

Clase 9: Precedencia y Espacialidad - Imagen Estéreo

Al empezar a estudiar la Psicoacústica vimos que las sensaciones percibidas dependían de innumerables factores, y la interpretación del oído era muy compleja. Para identificar los sonidos y determinar su precedencia, o las dimensiones del recinto en base a lo escuchado, también hay una gran y compleja decodificación. Intentar generar espacios o imágenes estéreo reales en nuestras mezclas puede ser un gran desafío, y utilizaremos una serie de conceptos psicoacústicos para lograr este objetivo.

Localización

La localización es una sensación del lugar de precedencia del sonido y su distancia, la cual puede o no coincidir con su ubicación física. Es importante diferenciar este concepto de la *lateralización*, que se usa para distinguir la localización de un sonido “a la cabeza del oyente”. En la localización hay varios parámetros a considerar, como la diferencia de intensidad que pueden percibir ambos oídos, la diferencia de fase, o la diferencia espectral; en ellos se basa esta sensación.

Localización de Sinusoides

Señales con tan poco contenido armónico –en el caso de la senoide, una única frecuencia- hacen que su localización por diferencia espectral entre un oído y otro no sea posible. En estos casos, se emplean entonces datos binaurales, principalmente la *Diferencia Interaural de Intensidad* (IID) y la *Diferencia Interaural de Tiempo* (ITD).

La IID aparece cuando la fuente está desplazada del plano que divide a la cabeza transversalmente. Las señales que llegan a los oídos pueden ser levemente diferentes, pero esto no se debe al recorrido en la mayoría de los casos, sino a la sombra acústica que produce la cabeza misma (Figura 1, IID respecto al ángulo, discriminado por frecuencias). Esto es un problema a frecuencias superiores a 1700Hz, ya que la cabeza (que puede aproximarse a una esfera de 20cm de diámetro en promedio) produce una sombra acústica tal que limitará al mecanismo de detección. Por debajo de dicha frecuencia, por el fenómeno de difracción, la sombra no será considerable, y por debajo de los 500Hz la cabeza será acústicamente transparente.

El más claro ejemplo de la IID es en la reproducción estereofónica, donde al panear hacia un lado (disminuyendo la energía del otro lado) se produce la localización hacia el costado (esta sensación se vuelve más real cuando empieza a

considerarse la fase en la edición). Los cambios mínimos detectables de IDD llegan a 1dB en señales frontales de frecuencias superiores a 1kHz.

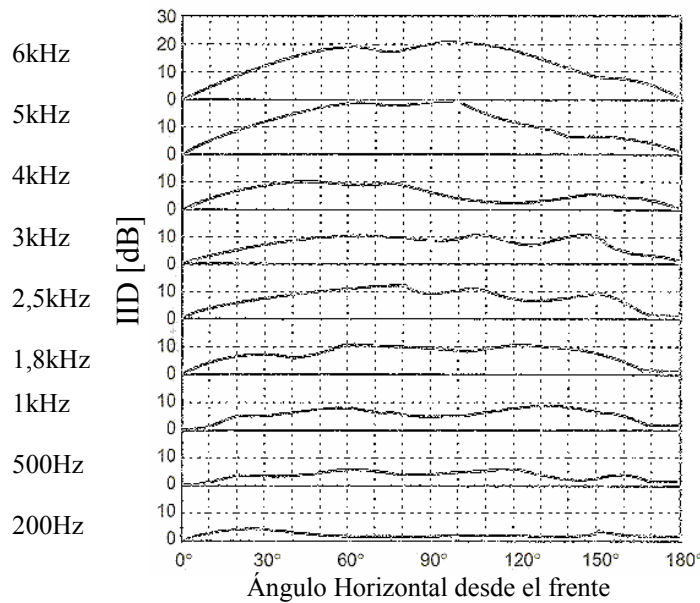


Fig. 1 - IDD en función del ángulo y la frecuencia (Fuente: Basso, G. Percepción Auditiva)

La ITD aparece como consecuencia del tiempo que toma en llegar el frente de onda entre un oído y otro, donde para las señales sinusoidales, diferencias temporales necesariamente son diferencias de fase. Esto permite una buena detección en bajas frecuencias, pero a frecuencias cuya longitud de onda sea igual o mayor a la distancia entre oídos (aproximadamente 20cm), la ITD no será válida ya que presentará ambigüedad. Por encima de los 1500Hz, entre un oído y otro la señal puede haber recorrido más de un ciclo, lo que puede presentarse a confusión (Figura 2). En baja frecuencia, pueden distinguirse desfases de entre 1° y 2° (diferencias del orden de 10us). Para 1800Hz, cambios de diferencias de fase de 60° ya no pueden ser perceptibles.

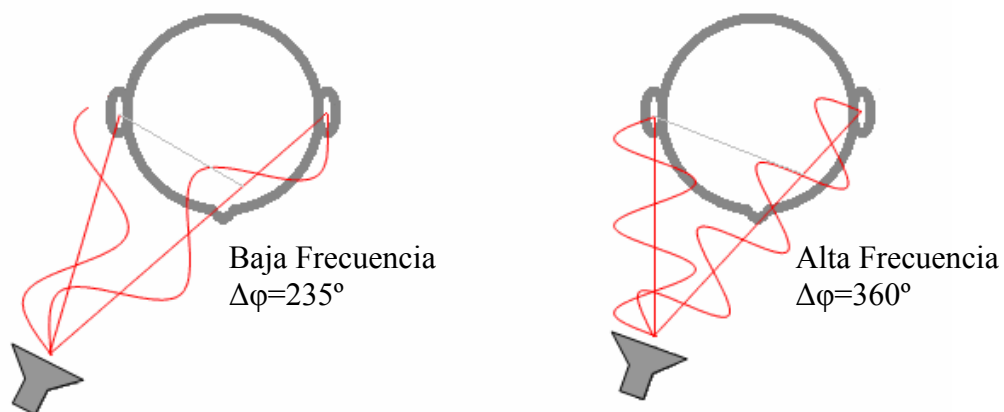


Fig. 2 - En alta frecuencia, la ITD pierde efectividad, y no percibirá diferencia de fase para este caso

La información de fase va más allá del sistema auditivo periférico, y esto se puede comprobar con la presencia de *batidos binaurales*, los cuales se perciben cuando hay diferencias menores a 20Hz entre la información que registra cada oído. Este fenómeno ocurre en bajas frecuencias (menores a 1kHz), y no es tan

nítido como los batidos monoaurales producidos por dos sinusoides en un mismo oído (además de que estos se perciben para todo el espectro).

Localización de señales no sinusoidales

Salvo en los viejos tonos de teléfonos celulares, donde ahora entendemos por qué muchas veces no podíamos identificar de dónde provenía el sonido, es muy difícil que estemos en presencia de señales 100% sinusoidales, y si es así, es muy probable que estas tengan un principio y un final. Recordando el principio de incertidumbre, en dichos transitorios la composición espectral es muy rica, lo que nos aportará mucha información para poder localizar a la fuente. Esto se debe a que el sistema auditivo aprovecha este fenómeno de dos maneras: primero el sistema auditivo realiza un reconocimiento del espectro con un espectro almacenado en la memoria (que puede hacerse en forma monoaural, con un solo oído). Luego, realiza una comparación entre los espectro percibidos por cada oído (binaural).

El pabellón auricular actúa como un filtro, y modifica el espectro del sonido percibido, en base al ángulo de procedencia, tanto a nivel horizontal como vertical, y esto es de gran utilidad, ya que en el plano medio no sería posible la localización con la IDD y la ITD. El filtro que produce, combinado con la sombra acústica de la cabeza, da lugar a la función de transferencia de la cabeza, conocida como HRTF (Head Related Transfer Function). Igualmente, el conocimiento del espectro de la fuente y del ambiente son determinantes para que el filtro HRTF provea una buena percepción de la localización de la fuente acústica.

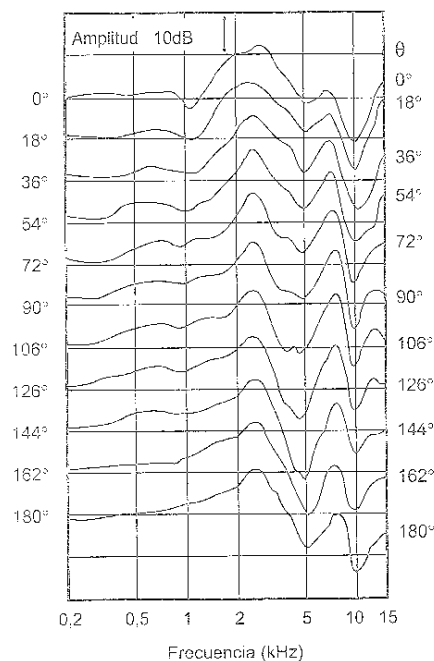


Fig. 3 - Filtro HRF con el ángulo horizontal θ como parámetro (Fuente: Basso, G. Percepción Auditiva)

Cuanto más ricas sean las señales en composición espectral, los filtros HRTF suplirán mejor las ambigüedades de fase. Incluso en los transitorios, donde el espectro posee gran ancho de banda, la ITD juega un papel importante, así como las diferencias del cuerpo de la señal entre oídos. Sin embargo, para un conjunto de ataques (o un “tren de ataques”), sólo los primeros serán los que aporten información a la localización.

Efecto de Precedencia

Utilizando como herramienta al ITD, el Efecto de Precedencia (también conocido como Efecto Haas) consiste en la sensación de localización de una fuente, en base a iguales estímulos en ambos oídos, con un cierto retardo entre ambas señales. Estos retardos no pueden tomar cualquier valor, asumiendo como máxima diferencia valores de 5ms para impulsos extremadamente cortos (clicks), y de entre 35 y 40ms para sonidos complejos como música o palabras (el mínimo retardo es de 1ms). La locación de la fuente se sitúa a la del primer sonido percibido, y solo funciona con sonidos transitorios o discontinuos. Con auriculares es fácilmente realizable, pero en grandes salas, puede que tome tiempo en adaptarse su percepción, o que directamente no funcione. Luego del tiempo máximo, su percepción es similar a un *eco* del primer sonido, en ambos oídos por separado.

Percepción de la Espacialidad y Distancia

Al igual que en la localización, la percepción de la *espacialidad* depende de muchos factores. Uno de los estos factores a estudiar es la *distancia* entre la fuente y el receptor. Si el oyente posee un recuerdo del sonido, y en particular de su sonoridad, si la presión sonora percibida es menor, el cerebro interpretará que la fuente se encuentra alejada. Si esta fuente eleva su intensidad, por su lejanía no habrá una gran IID, lo que también nos denotará distancia. Incluso, puede que el intentar aumentar la intensidad modifique su espectro, formantes, etc., lo que ayudará a mejorar su interpretación como fuente lejana. Pero es la sala la que además nos brindará información, ya que respecto al sonido directo, tendremos mayor relación de campo reverberante respecto a una fuente más próxima.

El campo reverberante es entonces otro de los factores a considerar. En la Figura 4 se esquematiza en forma cualitativa su comportamiento. La reverberación es el producto de las perturbaciones que produce una fuente, que se propaga hacia todos los sentidos, sufriendo innumerables rebotes en las superficies del recinto, hasta que finalmente el sonido –sus reflexiones- se extingue. A medida que nos alejamos y entramos en campo reverberante (se puede considerar como que es prácticamente uniforme), el sonido directo disminuye, y entonces se genera la sensación de lejanía de la fuente. A su vez, la reverberación nos da importante información, tanto de las dimensiones del recinto, como del revestimiento del

mismo. Las reflexiones tempranas corresponden a las primeras incidencias del sonido en las paredes, y son las que nos dan la sensación de distancia a estas.

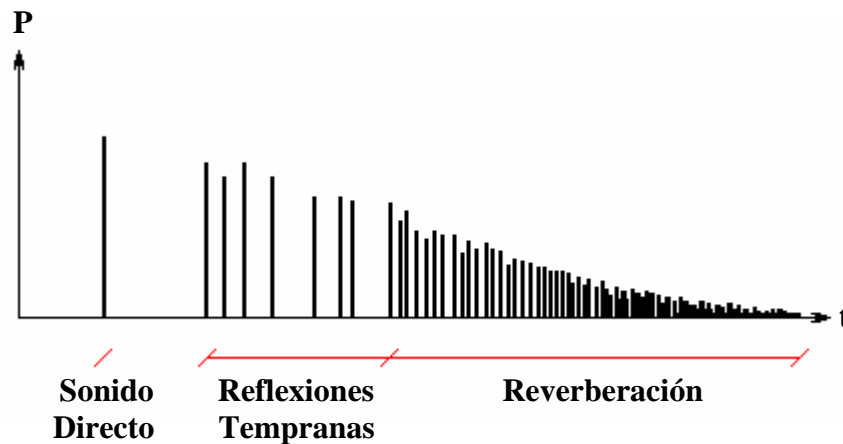


Fig. 4 - Características de la reverberación en un recinto

Estas primeras reflexiones, además, aportan al “cuerpo” de la señal, debido a que el oído no distingue correctamente su diferencia al sonido directo (hasta el orden de los 40ms), y también a su “coloración” espectral (producto del *Comb Filter* del retraso), dos factores que denotan claramente espacialidad.

Una vez que los múltiples rebotes se producen tan próximos, entramos en el campo reverberante propiamente dicho. Éste nos da dos parámetros, en función de la caída del tiempo de reverberación: el volumen de la sala (especialmente en bajas frecuencias) y el revestimiento de la misma (especialmente en altas frecuencias). A su vez, la coloración de la reverberación por los *Comb Filters* también aporta a la espacialidad.

Percepción del Movimiento de una Fuente

Hemos visto que la localización horizontal es más precisa que la vertical. En el caso de un movimiento lateral de una fuente acústica, se puede distinguir al Mínimo Ángulo de Movimiento Audible (MAMA), y notar que el sistema auditivo no es muy sensible a este fenómeno. Sin embargo, mejora notablemente si el movimiento de la fuente no es muy veloz. Para movimientos del orden de 15°/s, el MAMA es de 5°, pero para movimientos de 90°/s, el MAMA ronda los 21°.

Si una fuente que emite un sonido periódico -como por ejemplo una senoide pura- se acerca al oyente y luego se aleja, se podrán apreciar dos cambios en el tono (*pitch*), primero incrementando su altura tonal, y luego disminuyéndola. Esto se debe al famoso *Efecto Doppler*, donde la fuente se moverá a una velocidad v_f y entonces el sonido recorrerá una distancia menor al llegar al oído

al ir acercándose (o una distancia mayor si es que la fuente se aleja). La

frecuencia f' resultante será $f' = \frac{c - v_f}{c} f$.

Este fenómeno es de gran aplicación en la industria cinematográfica, simulando movimientos cambiando el *pitch* de tomas estáticas y luego realizando paneos, aunque también hay plugins que también consideran la relación de fase para realizar este proceso en forma más real.

Imagen Estéreo

El sistema estéreo surge de la idea del ingeniero Alan Dower Blumlein, quien lo había bautizado como *binaural sound* (sonido binaural). Obviamente hoy en día se sigue utilizando este sistema, así como el *par coincidente de micrófonos*, también conocidos como *Toma Blumlein*. Esta toma es una de las más reales en la técnica de microfoneo estereofónicas, y ofrece grandes ventajas a la hora de recrear verdaderas imágenes estéreo, así como una altísima compatibilidad mono. Como muestra la Figura 5, se utilizan dos micrófonos bidireccionales a 90° entre sí, con las cápsulas muy próximas. Si bien aporta una reverberación muy uniforme y una ubicación espacial de las fuentes muy precisa, presenta la desventaja de que señales muy intensas a los lados del par estéreo en recintos muy pequeños no se perciben tan realistas.

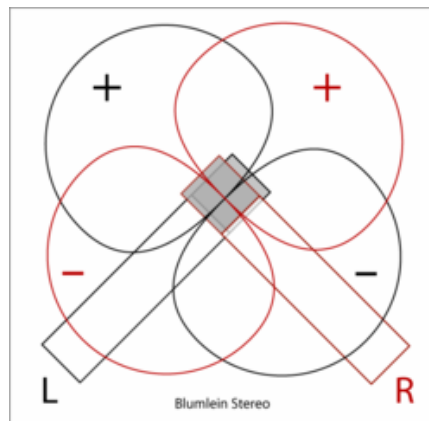


Fig. 5 - Arreglo de Micrófonos de tipo Blumlein

A la hora de generar un campo acústico virtual, con tan solo dos fuentes emisoras (simplemente dos parlantes estéreo), la percepción de una imagen estéreo realista dependerá de todos los datos espectrales, temporales y de intensidad que llegarán a nuestros oídos. A su vez debemos considerar que la sala donde estamos escuchando también modificará la percepción del sonido proveniente de los altavoces, y generar un ambiente acústico distinto al que deseamos. Es por ellos que partir de una correcta toma por un par de micrófonos es de vital importancia. En el caso de tener varios micrófonos en dicha toma, un fino ajuste temporal de las señales nos proporcionará aún más realismo. Y en el caso de una composición musical donde los músicos grabaron sus instrumentos en forma separada, considerar la IID, ITD, ciertos filtros,

reverberaciones de gran calidad y opciones de diseño y ajuste para la misma, serán las herramientas a utilizar para simular un grupo de fuentes ubicadas espacialmente en un escenario virtual.

Diferencias espectrales entre ambos canales, filtros de peine y leves corrimientos de fase en bajas frecuencias aportan gran sonoridad, producto de los batidos binaurales y sensación de espacialidad.

Bibliografía

Alton Everest, F. *The Master Handbook of Acoustics*, McGraw-Hill, 2001.

Basso, Gustavo. *Percepción Auditiva*, UNQ Editorial, 2006.

Miyara, Federico. *Acústica y Sistemas de Sonido*, UNR Editora, 2006.

Roederer, Juan G. *Acústica y Psicoacústica de la Música*, Ed. Ricordi, 1997.

Wikipedia, *Free Encyclopedia*, 2009.