíz de la frecuencia de resonancia f_s hallada a partir de las mediciones eléctricas de impedancia se decide colocar el filtro de protección para el driver en 600 Hz .

Como se menciona anteriormente, para que la respuesta final del sistema no se vea afectada por la sala, se utiliza una ventana de $4,4\text{ ms}$. La misma es aplicada a todas las mediciones y la frecuencia mínima a partir de la cuál su información es válida es $227,3\text{ Hz}$. No obstante, como el sistema cuenta con un filtro de protección, esta frecuencia no es de interés.

3.2.1. Gráfico de contorno

En las Figuras 6 y 7 se muestran los gráficos de contorno correspondientes al eje horizontal y vertical respectivamente. A simple vista es evidente que el eje vertical resulta ser mas directivo que el horizontal, el cual posee un mayor ángulo de apertura. La frecuencia de corte en el eje vertical debería ser entonces mayor, aunque este detalle no se aprecia notablemente en los gráficos.

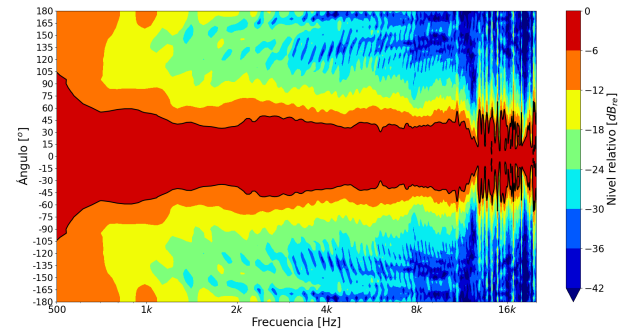


Figura 6: Gráfico de contorno horizontal.

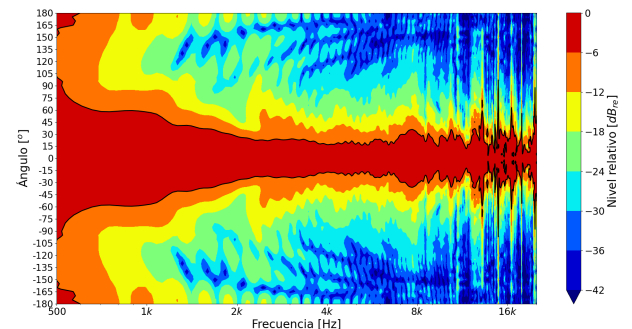


Figura 7: Gráfico de contorno vertical.

Para bajas frecuencias, la radiación tiende a un mayor ángulo de apertura, y va aumentando gradualmente la direccionalidad con el incremento de frecuencia.

A partir de la frecuencia de corte de cada eje, la direccionalidad se mantiene constante. Apreciando esta zona, pueden estimarse los ángulos de cobertura, que resultan ser aproximadamente de 50° para el eje horizontal y 30° para el vertical.

En el eje horizontal se puede apreciar un control directivo relativamente constante presente desde 2 kHz hasta aproximadamente 10 kHz mientras que para el eje vertical se da entre $1,5\text{ kHz}$ hasta $7,5\text{ kHz}$. Esto, indica que la bocina está tomando el control, en estos rangos frecuenciales, en la radiación de energía.

Luego de esta zona constante, la bocina pierde influencia en la directividad cuando la longitud de onda es comparable a la menor dimensión de la bocina (en este caso, es donde ocurre un cambio en la apertura). Este aumento de directividad puede observarse levemente alrededor de los 10 kHz . En dicha frecuencia, la longitud de onda es menor a los 0.035 m de menor espacio en la bocina, y por lo tanto la bocina resulta indiferente para la radiación.

Cabe destacar que esta reducción en la sección de la bocina (configuración que pretende imitar el efecto de difracción, simulando la generación de una "nueva" fuente esférica en dicho punto) no es igual para el eje horizontal que para el vertical, ya que este último permanece constante. Es por esto que en el contorno horizontal se aprecia el aumento de directividad a partir de los 10 kHz . Mientras que en el contorno vertical debería ocurrir a una frecuencia mayor (asociada al diámetro de la garganta), aunque no se distingue claramente el efecto.

Como detalle final, se observan fluctuaciones en altas frecuencias, a partir de los 12 kHz aproximadamente. Las mismas se relacionan principalmente con resonancias propias del diafragma del driver de compresión. Además, dichas anomalías pueden llegar a estar asociadas con resonancias de las ranuras del corrector de fase del driver.

Para contrastar las mediciones de sistema completo, se analiza el gráfico de contorno del driver sin la bocina acoplada el cual se puede observar en la Figura 8.

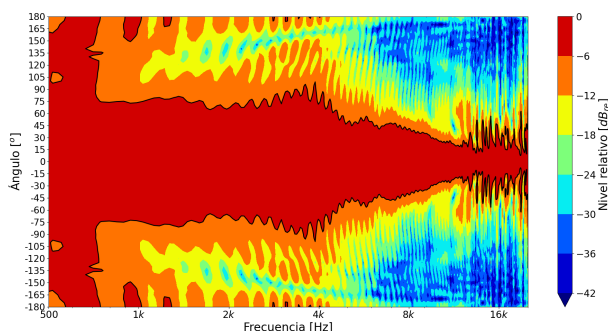


Figura 8: Gráfico de contorno sin bocina.

En principio, se ve claramente que en muy altas fre-

cuencias la respuesta del driver sin bocina es casi idéntica a la del sistema completo, lo cual refuerza lo dicho anteriormente respecto a la presencia de resonancias propias del driver. Por otro lado, se observa que a partir de 4 kHz hay un aumento brusco de la directividad en la respuesta del driver,

A partir de las dimensiones de la bocina, las cuales se presentan en la Tabla 1, se obtiene una aproximación de la frecuencia de corte teórica, aunque cabe aclarar que para esto, se considera a la bocina como exponencial. Esto da un indicio de la frecuencia a partir de la cual la bocina comienza a tomar control en la directividad.

$$f_c = \frac{mc}{4\pi} = 471\text{ Hz}$$

Teniendo en cuenta que recién a $(2 \cdot f_c)$ la bocina toma control sobre la directividad del sistema, en este caso, dicha frecuencia corresponde a 942 Hz , valor un tanto superior al que presenta el fabricante, el cual declara una frecuencia mínima de 800 Hz .

3.2.2. Cumulative Spectrum Decay

A través del software ARTA se obtuvo el cumulative spectrum delay en el eje, el cual se muestra en la Figura 9 donde se evidencia el desarrollo en el tiempo de la respuesta al impulso según la frecuencia. Además, en la Figura 10 se presenta el mismo gráfico, pero del driver sin bocina.

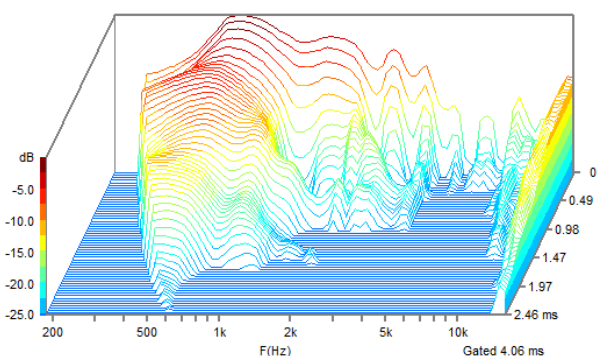


Figura 9: Cumulative Spectrum Decay para la medición horizontal de driver con bocina a 0° .

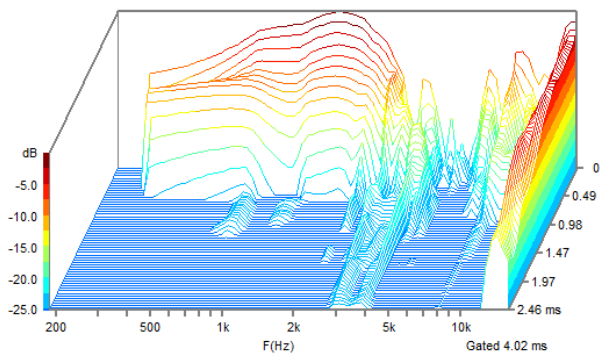


Figura 10: Cumulative Spectral Decay para la medición de driver sin bocina a 0°.

Se puede comparar en ambas figuras principalmente, que el tiempo de decaimiento en frecuencias propias a 600 Hz, es mayor en el sistema con bocina incluida, lo cual es propio justamente dado a la frecuencia de resonancia, y el comportamiento del sistema en condición. Por otra parte, en el sistema sin bocina, se nota una resonancia entre 3 kHz y 4 kHz, lo cual es debido a modos del diafragma del driver. Esta resonancia no se ve en la curva con bocina, y una posible causa son las reflexiones causadas por el cambio de impedancia de la salida del driver al ambiente.

3.2.3. Patrón polar

A continuación se muestran los diagramas de patrón polar del sistema tanto en sentido vertical como en horizontal. Las Figuras 11 y 12 representan el diagrama para 500 Hz, 2 kHz y 8 kHz mientras que las Figuras 13 y 14 refieren a la representación del diagrama polar para 1 kHz, 4 kHz y 16 kHz.

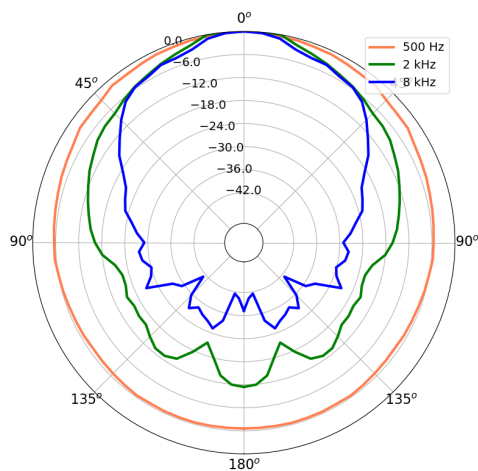


Figura 11: Patrón polar horizontal 500 Hz, 2 kHz y 8 kHz.

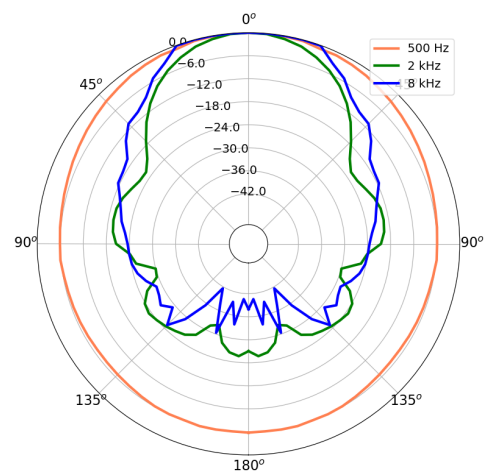


Figura 12: Patrón polar vertical para 500 Hz, 2 kHz y 8 kHz.

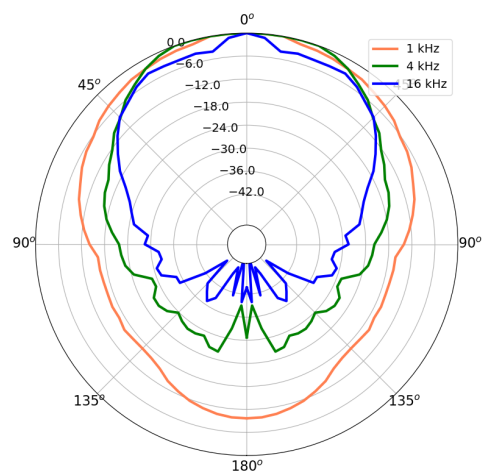


Figura 13: Patrón polar horizontal para 1 kHz, 4 kHz y 16 kHz.

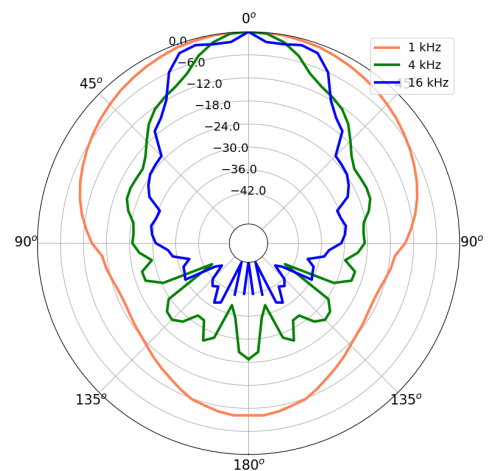


Figura 14: Patrón polar vertical 1 kHz, 4 kHz y 16 kHz.

De los diagramas se puede observar que el sistema tiene a concentrar toda su energía hacia el frente formando un lóbulo directivo sobre el eje a medida que sube la frecuencia. Por otro lado, ese aumento en frecuencia se ve reflejado como un angostamiento, es decir por un aumento en la directividad provocado justamente por el accionar de la bocina, la cual comienza a guiar al campo acústico.

Al igual que en los gráficos de contorno, los diagramas presentados muestran cómo a medida que sube la frecuencia, el eje vertical se vuelve más directivo que el horizontal, lo cual se puede apreciar debido a la diferencia en el estrechamiento de las curvas. Por lo tanto, las curvas del eje vertical se muestra más angosta que las del horizontal.

3.3. Respuesta en frecuencia en dB SPL

Se presentan las curvas correspondientes a la respuesta en frecuencia del sistema completo para 0° , 15° , 30° y 45° tanto en el sentido vertical como en el sentido horizontal. Todas las curvas están calibradas y referenciadas a valores de *dB SPL* reales. En la Figura 15 se pueden observar las respuestas correspondientes al eje horizontal y en la Figura 16 las correspondientes al eje vertical.

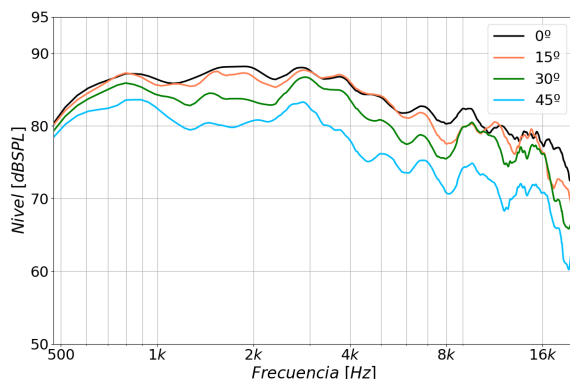


Figura 15: Respuesta en frecuencia horizontal.

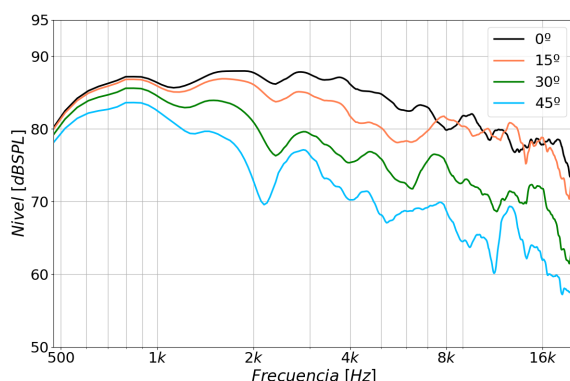


Figura 16: Respuesta en frecuencia vertical.

En ambas figuras se aprecia como, a medida que la dirección del sistema se aleja del eje, más se reduce el nivel captado por el micrófono. Esta tendencia se acentúa a medida que aumenta la frecuencia. Algunas curvas no cumplen con esta disposición, ya que en altas frecuencias superan a la respuesta en el eje, lo cual se dan debido a resonancias acústicas propias del driver.

Por otro lado, también es visible el hecho de que, en bajas frecuencias, esta reducción del nivel no es tan drástica, debido a la omnidireccionalidad en esta parte del espectro.

En general, se considera que el perfil vertical de la bocina es aquel cuya apertura es más paulatina, lo cual está asociado a un menor ángulo de cobertura. El perfil horizontal de la bocina utilizada presentada un ligero estrechamiento en la cavidad que se conecta en la garganta, lo cual genera que la apertura comience a partir de un diámetro de garganta más pequeño que el diámetro del driver, contribuyendo a que la apertura exponencial genere una radiación más amplia en alta frecuencia.

El hecho de que el ángulo de cobertura horizontal sea mayor al vertical se debe a una intención del diseño en función del uso común que se le da a estos sistemas. Si se quiere implementar un sistema con bocina para cubrir una determinada área de oyentes, puede asumirse que la altura de escucha es prácticamente la misma para todas las personas, con lo cual no se requiere un gran ángulo de cobertura vertical. Sin embargo, dado que los oyentes se disponen de manera horizontal, para que la radiación llegue a todos, se necesita cubrir horizontalmente un ángulo amplio.

Por otra parte, la similitud de las curvas de 0° y 15° entre aproximadamente 2 kHz y 7 kHz resulta en un comportamiento deseable a la hora de diseñar este tipo de sistemas, ya que se busca que la respuesta acústica del sistema no cambie notablemente ante una ligera rotación.

Además, en las respuestas correspondientes al eje vertical se aprecian valles que se van acrecentando a medida que el sistema se aleja del eje de 0° , generando así un filtro peine que va a estar dado por cancelaciones en el punto de escucha. Lo propio tiene que ver con lo mencionado anteriormente, justamente este comportamiento denota que la apertura vertical es menor que la apertura horizontal.

En la Figura 17 se compara la respuesta del driver sobre el eje con y sin bocina.

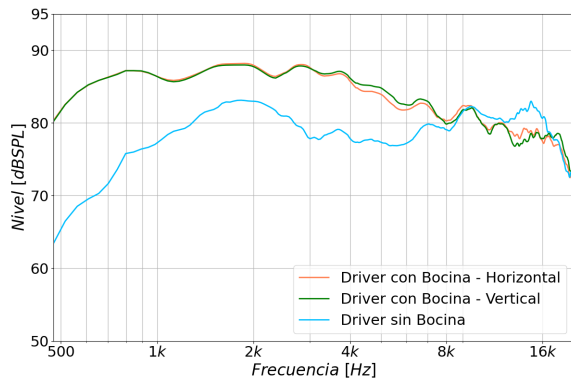


Figura 17: Comparación respuesta del driver con y sin bocina.

En la misma se puede observar la diferencia de nivel existente entre las curvas correspondientes al driver con bocina y sin bocina. Esto se debe justamente al efecto de transformador acústicos que caracteriza a la misma. Tendiendo a bajas frecuencias, la impedancia de radiación de un driver al aire libre tiende a ser reactiva con lo cual se vuelve difícil para el transductor generar un alto nivel de presión sonora. Ahora bien, al acoplar una bocina a un driver de compresión lo que se hace es modificar la impedancia vista por el diafragma del mismo, haciendo que la potencia que antes era reactiva, se vuelva activa, lo que se traduce en una extensión hacia las bajas frecuencias del transductor.

Para profundizar el estudio de la respuesta del sistema, en la Figura 18 se puede apreciar el Spinorama calculado a partir de la norma ANSI-CTA-2034-A.

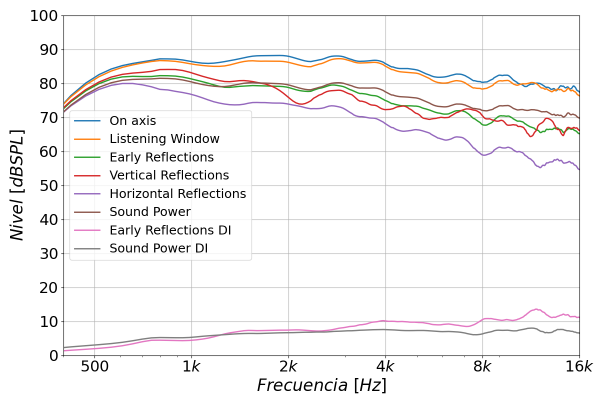


Figura 18: Spinorama.

En primer lugar, se puede decir que las curvas de respuesta en el eje y listening window son muy similares. Esta última curva, muestra lo que escuchará en promedio una persona que se encuentre frente al sistema, con lo cual, cuanto más se acerque dicha curva a la respuesta en el eje, mayor será la información directa que reciba

el oyente. Por otro lado, la curva de early reflections es la combinación de la energía reflejada en ángulos extremos fuera del eje. La misma es muy importante debido a que éstas son las reflexiones que contienen más energía y son un factor dominante en la respuesta en frecuencia en una habitación, con lo cual, como en este caso la curva no presenta ninguna irregularidad en comparación con la respuesta en el eje se puede decir que dichas reflexiones no van a afectar negativamente (generando cancelaciones y sumas) a la calidad de la respuesta.

La curva correspondiente a sound power indica la salida total de potencia del sistema a medida que se propaga en todas las direcciones. En general se busca que sea lo más paralela posible a la respuesta en el eje lo que implica una relación directa de la energía radiada y la potencia. Por otro lado, en las curvas referentes a los índices de directividad se puede ver que existe un aumento progresivo en la direccionalidad del sistema en función de la frecuencia. Si bien en muy altas frecuencias existe alguna irregularidad en la curva, por debajo de 10 kHz , la misma se mantiene sin fluctuaciones, logrando un objetivo clave en el diseño de un sistema de este tipo que es obtener una directividad constante con la frecuencia.

3.4. Ruido de fondo en tercios de octava

En la Figura 19 se presenta la respuesta en magnitud de los filtros que son aplicados. Los mismos tratan de filtros digitales Butterworth de sexto orden, debido al ancho de banda necesario para filtrar por tercios de octava, dado que por normativa para medir niveles de presión sonora, los filtros deben ser al menos de orden 3. Por lo tanto, estos filtros son utilizados para filtrar la señal de ruido normalizada con la señal de calibración, para posteriormente obtener el espectro de ruido presente durante la medición, lo cual se observa en la Figura 20.

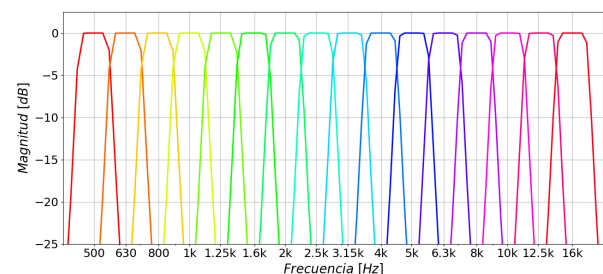


Figura 19: Magnitud de los filtros Butterworth de sexto orden por tercio de octava.

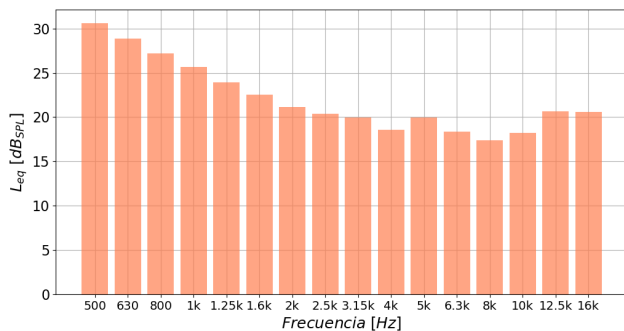


Figura 20: Nivel de ruido continuo equivalente por tercios de octava.

Se observa que el ruido concentra mayor energía en bajas frecuencias, es decir, por fuera de la zona de interés para el estudio de una unidad de alta frecuencia.

Para toda la parte de interés del espectro, el ruido se mantiene siempre por debajo de los 25 dB. Por lo tanto se considera que no tuvo una influencia determinante en las mediciones, ya que las mismas se hallan en su mayoría por encima de los 70 dB para el rango frecuencial en análisis, asegurando así un rango dinámico aceptable a la hora de la medición y la evaluación de los resultados obtenidos.

4. CONCLUSIONES

Tras el análisis de los resultados, se concluye que tanto las mediciones como su posterior procesamiento se llevaron a cabo con éxito, a pesar de las condiciones de medición no ideales. Es importante destacar que todos los gráficos generados muestran coherencia y concuerdan con lo esperado.

Además, se logra una notable concordancia con los datos proporcionados por el fabricante, tanto en lo que respecta al driver de compresión como a la bocina. No obstante, cabe aclarar que los resultados asociados a la bocina no son del todo comparables, dado que se desconoce el driver empleado por el fabricante para sus mediciones. La principal discrepancia se encuentra en los ángulos de cobertura registrados, ya que el fabricante indica 60° en el eje horizontal y 40° en el vertical. Sin embargo, no se especifica qué parte del espectro ni que criterios se consideraron al estimar estos ángulos de cobertura.

Por otro lado, se destacan otros resultados que respaldan la calidad de las mediciones, especialmente en lo que respecta a las respuestas en frecuencia en el eje. Tanto en la posición horizontal como en la vertical, ambas curvas muestran una gran similitud, como debe ocurrir. Esto subraya que la posición del eje de medición fue adecuada y precisa.

Por último, se recalca la importancia de cada procesamiento aplicado a las mediciones y los gráficos obtenidos, ya que cada uno releva la información de manera

distinta. En el caso de las respuestas en frecuencia, han permitido una mayor precisión en la delimitación de la zona de directividad constante de la bocina. Esto se ha evidenciado claramente, ya que a partir de cierta frecuencia, todas las curvas correspondientes a diferentes rotaciones mantenían una forma muy similar, hasta alcanzar el límite de alta frecuencia. Este gráfico también posibilita reafirmar los ángulos de cobertura estimados, al observar las diferencias de nivel para ciertos ángulos de rotación con respecto al eje.

REFERENCIAS

- [1] *Driver HF DE64TN*. Disponible en línea: <https://www.bcspeakers.com/es/products/hf-driver/2-0/8/de64tn-8/>
- [2] *ME60 Difusores - B&C Speakers*. Disponible en línea: <https://www.bcspeakers.com/es/products/horn/2-0/0/me60/>
- [3] *Apunte Electroacústica 2*.
- [4] Asociación Española de Normalización - *Electroacústica. Filtro de bandas de octava y de bandas de una fracción de octava (UNE-EN 61260)*.