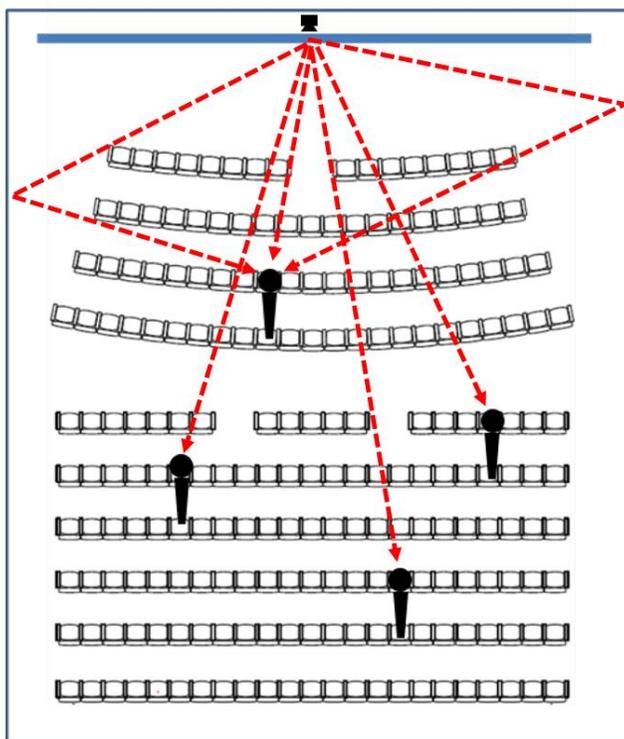


## Respuesta de altavoces en salas reales

Escrito por Barry Ferrell, vicepresidente sénior / Cine, QSC, LLC

Es un problema que ha irritado a los técnicos de cine durante décadas: ¿Por qué hay salas que, teniendo una medición de respuesta acústica similar, suenan tan diferentes entre sí?



*Img. 1. El sonido llega a cada micrófono en momentos diferentes y desde distintas direcciones.*

Lo primero que debemos tener en cuenta es cómo realizamos la medición. En cine, lo más común es utilizar un analizador en tiempo real (RTA). La mayoría de los técnicos de sonido han adoptado la técnica de multiplexado de cuatro micrófonos, que ha sido el estándar durante décadas. Esta técnica realiza una medición espacial promediada de varias ubicaciones de micrófono en la sala. ¿Pero qué medimos realmente con el RTA? Medimos todo el contenido que llega al micrófono y desde todas las direcciones, sin importar el tiempo en que tarda en llegar. Por tanto, realmente no se mide el sonido directo que llega del altavoz. Solamente se mide el TOTAL de energía que llega al micrófono en ese momento. Puede que se obtenga algo de sonido directo, pero también se obtendrán muchos tiempos de llegada diferentes procedentes de los rebotes de las paredes, el suelo, el techo, el mobiliario y otras superficies, cada una con sus propias características de absorción, difusión y rebote.

A lo largo de los años, muchos investigadores, especialmente el Dr. Floyd Toole y el Dr. Sean Olive, que formaron parte del Consejo Nacional de Investigación de Canadá, han realizado un magnífico trabajo relacionando mediciones objetivas con la calidad de sonido subjetiva, lo que nos ayuda a entender cómo medir un altavoz y cómo hacer que “suene bien”. ¿Pero qué escuchamos con el oído humano? A diferencia de un micrófono convencional, nuestros oídos pueden distinguir la dirección y el tiempo de llegada. De este modo, cuando estamos en el cine y escuchamos algo, podemos concentrarnos y localizar la procedencia del sonido, y sabemos que proviene de tal o cual altavoz de la pantalla. Sí, hay rebotes, reverberación y eco en la sala, pero al oído humano hace un magnífico trabajo, ignorando gran parte de eso. Sin embargo, si esperamos obtener resultados coherentes en distintas salas haciendo la medición del sistema con un dispositivo que no toma en cuenta la dirección ni el tiempo de llegada, será una tarea imposible.

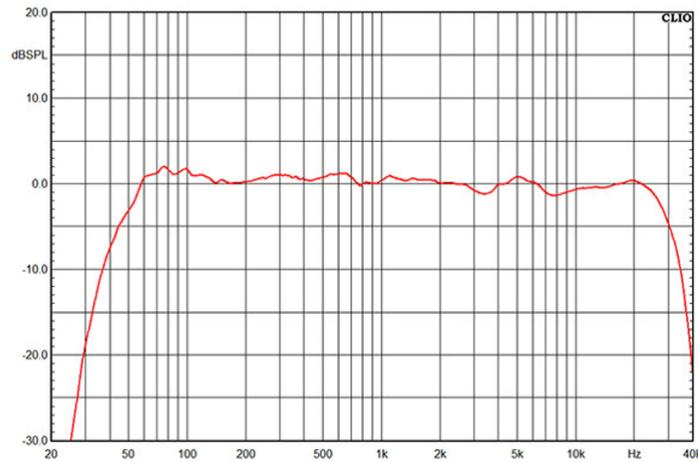
Si la frecuencia (o contenido espectral) de dichos rebotes varía de forma significativa respecto a la del sonido directo, y luego medimos y ajustamos el sistema con un RTA, lo que oímos y lo que medimos será inevitablemente muy diferente. Por eso necesitamos un altavoz que ofrezca una cobertura uniforme, no solo dentro del eje, sino también cuando nos movemos fuera del eje del altavoz.

Entonces, ¿qué determina la calidad del sonido? En primer lugar, está la capacidad de escucha subjetiva del oyente. Pero también hay muchos factores relacionados con el altavoz. ¿Tiene una respuesta de frecuencia “plana”? Si es un altavoz de 2,3 o 4 vías, ¿las diferentes secciones tienen una “alineación de tiempo” apropiada para que la energía de cada vía alcance al oyente más o menos al mismo tiempo? ¿Los niveles están equilibrados en las frecuencias de corte? Y en cuanto a la distorsión, ¿hasta qué punto se corresponde la señal que entra en el altavoz con la que sale de él? Y, por supuesto, la pregunta clave: ¿tiene un ángulo de cobertura o “direccionalidad” uniforme en cualquier frecuencia?

También existen un sin número de variables relacionadas con la sala. Todos sabemos cómo construir buenas salas si nos tomamos el tiempo suficiente para hacerlo. Y no hace falta que cuesten mucho dinero. Necesitamos una absorción adecuada en la sala. Necesitamos salas con buenas proporciones, evitando cosas como salas cuadradas con el mismo ancho y largo. Cuando construyes una sala con proporciones iguales, se producirán modos de resonancia a una misma frecuencia, que se sumarán y crearán cancelaciones. Por este motivo, el RTA mostrará picos y caídas (que no tienen nada que ver con los altavoces) en la respuesta de frecuencia.

Otro asunto es la colocación y orientación del altavoz. Los altavoces deben poder crear la sensación de que el sonido y la imagen sonora se originan en la imagen de la pantalla. A esto se le llama “localización”. Y deben estar orientados de forma adecuada para que proyecten su energía acústica hacia la posición de los oyentes, y no al techo ni a los muros.

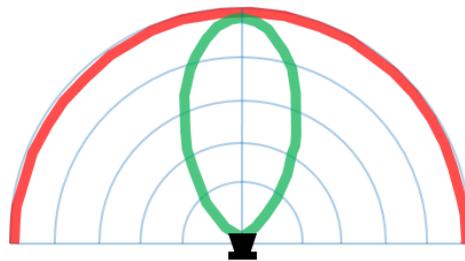
También debemos mencionar la difracción y la reflectividad de las superficies de la sala. Como mínimo, hay que tratar los muros laterales que están más cerca de la pantalla. De ellos surgen los rebotes más dañinos para la inteligibilidad de los diálogos.



*Img. 2. Respuesta de frecuencia directa sobre el eje de un altavoz.*

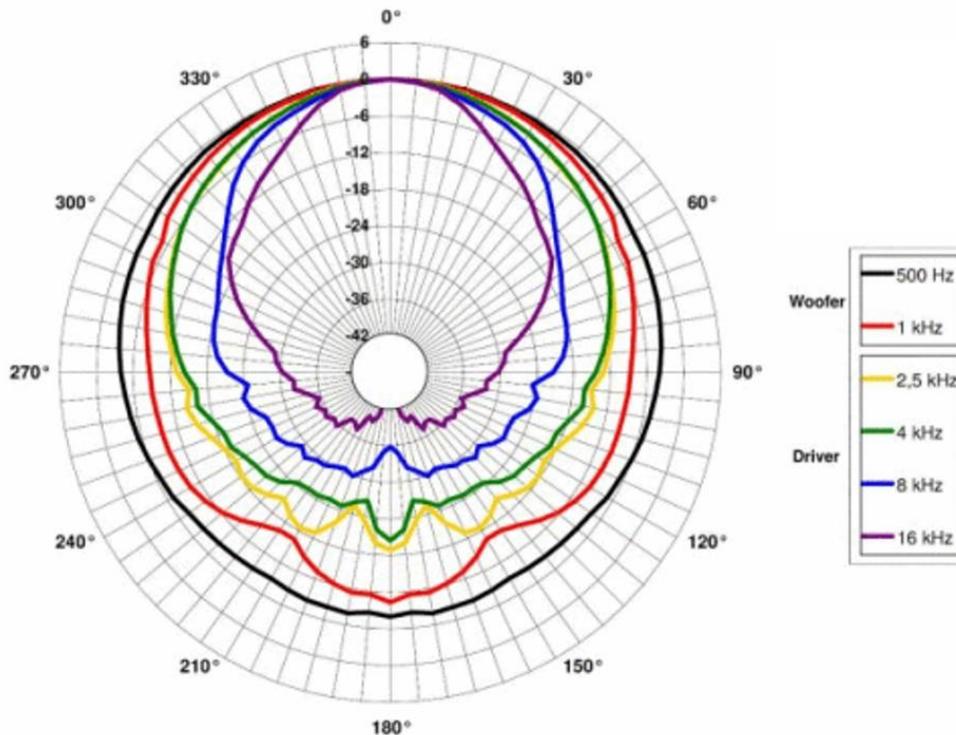
Cuando se evalúan unos altavoces, algunas personas confían en las especificaciones y datos publicados. Normalmente buscan una gráfica con una respuesta de frecuencia “plana”. Aunque es necesario que un altavoz tenga una respuesta de frecuencia plana dentro del eje, esto no basta para que haya una buena respuesta dentro de la sala en la realidad. Debemos saber más sobre ese altavoz en particular, más de lo que revelan normalmente las especificaciones publicadas. Debemos saber cómo varía el ángulo de cobertura en el espectro de frecuencias. Si un altavoz cubre un ángulo amplio, envía muchísima energía a la sala. Si cubre un ángulo muy reducido, aporta una cantidad muy pequeña de energía a la sala. Así que, incluso siendo “plano” y dentro del eje, el RTA mostrará picos y caídas en función de los cambios del ángulo de cobertura del altavoz a lo largo de la respuesta de frecuencia. La mayoría de técnicos de cine reaccionan a esos picos y caídas ajustando la ecualización (normalmente de forma drástica). ¿Qué consecuencias tiene esto? Se distorsiona el sonido directo que llega del altavoz, que antes era “plano”, lo que empeora tanto el problema como el sonido.

¿Qué hace realmente un altavoz? Con un altavoz de radiación directa (como un woofer) sin guía de ondas o bocina en la parte frontal, el ángulo de cobertura disminuye de forma natural a medida que la frecuencia sube. Esto se debe a que la longitud de onda del sonido se acorta y el altavoz es capaz de controlar de forma más precisa ese sonido y hace que tenga una direccionalidad más precisa.



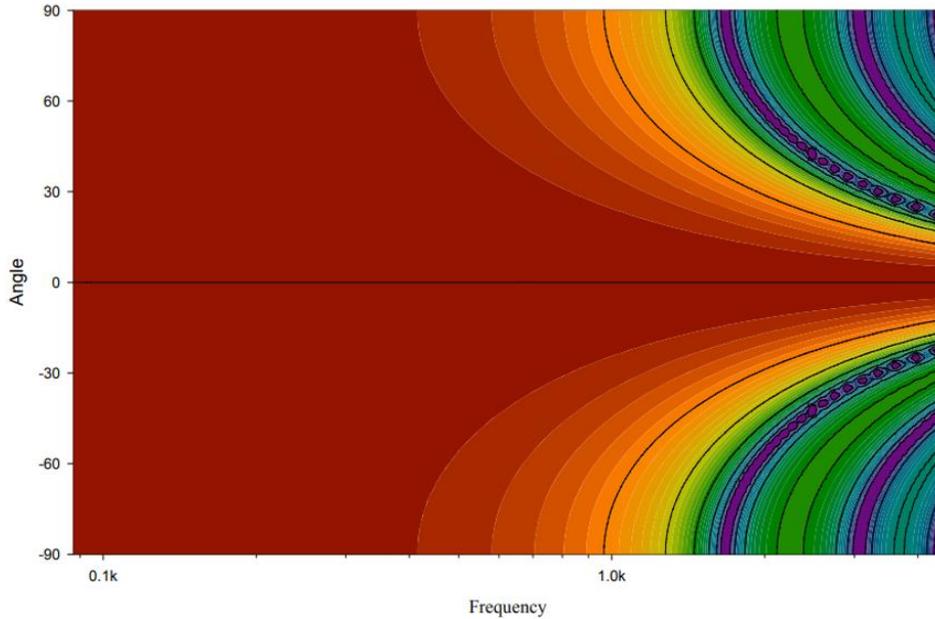
*Img. 3. Representación polar de la dispersión de un altavoz en frecuencias altas y graves.*

Si miráramos la representación gráfica del patrón de cobertura de ese altavoz, veríamos que las frecuencias altas (representadas por la línea verde) serían muy estrechas. El sonido parecerá caer muy rápidamente a medida que salimos fuera del eje. Las frecuencias graves (representadas por la línea roja) serían muy amplias. En las frecuencias graves, un altavoz es casi omnidireccional. Si queremos una “direccionalidad constante”, la única manera de acercarnos es añadiendo una bocina o una guía de ondas.



*Img. 4. Ejemplo de un diagrama polar de un altavoz.*

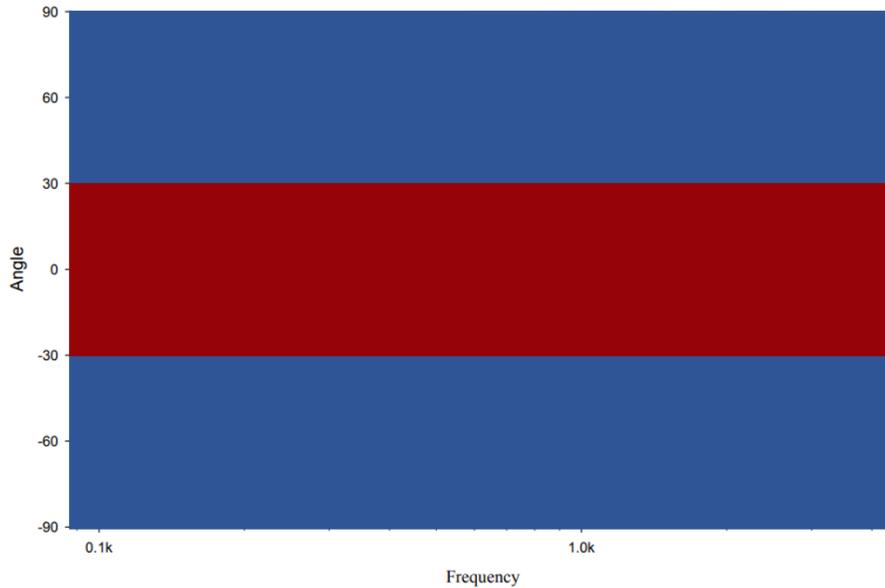
Esto suena muy bien, pero, ¿de qué sirve? ¿Cómo saber más sobre un altavoz en particular que estemos estudiando? Muchas compañías de altavoces publican los denominados “diagramas polares”. Básicamente, cada una de las líneas representa la cobertura de dicho altavoz en diferentes intervalos de frecuencia. En las frecuencias más altas, se muestra una cobertura controlada. Pero en las frecuencias graves, se vuelve virtualmente omnidireccional de forma inevitable, produciéndose casi el mismo nivel de presión sonora en la parte trasera del altavoz que en la delantera. Pero no podemos hacer mucho con estos datos. Nos cuentan de forma intuitiva lo que hace el altavoz, pero hay otras formas de estudiarlos.



*Img. 5. Espectrograma.*

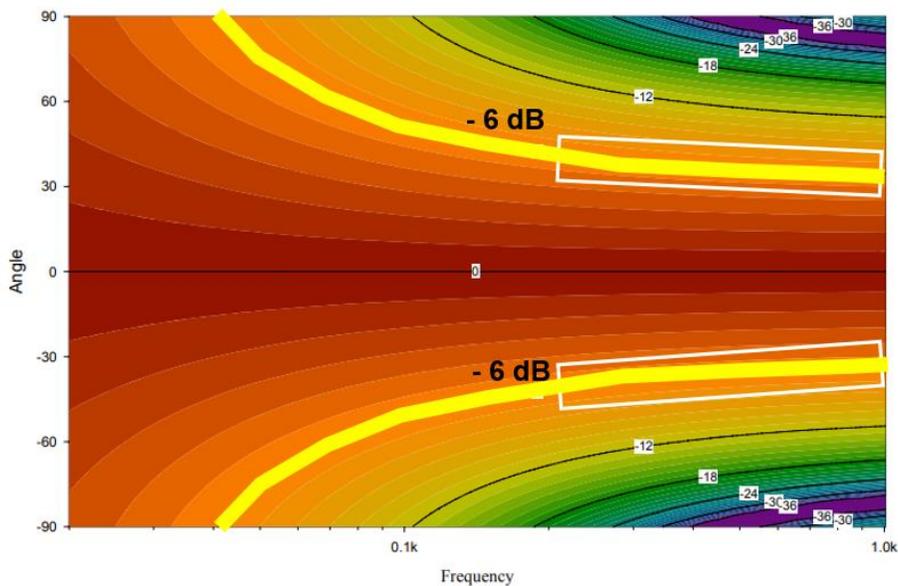
Un espectrograma utiliza diferentes colores para representar distintos niveles de presión sonora, mostrando las frecuencias a lo largo de la parte inferior del eje X de la gráfica y el ángulo de cobertura a lo largo del eje Y. En la línea central se encuentra el sonido directo dentro del eje del altavoz. A medida que sube o baja, se muestra la cobertura cada vez más fuera del eje.

La imagen 5 es el espectrograma teórico de un transductor de tipo “pistón”, que mueve aire por medio del movimiento mecánico de un pistón (una bobina de voz en un campo magnético) conectado a un cono o diafragma. En las frecuencias graves, el amplísimo nivel de presión sonora en rojo (mostrado en la región roja) es el nivel de presión sonora más alto, lo que indica la omnidireccionalidad esencial de las frecuencias graves. Todos los altavoces convencionales se comportan de esta manera. La diferencia entre los tipos de altavoz radica en lo rápido (en qué frecuencia) comienza a reducirse. Un altavoz con un diámetro mayor se reducirá en una frecuencia más grave, mientras que un altavoz más pequeño se reducirá en una frecuencia más alta. En las frecuencias más altas a la derecha, la radiación (o cobertura) se reduce mucho, lo que también se conoce como “haz de sonido”.



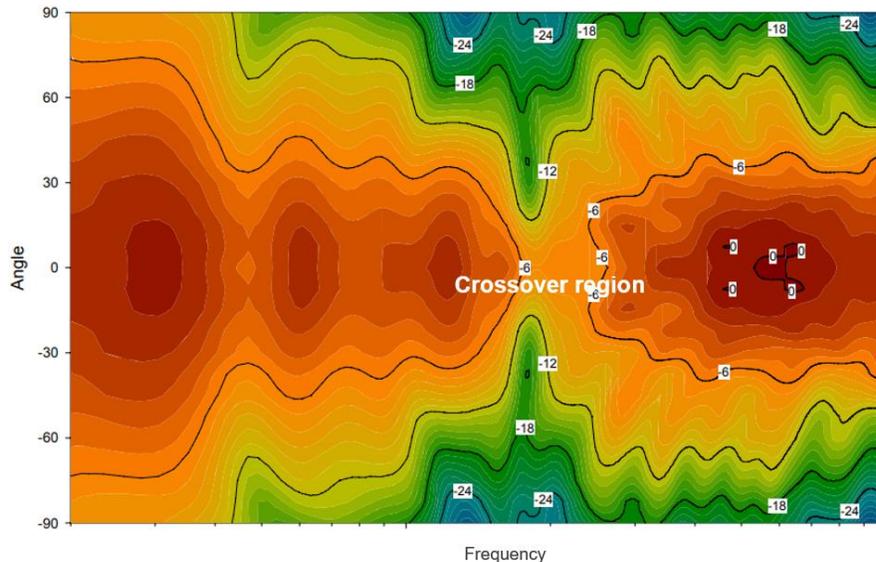
*Img. 6. Espectrograma de un altavoz ideal.*

Si pudiéramos fabricar el altavoz perfecto, ¿cómo sería su espectrograma? Lo ideal sería un altavoz que tuviera exactamente el mismo ángulo de cobertura en todas las frecuencias (representado en la imagen 6). Tendría el mismo volumen en todas las frecuencias hasta que se alcancen los límites de cobertura (60 grados en este caso), y luego el sonido desaparecería. Como cabría esperar, esto no existe en la vida real. Simplemente es algo imposible de acuerdo con las leyes de la física. Lo que podemos hacer es fabricar un altavoz que tenga una cobertura muy buena en las frecuencias medias y altas, con una transición uniforme hacia la amplia cobertura de los woofers.



*Img. 7. Espectrograma de un altavoz real.*

En esta gráfica de un altavoz real de 2 vías (Img. 7), las frecuencias medias y altas están muy cercas al paralelo. Esto es lo que mostraría en el mundo real un altavoz que se comporte bien. Recordemos que el mantenimiento de la cobertura en las frecuencias graves depende del tamaño físico del altavoz.



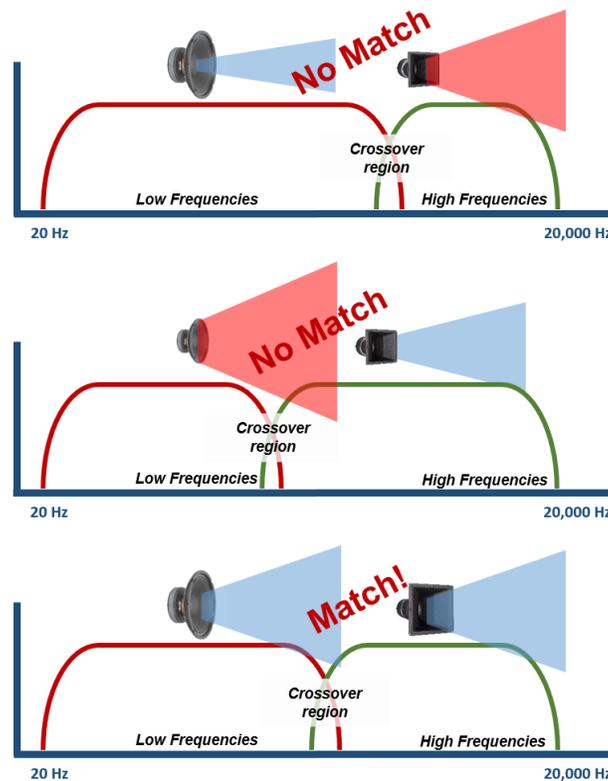
*Img. 8. Espectrograma de un altavoz con control deficiente.*

Si tomamos ese ejemplo como el “ideal”, consideremos ahora el otro extremo: un altavoz de 2 vías con un control deficiente. La imagen 8 muestra un altavoz real que tiene una frecuencia de corte muy mal diseñada. No tiene un buen ajuste entre el woofer y el tweeter de alta frecuencia. Se puede ver que hay un vacío tremendo donde disminuye la cobertura. Lo que ha pasado es que el woofer intenta reproducir frecuencias más altas de lo que puede controlar el patrón, por lo que la cobertura se vuelve muy estrecha. Por encima de la frecuencia de corte, la bocina es demasiado pequeña para mantener el patrón de control en la frecuencia de transición y, por ello, el ángulo de cobertura aumenta mucho de nuevo en las frecuencias altas. Se puede ver que esto causa una pérdida significativa de energía en las frecuencias medias, lo que se refleja como una caída en el RTA. Muchos técnicos intentarán mitigarlo reforzando la ecualización, lo que dará como resultado un gran pico en el campo directo del altavoz. Recordemos: este es un altavoz con una medición plana sobre el eje, pero no va a sonar muy bien en todos los lugares de la sala.

Para cuantificar todo esto, el Índice de Direccionalidad (ID) es una medición muy útil. La mejor forma de conceptualizar el ID es imaginando un punto de origen, que será la fuente de sonido teórica, un “punto” en el espacio que irradia energía en todas las direcciones por igual. Si utilizamos una guía de ondas (bocina) o un array de altavoces idénticos para reducir el ángulo de cobertura, podremos aumentar la cantidad de energía liberada en una parte más pequeña de la sala. Eso incrementa el nivel del sonido en esa zona en cierto número de decibelios a una distancia determinada. Este número es el Índice de Direccionalidad. Indica en qué medida un altavoz suena más fuerte en relación a la misma cantidad de energía acústica, si lo comparamos con una fuente puntual omnidireccional. El resultado será que el índice de

direccionalidad de un altavoz tradicional con bocina es de 8 a 10 dB. Un aumento de 10 dB es percibido como el doble de intenso, por lo que podemos utilizar la bocina para hacer que una cantidad de energía acústica determinada produzca 10 veces más potencia acústica, que sonará el doble de intenso simplemente concentrando esa energía en una sección más pequeña de la sala.

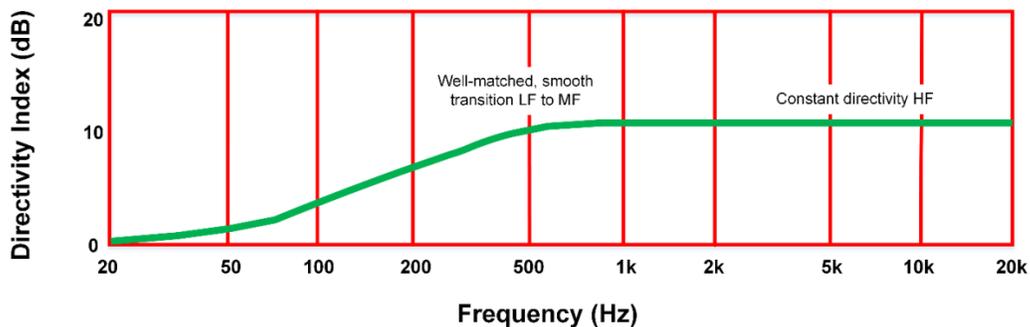
“Direccionalidad constante” significa que vamos a cubrir el mayor área posible en el mayor intervalo de frecuencias posible. En la práctica, el objetivo será cubrir la mayor cantidad posible de público con la misma respuesta de frecuencia en todas las posiciones de escucha. Pero esto solo será práctico desde las frecuencias medias a las agudas. Por ejemplo, una bocina de 30 pulgadas del altavoz del canal de la pantalla de un cine suena bien hasta los 500 o 600 Hz. Un gran altavoz envolvente de alta potencia con una bocina de 15 pulgadas mantendrá la cobertura hasta bajar a 1 kHz; una bocina más pequeña, de 12 pulgadas, mantendrá una amplia cobertura hasta bajar a los 1,5 kHz. Pero un altavoz diminuto de 8 pulgadas y su correspondiente bocina solo mantendrá probablemente un patrón de control hasta bajar a los 2,5 kHz o 3 kHz.



*Img. 9. Igualar el patrón de cobertura en la frecuencia de corte es fundamental para obtener un buen rendimiento del altavoz.*

Cuando se trata de mantener la direccionalidad, el tamaño importa. El trabajo del diseñador de altavoces es elegir los componentes adecuados para cubrir adecuadamente el intervalo de frecuencias más amplio posible, y hacerlo con un buen ajuste de direccionalidad en las frecuencias de corte. Esto solo se consigue utilizando bocinas que sean casi del mismo

tamaño que el woofer. También necesitamos transductores de compresión de mayor tamaño que puedan llegar a una frecuencia de corte más baja, dependiendo del tamaño del woofer (y por tanto del patrón de cobertura). Si el diseño produce picos y caídas en el índice de direccionalidad, veremos picos y caídas en el RTA, lo que no podrá corregirse con ecualización. Quizá podamos hacer que se vea bien en la pantalla del RTA, pero no sonará bien.



*Img. 10. Índice de direccionalidad ideal para el altavoz del canal de la pantalla en todo el espacio (4 $\pi$ ), presentación del Dr. Floyd Toole; Convención AES de 2012; San Francisco; "Home Theaters to Cinemas: Sound Reproduction in Small and Large Rooms".*

Si miráramos el índice de direccionalidad ideal para el altavoz del canal de una pantalla, veríamos una direccionalidad constante hasta bajar a unos 500 Hz, que se ampliaría gradualmente de forma natural a medida que alcanzamos las frecuencias más graves (Img. 10). El índice de direccionalidad a 0 dB es omnidireccional.

¿Por qué es tan importante el índice de direccionalidad? Cuando un altavoz produce una amplia cobertura, envía más energía a la sala; cuando la cobertura es más reducida, proporciona menos energía a la sala. Por eso, si tenemos picos y caídas en el índice de direccionalidad, se verán reflejados en las mediciones que se hagan en la sala. Si creáramos una gráfica del índice de direccionalidad y la invirtiéramos, mostraría una muy buena aproximación de la medición que daría un altavoz en una sala real en las frecuencias graves y medias. En las frecuencias más altas nos topáramos con la absorción atmosférica y otros factores. Es inevitable que un altavoz con un índice de direccionalidad irregular o una respuesta deficiente dentro del eje suene mal en comparación con un altavoz que se comporte bien. Una respuesta plana dentro del eje no es *por sí solo* un indicador del buen comportamiento de un altavoz. Y por último, dicho índice de direccionalidad irregular o ángulo de cobertura deficiente no pueden solucionarse con procesamiento digital de señales o mediante ecualización. Es una parte inherente e inevitable del diseño acústico del altavoz.

Esto no significa que sea imposible diseñar un altavoz que funcione bien en una sala real. Si se compara una medición real de un altavoz de alta calidad del canal de la pantalla con la Imagen 10, ambas serían muy parecidas. Varios fabricantes producen altavoces para el canal de la pantalla que se comportan realmente bien y se pueden adquirir por un precio razonable. Solo es necesario que el fabricante de altavoces preste especial atención a los detalles. En el

mundo real, este altavoz necesitará muy poca ecualización, ya que al situarlo detrás de la típica pantalla perforada, dicha respuesta de frecuencia plana dentro del eje se traducirá de forma bastante natural en la curva X deseada.

Una buena respuesta de frecuencia dentro del eje es necesaria, aunque insuficiente para obtener un buen sonido. Los altavoces con direccionalidad constante en las altas frecuencias y una transición uniforme de las bocinas de frecuencias graves a las de frecuencias altas serán más fáciles de ecualizar y proporcionarán un mejor sonido en la sala. Hay algunas pistas visuales que pueden indicar que existe una buena direccionalidad, como que el tamaño de la bocina de altas frecuencias sea tan grande como el woofer o que haya un transductor de altas frecuencias grande y permita que la frecuencia de corte sea lo suficientemente baja como para prevenir que se produzca el haz de sonido de los woofers en la frecuencia de corte. En pocas palabras, la ecualización in situ de un altavoz con un diseño deficiente nunca ofrecerá un buen sonido, independientemente de lo bien que salga el RTA. Y nuestros oídos lo notarán.