

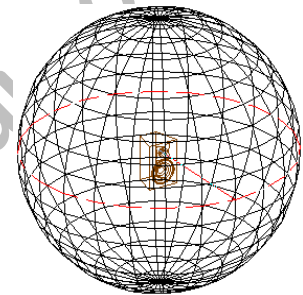
Directividad de altavoces. Terminología y representaciones

José Brusi, Brusi Acoustical Consulting

Al examinar la literatura técnica y comercial de los diversos fabricantes nos encontramos con muy diversos términos y representaciones con relación a la directividad de los altavoces. En este artículo trataremos de definir los términos más usuales y explicar las diferentes formas de representar la información de directividad.

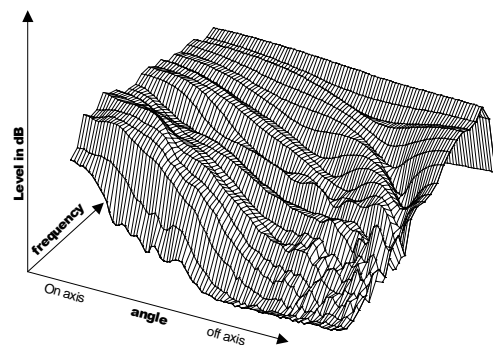
Medida de la directividad

Para realizar medidas completas de directividad, hemos de medir el nivel de presión sonora (SPL) alrededor de una esfera en cuyo centro está el altavoz. El diámetro de esta esfera deberá ser grande comparado con la dimensión del altavoz. En la figura se muestra el montaje. Las medidas se realizan en todas las frecuencias. Con todo ello podremos saber el nivel de presión sonora para cualquier frecuencia y a cualquier ángulo.

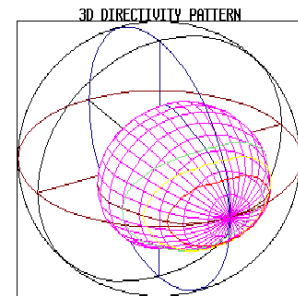


En la práctica estas medidas se realizan colocando un micrófono a una distancia práctica de la fuente (normalmente alrededor de 4 metros), y girando el altavoz para conseguir los diferentes ángulos. Normalmente esta rotación se realiza alrededor de un eje, de forma que se necesita un pase diferente para cada corte esférico, es decir, que necesitaríamos dos pases para sacar curvas polares horizontales y verticales (que corresponderían al ecuador y un meridiano de la esfera). Idealmente un mediría en todas las posiciones de la esfera, aunque en la práctica la mayor parte de los fabricantes mide solamente el plano horizontal y el vertical, ya que la medida de la esfera completa es compleja y requiere de giro en dos ejes (si habláramos del globo terráqueo pensaríamos en medir a lo largo de todos los meridianos y todos los paralelos).

El resultado final es una respuesta en frecuencia para cada punto de la esfera de medida, con resolución que puede variar de 1/24 de octava a 1/3 de octava, con una resolución angular que está entre 1 y 10 grados. La figura contiene un conjunto de estas respuestas en frecuencia para el corte horizontal, que se representa como un gráfico de cascada (en inglés, *waterfall*). Estos datos de alta resolución muestran la transición desde una respuesta plana en el eje (enfrente de la caja) a una respuesta dominada por los bajos fuera del eje (detrás de la caja). Pueden visualizarse los puntos de medida como el "ecuador" de la esfera.



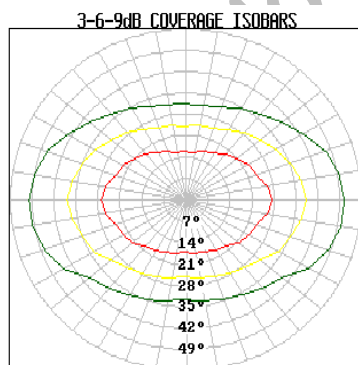
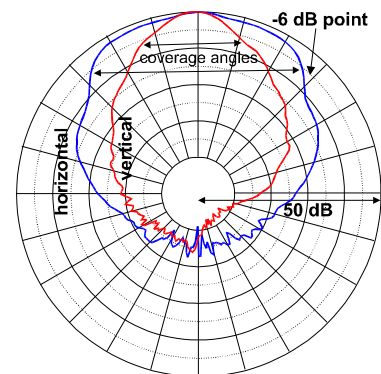
Cuando se utiliza un gráfico tridimensional que contiene todos los puntos de la esfera para una frecuencia concreta, tenemos lo que se conoce como "globo de directividad" (en inglés *directivity balloon*). Viendo la figura siguiente comprendemos enseguida el porqué de este nombre, y observamos un globo que está "aplastado", ya que corresponde a un difusor (trompeta) que es más abierto en horizontal que en vertical. Como ejemplo a lo largo de este artículo emplearemos el formato de caja acústica profesional más común, un altavoz de 15" de dos vías.



En el año 1994, creé para DAS Audio la plataforma AUTOPOL de medidas de directividad de alta resolución, que aún hoy en día es uno de los sistemas de medida muy avanzado, ofreciendo una resolución angular de 2 grados y 1/24 de octava en frecuencia. AUTOPOL se encargaba de automatizar las medidas y su post-procesado, haciendo posible la publicación en hojas técnicas de información muy detallada con respecto a la directividad de los altavoces, así como la generación de ficheros de datos para programas de modelado.

Curvas Polares

Si dividimos la esfera de medida en "lonchas", conseguimos las curvas polares, que son el resultado de girar el altavoz 360 grados alrededor de un eje. Para dar un ejemplo más cercano a la realidad, la medición de las polares horizontales sería algo parecido a caminar con un micrófono de medida alrededor de una caja que está en el suelo. Normalmente, solamente se publican curvas polares horizontales y verticales en las hojas de especificaciones. Un ejemplo de éstas puede verse en la figura de la derecha.



Gráficos de Isobaras

Si miráramos a la esfera de medida y uniéramos todos los puntos en los que el nivel es igual, llegaríamos a una gráfico de isobaras. La figura de la izquierda contiene uno con isobaras de -3 dB, -6 dB y -9 dB.

El Ángulo de Cobertura

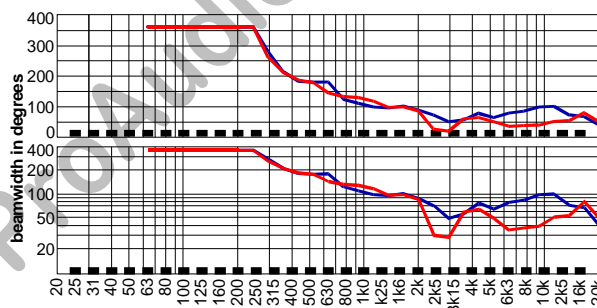
La definición más común del ángulo de cobertura es el ángulo determinado por los puntos de -6 dB en la curva

polar de un altavoz. Se elige el punto de -6 dB porque si montáramos una formación (*array*) de altavoces separados por su ángulo de cobertura tendríamos una cobertura perfectamente continua de energía acústica.

Hay cierto desacuerdo en cuanto a cual debiera ser la referencia de 0 dB en el cálculo del ángulo de cobertura. Unos fabricantes usan el nivel en el eje, mientras que otros se decantan por el nivel máximo de la curva polar. Cuando ésta es suave y regular, ambas referencias son iguales, pero cuando la respuesta es irregular, como sucede a ciertas frecuencias en las trompetas y en las regiones de cruce de cajas de varias vías, puede haber diferencias significativas.

La figura de las dos curvas polares de la página anterior se muestra gráficamente cómo se calcula el ángulo de cobertura. En este caso tendríamos un patrón de 80° x 35° en esa banda de 1/3 de octava centrada en 6.3 kHz.

En la figura de la derecha pueden verse los ángulos de cobertura horizontales y verticales con respecto a la frecuencia. Nuestro sistema de 2-vías tiene, a bajas frecuencias, una cobertura de 360 grados, que va bajando progresivamente hasta el punto de cruce, momento en el que se impone el conjunto de motor de compresión y trompeta, que mantienen una cobertura bastante constante hasta 16 kHz. Las dos ilustraciones reflejan los mismos datos, aunque la superior usa una escala vertical lineal mientras que la inferior usa una logarítmica. La última es la más común y la que personalmente siempre he utilizado para la confección de hojas técnicas, ya que aporta más detalle sobre el comportamiento de un dispositivo.



Puesto que el ángulo de cobertura varía en función de la frecuencia, las especificaciones de los fabricantes proporcionan un valor nominal que resulta del promedio de un rango de frecuencias, a menudo el rango de la trompeta de agudos. Este valor normalmente coincide con "ángulos nominales" como 90°, 60° o 40°.

El Factor Q

El factor Q es una expresión matemática de la directividad que resulta de comparar el nivel en el eje con el nivel medio de todos los puntos de la esfera de medida. En la práctica, el factor Q se calcula a menudo solamente de las polares horizontales y verticales.

Las fuentes directivas producen factores altos de Q. Una fuente omnidireccional (que radia el mismo nivel en todos los ángulos, casi como un sub-bajos en bajas frecuencias) posee un factor Q de 1. Una fuente hemisférica, similar a una omnidireccional que hemos situado contra la pared, tiene un factor Q de 2.

Al igual que con el ángulo de cobertura, existen diferentes métodos para el cálculo del Q que producen resultados ligeramente diferentes.

El Índice de Directividad (DI)

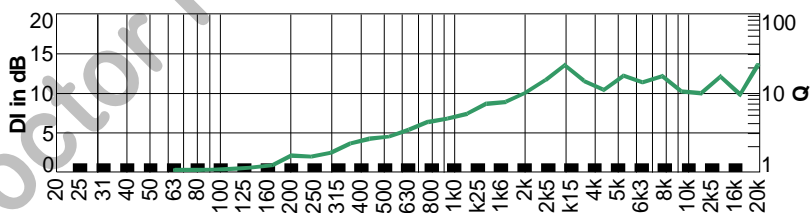
Es lo mismo que el factor Q, pero expresado en forma logarítmica como sigue:

$$DI \text{ (en dB)} = 10 \cdot \log(Q)$$

Así, una fuente omnidireccional posee un factor Q de 1 y un factor de directividad de 0 dB, mientras que una fuente hemisférica tiene un factor de Q de 2 y un factor de directividad de 3 dB. Índices de directividad típicos para una trompeta estarían entre 10 y 20 dB, que corresponden a factores Q de entre 10 y 100. El DI para las polares de la Figura 4 es de 12 dB y su factor Q es de 16.

La sensibilidad de un altavoz en el eje y el DI tienen correlación directa. Asumiendo el mismo motor de compresión, una trompeta con X dB más de directividad que otra tendrá X dB más de sensibilidad. O un sub-bajos colocado contra la pared incrementará su sensibilidad en 3 dB (el DI cambiará de 0 a 3 dB, factor Q de 1 a 2) comparando con la sensibilidad en campo libre.

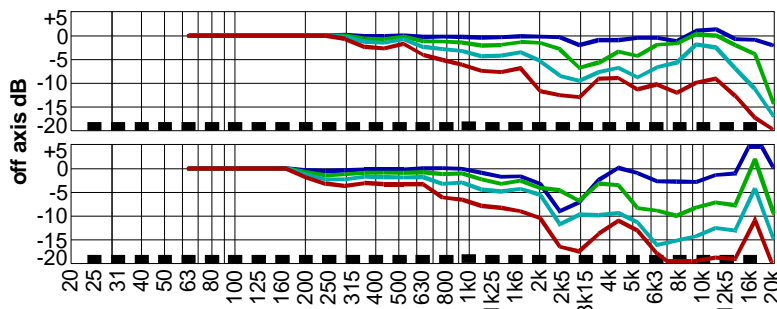
La figura de la izquierda muestra el Q y el DI con respecto a la frecuencia del sistema de dos vías que estamos utilizando como ejemplo. Observamos una respuesta ascendente que



corresponde al estrechamiento progresivo del altavoz de 15" a medida que sube de frecuencia. Por contra, la directividad de la trompeta se mantiene relativamente constante con la frecuencia, como corresponde a una trompeta de directividad constante (CD, del inglés *constant directivity*). Usualmente se representan los resultados de DI, Q y ángulo de cobertura para bandas de 1/3 de octava.

Respuestas relativas en frecuencia fuera del eje

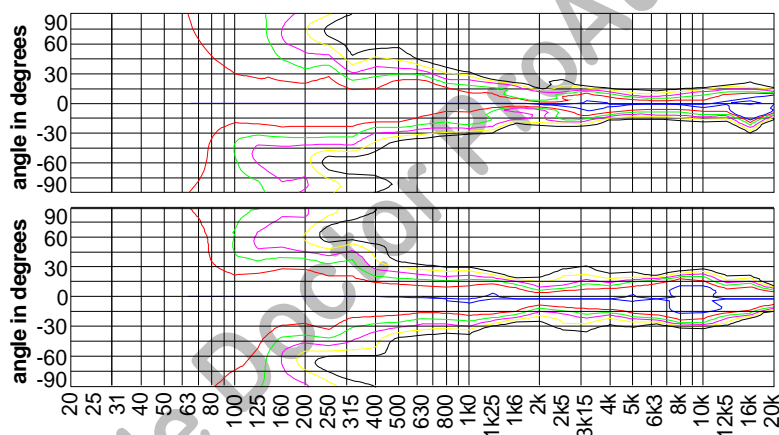
A menudo se muestran también las respuestas en frecuencia en ángulos concretos fuera del eje y relativas a las respuestas en el eje. Así, la respuesta de 0 grados sería una línea recta que pasa por 0 dB. Normalmente se proporciona



un conjunto de curvas de respuesta que corresponden a intervalos de 10 o 15 grados. Usualmente sólo se da un conjunto de curvas para horizontal y otro para vertical, aunque también se pueden proporcionar las respuestas arriba-abajo e izquierda-derecha, lo que es interesante para observar si hay asimetrías. La Figura 8 muestra las respuestas relativas en frecuencia, horizontales y verticales, de nuestro altavoz de ejemplo en intervalos de 15 grados (0-15-30-45 grados).

Representaciones para muchos datos

Cuando pensamos en representar todos los puntos medidos para todas las frecuencias, se hace evidente que necesitamos gráficos muy complejos. La figura siguiente muestra otra representación isobárica. El ángulo de medida se muestra con respecto a la frecuencia. En este caso, las isobaras utilizan incrementos de 1 dB desde 0 dB (azul) a -6 dB (negro). Esta última isobara representa el ángulo de cobertura. La zona plana en la región de 2-16 kHz muestra la característica de directividad constante del difusor de agudos.



Modelado

Los programas de predicciones electroacústicas, tales como EASE (el estándar de facto), CATT, Ulises, LARA, Modeler™ (de Bose) o los extintos CADP2 y AcoustaCAD de los fabricantes JBL y Electro-Voice, respectivamente), utilizan representaciones de los globos de directividad de los altavoces con mayor o menor resolución angular. La proyección de la directividad de un altavoz sobre un área de cobertura puede verse para EASE (izquierda) y CADP2 (derecha).

