

Directividad de altavoces. Terminología y representaciones

José Brusi, Dpto. de Ingeniería

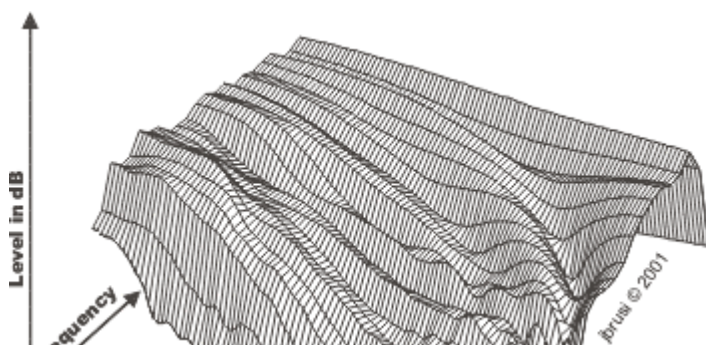
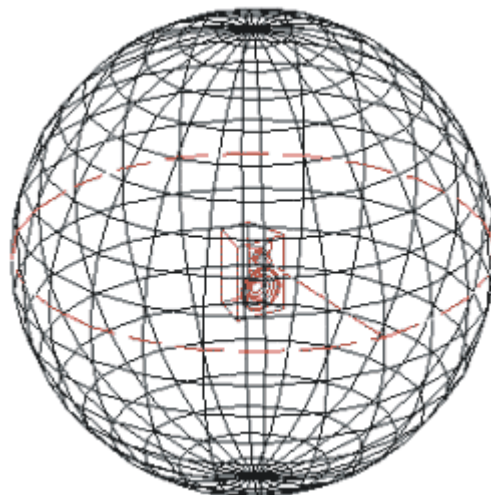
Este artículo fue publicado por las revistas Escenarios, Músicos Profesional y Pro Audio Show

Cuando estudiamos 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 presentar la información de directividad.

Medida de la directividad

Para realizar medidas completas de directividad, hemos de medir el nivel de presión sonora (SPL) en todos los puntos 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 1 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.

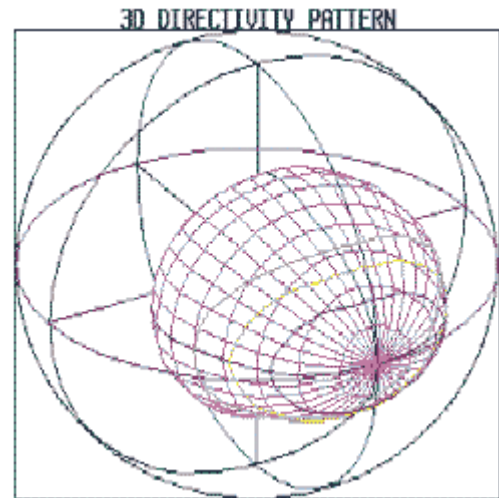
En la práctica estas medidas se realizan colocando un micrófono a una distancia práctica de la fuente (normalmente alrededor de 4 metros), y girando el altavoz para conseguir los diferentes ángulos. Normalmente esta rotación se realiza alrededor de un eje, de forma que se necesita un pase diferente para 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).



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 2 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.

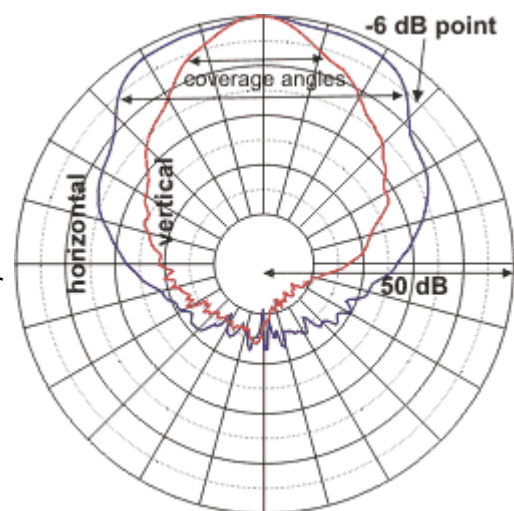
Cuando se utiliza un gráfico tridimensional que contiene todos los puntos de la esfera para una frecuencia concreta, tenemos lo que se conoce como "globo de directividad" (en inglés *directivity balloon*). Viendo la Figura 3 comprendemos enseguida el porqué de este nombre, y observamos un globo que está "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.



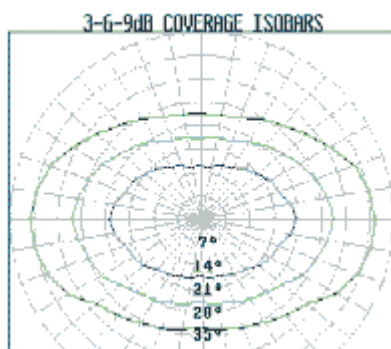
En DAS Audio creamos, en el año 1994, la plataforma AUTOPOL de medidas de directividad de alta resolución, que aún hoy en día es uno de los sistemas de medida más avanzados del mundo, ofreciendo una resolución angular de 2 grados y 1/24 de octava en frecuencia. AUTOPOL se encarga de automatizar las medidas y su post-procesado, haciendo posible la publicación en hojas técnicas de información muy detallada con respecto a la directividad de los altavoces.

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 4.



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 5 contiene uno con isobaras de -3 dB, -6 dB y -9 dB.

El Ángulo de Cobertura

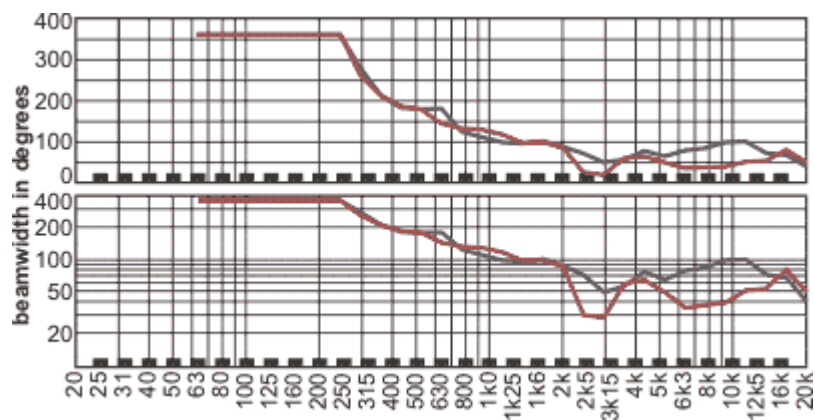
La definición más común del ángulo de cobertura es el

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.

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 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 4 (curvas polares) 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 6 pueden verse los ángulos de cobertura horizontales y verticales con respecto a la frecuencia (el gráfico superior usa una escala lineal, mientras que el inferior la usa logarítmica). 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 usada por DAS Audio, 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°. DAS Audio promedia los ángulos de cobertura en la región de 500 a 8k Hz, de forma que se tienen en cuenta la directividad de todos los componentes del sistema. En este caso el sistema tiene una cobertura de 80°x65° (horizontal x vertical).

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 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)

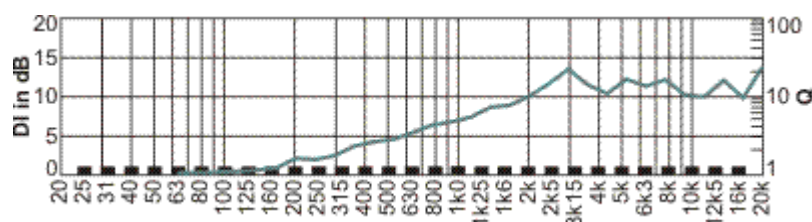
Es lo mismo que el factor Q, pero expresado en forma logarítmica como sigue:

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

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.

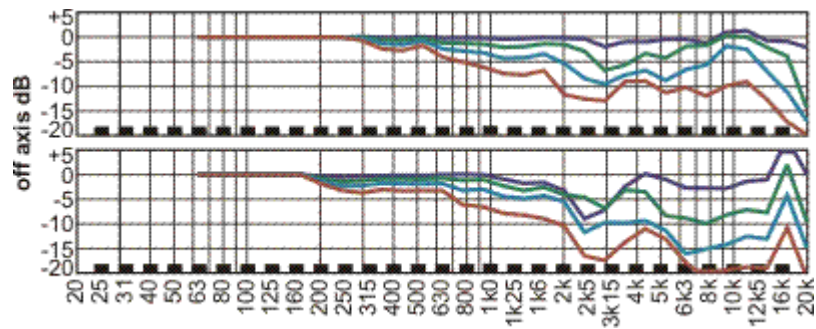
La Figura 7 muestra el Q y el DI con respecto a la frecuencia del sistema de dos vías que estamos utilizando como ejemplo. Observamos una respuesta ascendente que corresponde al estrechamiento progresivo del altavoz de 15" a medida que sube de frecuencia. Por contra, la directividad de la trompeta se 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.

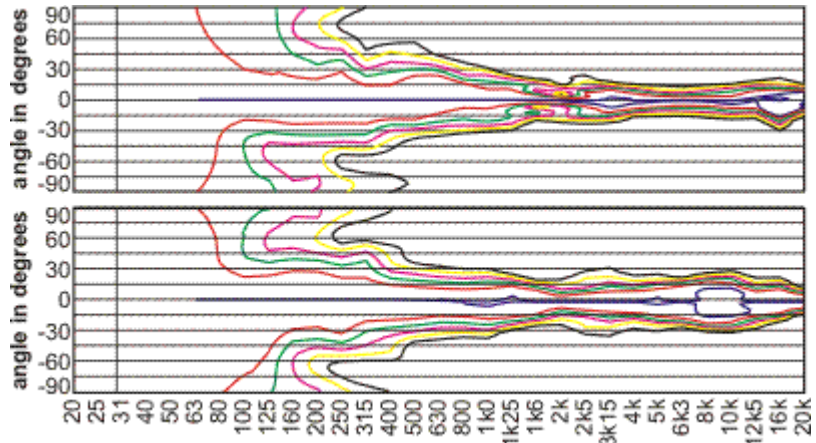
Usualmente sólo se da un conjunto de curvas para horizontal y otro para vertical, aunque también se pueden proporcionar las respuestas arriba-abajo e izquierda-derecha, lo que es interesante para observar si hay asimetrías. La Figura 8 muestra las respuestas relativas en frecuencia, horizontales y verticales,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



Representaciones para muchos datos

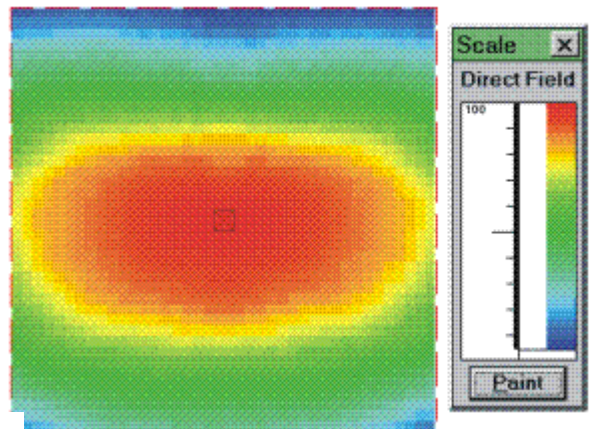
Cuando pensamos en representar todos los puntos medidos para todas las frecuencias, se hace evidente que necesitamos gráficos muy complejos. La Figura 9 muestra otra representación isobárica. El ángulo de medida se muestra con respecto a la frecuencia. En este caso, las isobaras utilizan

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.

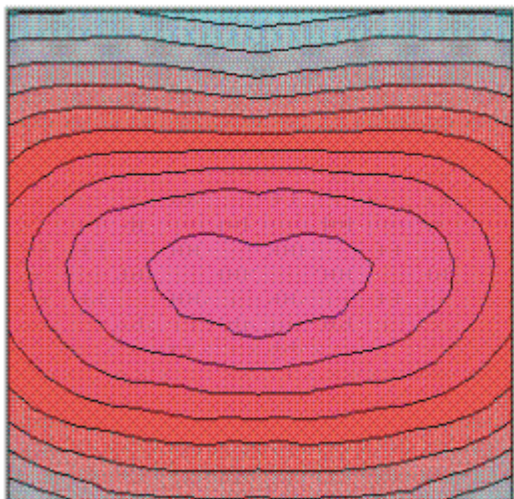


Modelado

Los programas de predicciones electroacústicas, tales como EASE, CADP2 (recientemente extinguido) o Modeler™, utilizan representaciones más o menos gruesas de los globos de directividad de los altavoces. La proyección de la directividad de un altavoz sobre un área de cobertura



verse para EASE y CADP2 en la Figuras 10 y 11 respectivamente.



Últimamente, el AES (Audio Engineering Society) ha estado intentando normalizar los datos de directividad que usan los programas de modelado, además de incrementar la resolución para conseguir predicciones más exactas. Como consecuencia de ello, la resolución de la versión 3 de EASE se ha visto aumentada, desde 10

grados y bandas de una octava, hasta 5 grados y bandas de 1/3 de octava. La plataforma AUTOPOL de DAS usa una mayor resolución, de forma que la creación de una base de datos con la resolución avanzada de EASE v3 es un proceso sencillo.

El autor : José Brusi es licenciado en Ingeniería de Acústica y Vibración por el Institute of Sound and Vibration Research de la Universidad de Southampton (Inglaterra). Ha ocupado diferentes puestos para fabricantes de audio profesional tales como JBL Profesional (EEUU) y DAS Audio (España). En la actualidad es Director de Aplicaciones y Sistemas en DAS Audio.

Copyright © 2001 D.A.S. Audio. Derechos reservados.