

Capítulo 1

Psicoacústica

Existe una paradoja filosófica que dice: “¿Si un árbol cae en un bosque y no hay nadie que pueda escucharlo, el árbol produce sonido?”[1].

Si nos basamos en la definición física, que dice que el sonido es una perturbación en un medio en el que se puede propagar, podemos decir que el árbol sí produce sonido. Pero debemos considerar que la definición real de sonido se fabrica tras el estudio de uno de nuestros cinco sentidos, el oído. Con esta consideración, el sonido tiene características específicas y una resolución finita en escala de frecuencia y tiempo que se determinan por la fisiología y la psicología en el proceso de audición [3]. Hablar de calidad del sonido es referirse a satisfacer las condiciones de psicoacústica humana.

La percepción acústica que nosotros llamamos escuchar, es una combinación de procesos acústicos, mecánicos, hidráulicos, neuronales y mentales. Esta combinación y su estudio se

le conoce como psicoacústica [3]. Por eso es de suma importancia referirse siempre a un espectador cuando se habla de sonido.

En este capítulo se estudian las características físicas básicas involucradas en el proceso de audición, así como los elementos que intervienen en el proceso de localización de sonidos.

1.1 El oído

La estructura del oído se divide comúnmente en tres secciones; oído externo, oído medio y oído interno como se muestra en la Figura 1.1.

El oído externo presenta una baja impedancia (poca sensibilidad), el oído interno posee una alta impedancia (gran sensibilidad) y el oído medio se comporta como un igualador de impedancias acústicas.

La estructura visible del oído, el pabellón de la oreja, juega un papel sumamente importante en la determinación de la dirección de los sonidos. Esto sólo sucede a frecuencias cuya longitud de onda sea más pequeña que las dimensiones de la oreja, es decir sólo para frecuencias arriba de los 5KHz.

El canal auditivo que conecta el oído externo con el medio, presenta una pequeña resonancia en aproximadamente 4KHz y 13KHz, lo que hace que el oído sea más sensible a esas frecuencias [3].

El sonido que incide en el oído hace vibrar al tímpano, que es la membrana que sella y separa el oído medio con el interno. Estas vibraciones se transmiten al oído interno

mediante tres pequeños huesos; martillo, yunque y estribo, los cuales propagan el sonido a través de los fluidos del oído interno.

La trompa de Eustaquio sirve para que nuestra propia voz no se oiga excesivamente fuerte. Este tubo se puede abrir o cerrar involuntariamente cuando tragamos o bostezamos haciéndonos más sensibles a nuestra voz.

Una vez que el sonido atraviesa el oído interno, es detectado e interpretado por el cerebro a través de sensores ubicados en el caracol. Esta información ya interpretada, nos proporciona datos físicos como intensidad, frecuencia, y ubicación espacial en tres dimensiones.

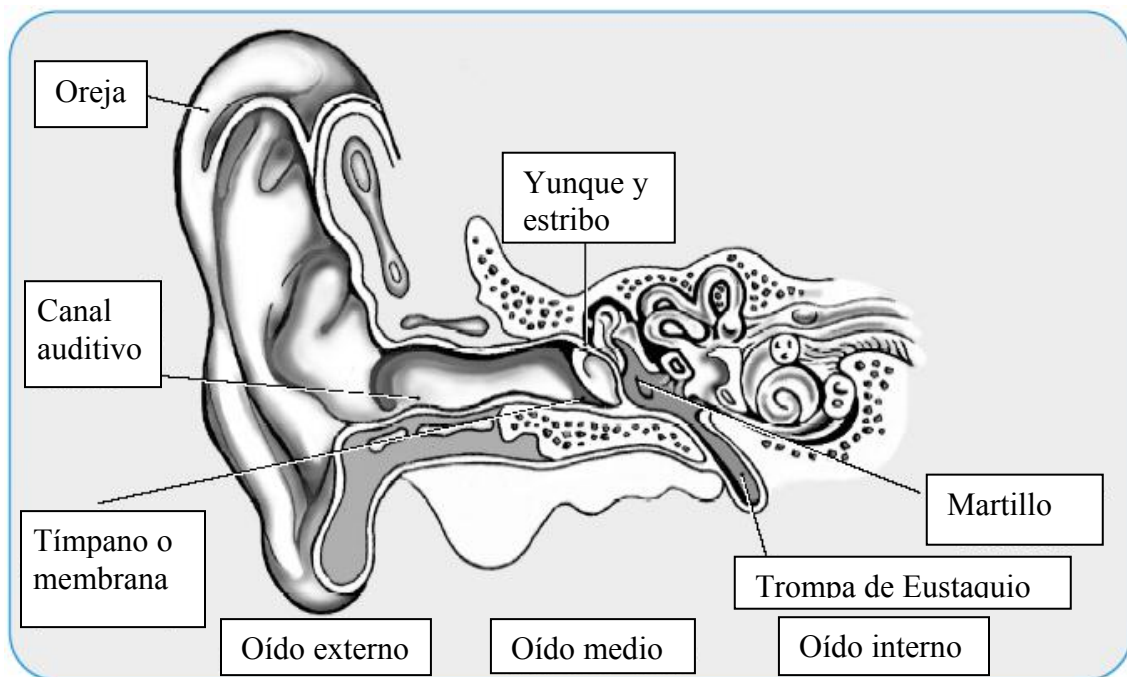


Figura 1.1.- Estructura del oído.

1.2 Respuesta en frecuencia y umbrales de volumen

El rango audible de frecuencias del oído humano va desde 20Hz a 20KHz desde una longitud de onda de 17mm a 17m considerando una velocidad promedio de sonido de

330ms^{-1} . Pero las estadísticas han demostrado que la mayoría de las personas no detectan frecuencias arriba de los 16KHz [3].

Debido a que la función de transferencia del oído es logarítmica, el deciBel (dB) es la unidad de medida adoptada para la medición de la intensidad sonora [3].

La respuesta del oído está dada por la ecuación: $S = K \cdot \log I$, en donde S es la sensación percibida por el oído, I es la intensidad del estímulo y K la constante de atenuación.

La sensación de sonido comienza a los 0 dB, esto es cuando $S = 2.04 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ [9].

Se ha demostrado con varias mediciones experimentales, que la sensibilidad del oído, depende de la frecuencia del sonido. A dicha sensibilidad se le conoce como efecto de Flecher Munson o Fletcher-Munson Effect [25].

En la Figura 1.2 se muestra la función de transferencia de Fletcher Munson para líneas de niveles de presión acústica o SPL (*Sound Pressure Level*) constantes en un barrido de frecuencia de 20Hz a 15KHz.

Estas curvas cambian con la edad del espectador atrofiando la sensibilidad a frecuencias arriba de 3KHz.

A 1KHz el oído puede detectar una variación de presión de $2 \times 10^{-5} \text{ Pa rms}$, y este valor es usado como referencia en la gráfica de la Figura 1.2.

Vale la pena observar en la Figura 1.2 que alrededor de 4KHz y a 13KHz existe una sensibilidad mayor en la percepción de los niveles debido al efecto de resonancia del canal auditivo mencionado anteriormente [3].

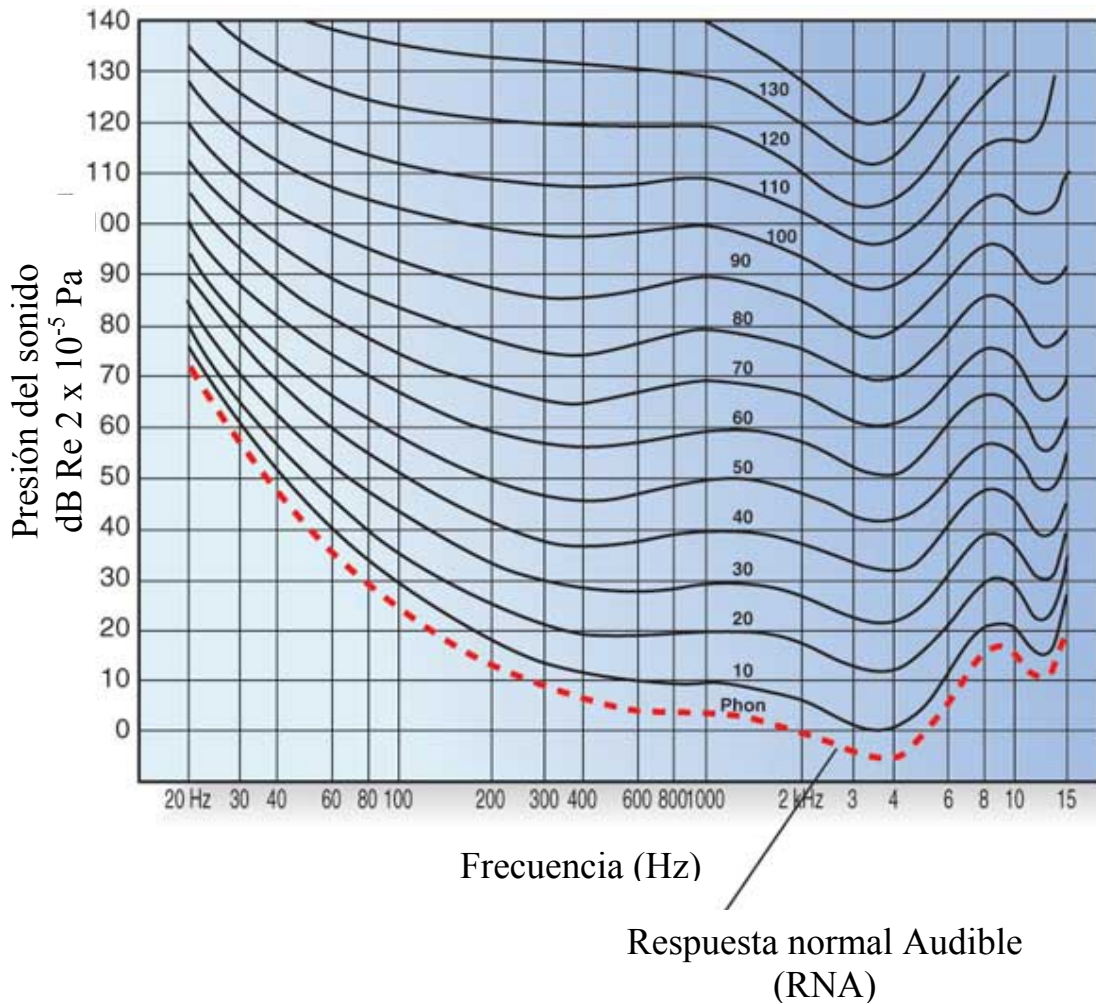


Figura 1.2.- Respuesta en frecuencia del oído.

© 2005 Extron Electronics.

Otro parámetro importante que se debe de considerar es el nivel de umbral de volumen, que es el área en presión y frecuencias en donde podemos escuchar de manera eficiente y sin dolor.

La curva del umbral de volumen se ilustra en la Figura 1.3. La región sombreada corresponde al rango de frecuencias y presiones en donde el oído funciona correctamente. Haciendo un promedio, se puede decir que sonidos arriba de 140 dB pueden dañar el sistema de audición.

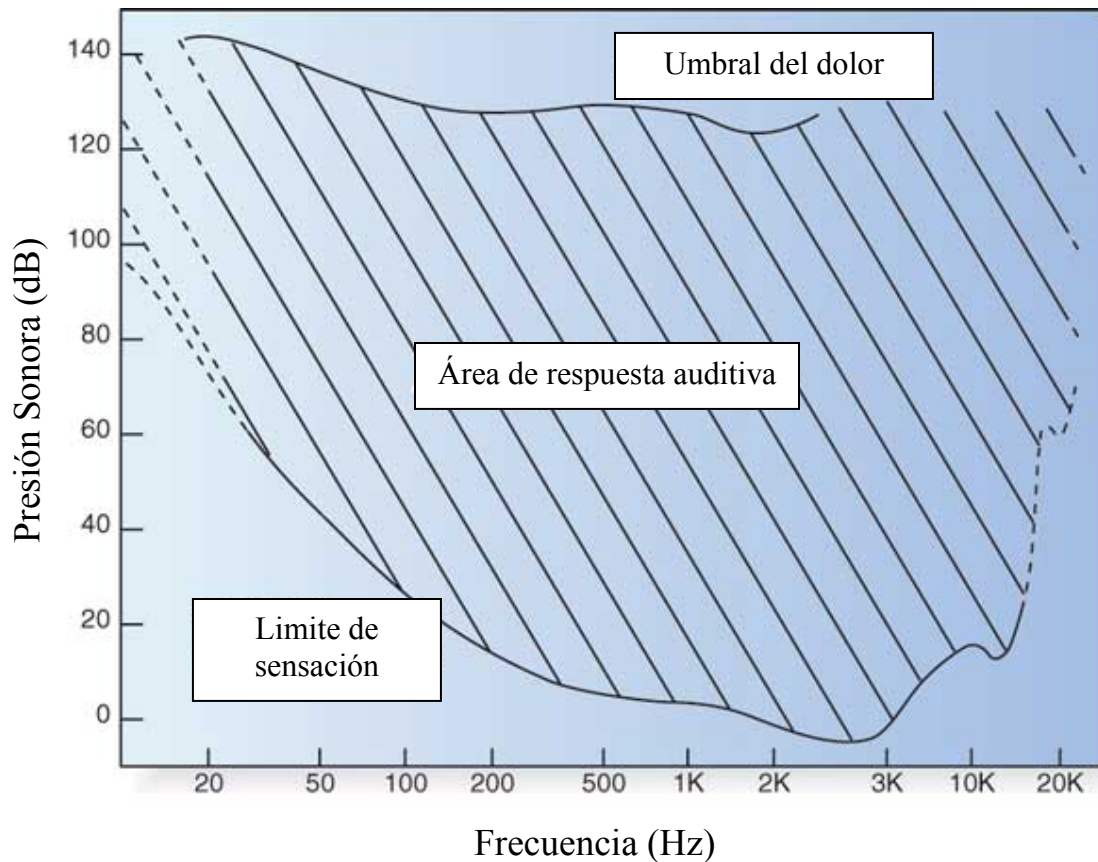


Figura 1.3.- Umbral de percepción acústica promedio.
© 2005 Extron Electronics.

1.3 Física del Sonido

El sonido es una perturbación de presión y de velocidad en un medio la cual produce un desplazamiento [3]. La fuente de sonido produce una velocidad instantánea, y en el límite de la fuente emisora con el medio, la velocidad se transmite con igual magnitud, esto ocasiona una diferencia de presión que se propaga a una velocidad que depende del medio y sus características. En general, y para propósitos de acústica, el medio que se tomará en cuenta para los cálculos en esta tesis es el aire.

La velocidad del sonido

A diferencia de los sólidos, la elasticidad de los gases es un proceso complicado.

Si una cierta cantidad de gas es comprimida, se producirá un incremento de temperatura en este medio gaseoso. En el caso del sonido, no se tiene suficiente tiempo para producir un cambio de temperatura y entonces se crea un incremento de presión. Este proceso se conoce como proceso adiabático [3]. El cálculo de la velocidad del sonido en el aire es el siguiente [3]:

γ = Constante adiabática (1.4 para aire)

R = Constante del gas ($8.31 \text{ JK}^{-1} \text{ mole}^{-1}$)

$$\text{Velocidad } V = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}}$$

T = Temperatura en °K (Kelvin)

M = Peso molecular Kg mole^{-1}

Asumiendo que el aire es 21% O_2 , 78% N_2 , 1% Ar , el peso molecular del aire es de $2.87 \times 10^{-2} \text{ Kg mole}^{-1}$.

$$\text{Por lo tanto } V = \sqrt{\frac{(1.4)(8.31)(T)}{2.87 \times 10^{-2}}} = 20.1\sqrt{T} \quad (1.1)$$

$$\text{Para } T = 20^\circ\text{C}, T = 293^\circ\text{K}, V = 344 \text{ms}^{-1}$$

La ecuación (1.1) será ocupada en los programas de audio realizados en el capítulo 4, por lo que la única variable que se considerará en la velocidad del sonido será la temperatura en grados Kelvin.

En la Tabla 1.1, se muestra una tabla en donde se comparan las diferentes velocidades de propagación del sonido en distintos materiales. En esta figura podemos ver que en medios líquidos o sólidos, el sonido viaja de cinco a diez veces más rápido que en el aire.

Tabla 1.1.- Tabla de velocidades del sonido en diferentes medios.

Medio	Velocidad (m.s ⁻¹)
Aire	344
Agua	1420
Concreto	3000
Vidrio	4100
Acero	5000

© Copyright 2005 Creative Technology Ltd [22]

El número de onda, k

El número de onda k está relacionado con la longitud de onda del sonido, que anteriormente vimos que el rango audible va desde 17mm a 17m.

Cuando la longitud de onda es mucho más grande al objeto en donde incide, se dice que el sonido no presenta reflexiones (Figura 1.4 (a)), esto es para valores de $k \leq 1$. En el caso contrario, cuando el objeto es mucho más grande que la longitud de onda, existe una reflexión total (Figura 1.4 (b)), en el caso en que $k \geq 1$ [3].

La ecuación del número de onda k , está dada por la siguiente relación:

$$k = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c} = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$$

$c =$ Velocidad del sonido

$f =$ Frecuencia (1.2)

$\lambda =$ Longitud de onda

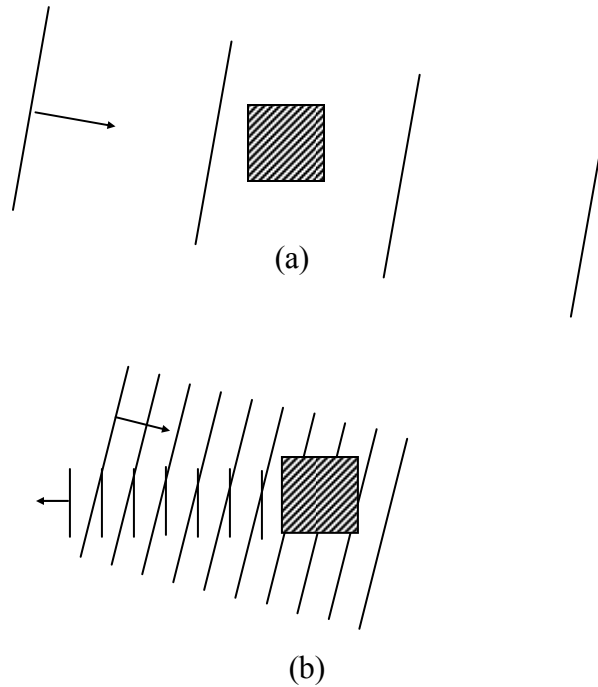


Figura 1.4.- Longitudes de onda y sus reflexiones.
 © Copyright 1998 John Watkinson [3]

La presión del sonido

La presión del sonido se refiere a las pequeñas fluctuaciones que provoca una vibración sobre la presión atmosférica que es de 10^5 N.m^{-2} a nivel del mar. Un sonido muy fuerte corresponde a una variación de presión de 1 N.m^{-2} , mientras que un sonido muy débil se encuentra en el orden de 10^{-5} N.m^{-2} .

La unidad de presión usada en audio es el *SPL* (Sound Pressure Level), que es la medida de presión en base logarítmica que se obtiene de la siguiente fórmula:

$$SPL(dB) = 20 \cdot \log \frac{P_{RMS}}{P_0} \quad (1.3)$$

En donde P_0 es la presión de referencia:

$$P_0 = 2.04 \times 10^{-5} \text{ N.m}^{-2} \text{ [9].}$$

En la Tabla 1.2, se muestra una tabla comparativa de los diferentes niveles de presión del sonido en $N.m^{-2}$ y en *SPL* que se tienen en la vida cotidiana.

Tabla 1.2.- Tabla comparativa de los niveles de presión de sonido.

Presión Sonora ($N.m^{-2}$)	SPL (dB)	Fuente Sonora	Comentario
2×10^{-5}	0	Umbral de percepción	Muy bajo
	10	Cuarto anecóico	“ “
2×10^{-4}	20	Reloj de manecillas	“ “
	30	Jardín tranquilo	“ “
2×10^{-3}	40	Sala promedio	Bajo
	50	Conversación a 1m	“ “
2×10^{-2}	60	Coche a 10m	Ruidoso
	70	Trafico de ciudad	“ “
2×10^{-1}	80	Sonido de tren	“ “
	90	Fábrica ruidosa	Muy Ruidoso
2	100	Lámina de acero	“ “
	110	Relámpago	“ “
20	120	Umbral del sensación	Intolerable
	130	Turbina de avión	“ “
200	140	Umbral del dolor	“ “
	150	Ruido blanco, sordera	“ “
2×10^5 (2 atm!)	200	Cohete espacial a 100m	“ “

© Copyright 2005 Creative Technology Ltd [22]

1.4 Proceso de localización del sonido

Hace 120 años, John William Strutt (Lord Rayleigh) fue el primero en determinar parte del proceso de localización de sonidos. El observó que si la fuente de sonido está a la derecha del espectador, entonces el oído izquierdo se encuentra en área de sombra provocada por la cabeza. Por lo tanto la señal en el oído derecho debería ser más intensa que en el oído izquierdo [4].

En la actualidad se conocen tres parámetros necesarios para la localización de sonidos [4]:

a) *Diferencia de Nivel Interaural o Interaural Level Difference (ILD)*

A la diferencia de intensidades de señal entre cada oído se le conoce como *Interaural Level Difference (ILD)*. Esta diferencia es medida en dB y es una función que depende de la frecuencia debido al efecto de número de onda k analizado en la sección 1.3.

A una frecuencia de 500Hz la longitud de onda es aproximadamente 69 cm (cuatro veces más grande que el tamaño promedio de la cabeza humana). Por lo tanto la ILD es pequeña debajo de los 500Hz mientras la fuente se encuentre a más de 1 m de distancia.

En la Figura 1.5 se muestran los niveles calculados de ILD para tres ángulos diferentes en función de la frecuencia usando la aproximación de una cabeza esférica de 15 cm de diámetro [4].

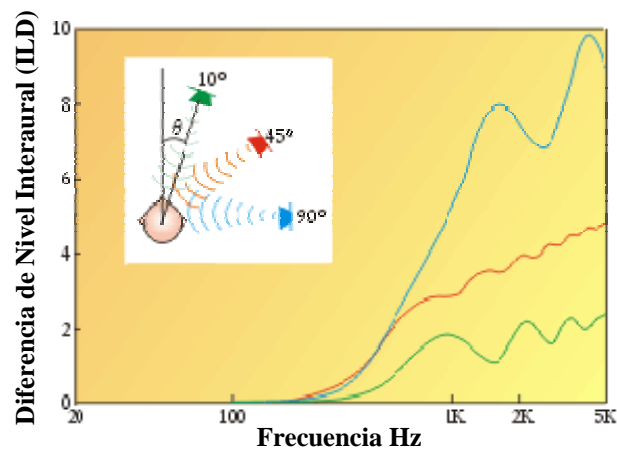


Figura 1.5.- Diferencia de niveles de presión para tres diferentes ángulos.
© 1999 American Institute of Physics

Estudios psicoacústicos indican que el nivel mínimo detectable de ILD es de 0.5dB sin importar la frecuencia [5]. Esto indica que la ILD es una herramienta útil para la localización de sonidos, pero se necesita de otra herramienta que funcione con niveles menores a 0.5dB en ILD y a frecuencias bajas. Fue en 1907 cuando Lord Rayleigh propuso

que el oído también debería de ser capaz de detectar diferencias de fase entre las dos señales.

b) Diferencia de Tiempo Intraural o Interaural Time Difference (ITD)

Para un tono puro, como propuso Lord Rayleigh, la diferencia de fases es equivalente a la diferencia en tiempos de arribo a cada oído. A la diferencia de tiempo de arribo entre oídos se le conoce como *Interaural Time Difference* (ITD).

La diferencia de fase $\Delta\Phi$ se relaciona con la ITD con la ecuación:

$$\Delta t = \Delta\Phi/2\pi f \quad \text{para un tono de frecuencia fija [4].} \quad (1.4)$$

Usando la fórmula aproximada que usó Lord Rayleigh, la ITD queda en función de un ángulo θ : $\Delta t = (3a/c)(\sin\theta)$ donde “a” es el radio de la cabeza esférica (8.75cm aproximadamente) y “c” es la velocidad del sonido (34,400 cm/s). Por lo tanto $3a/c = 763\mu\text{s}$ [6].

Experimentos psicoacústicos demuestran que con el uso del ITD a 500Hz se pueden distinguir diferencias de 1° , dando un ITD = 13 μs .

El uso de la ITD en audífonos, le da al espectador una sensación peculiar. La posición de la imagen acústica es localizada en el lado izquierdo o derecho como se espera, pero la imagen parece estar adentro de la cabeza del espectador y no se percibe como un sonido proveniente del mundo real. Se dice que la imagen está lateralizada y no localizada [4].

Existe un rango de frecuencias en donde la ITD se vuelve ambigua. Esto es debido a que no se aprecia la diferencia de fase por que la longitud de onda es semejante a la distancia entre oídos como se muestra en la Figura 1.6 [4].

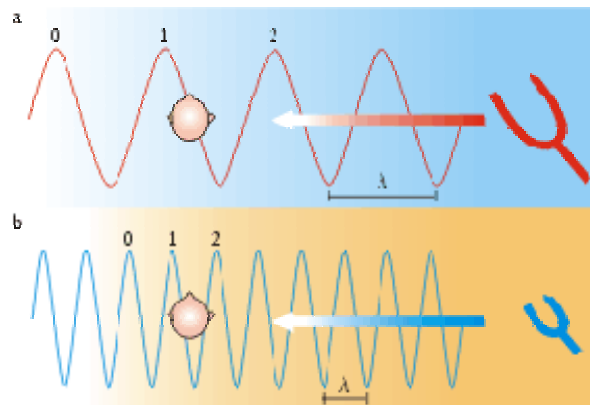


Figura 1.6.- Efecto de la diferencia de fase en altas frecuencias.
© 1999 American Institute of Physics

Esto puede confundir al espectador rotando la imagen 180° (atrás con adelante). Con esto se puede concluir que la ITD funciona mejor para frecuencias bajas.

Existe una región de frecuencias entre 1500Hz y 2000Hz en donde la ILD y la ITD no bastan para la localización de la fuente sonora, por esto se necesita una tercer herramienta.

c) *Función de Transferencia Anatómica o Anatomical Transfer Function (ATF)*

Aún aproximando correctamente la ILD y la ITD, en el modelo aproximado de la cabeza esférica no se distingue entre atrás y adelante. Esto se soluciona usando el modelo de transferencia anatómica o *Anatomical Transfer Function (ATF)*.

Los elementos fisiológicos que contribuyen considerablemente al ATF son las orejas, la cabeza, los hombros y el torso [7]. El filtro que se genera con estos elementos es una función de transferencia compleja normalmente llamada función de transferencia relacionada con la cabeza o *Head Related Transfer Function (HRTF)*.

Experimentos psicoacústicos indican que sonidos provenientes de adelante tienen una amplificación en 1KHz mientras que sonidos provenientes de atrás en 3KHz.

Los efectos más considerables del ATF se encuentran arriba de los 4KHz en donde la longitud de onda es menor a los 10cm y tiende a reflejarse con facilidad en la superficie involucrada en la ATF.

Usando la ATF como herramienta, se pueden corregir los problemas de incertidumbre entre atrás o adelante y se puede obtener también la elevación correspondiente.

Experimentos realizados con el *Knowles Electronics Manikin for Acoustic Research* (KEMAR) [4], han determinado que con el uso de ATF en técnicas de realidad virtual es suficiente para externalizar la imagen acústica y poder localizarla de manera correcta.

Aún tomando en cuenta estas tres herramientas de localización, existen rangos de frecuencias en donde todavía hay confusiones. Pero en el proceso natural de audición esto se corrige tan fácil como girar un poco la cabeza para descartar posibles errores de localización.

Debido a que las ATF son únicas para cada persona, la consideración de ATF en audífonos puede producir una gran cantidad de efectos nuevos. Un ejemplo de esto es que el espectador puede escuchar con los oídos de otras personas usando sus correspondientes ATF [8].

1.5 Consideración de Ecos

Los procesos de ILD e ITD se han estudiado usando audífonos o en lugares especiales anecóicos o sin ecos, en donde todos los sonidos viajan de forma recta y directa de la fuente

de sonido al espectador. Pero en la vida cotidiana, el proceso de audición se presenta en conjunto con paredes, techos, pisos y grandes objetos que también reflejan el sonido produciendo repeticiones del sonido fuente en diversas direcciones y creando ondas estacionarias [4].

El proceso de ITD es particularmente vulnerable a la presencia de ecos por que el sonido reverberante no contiene información coherente útil para el ITD sobre todo en cuartos de dimensiones grandes y de paredes lisas.

Para resolver este problema, el proceso de localización se basa en la ILD e ignora la información de la ITD debido a que el nivel de las señales reflejadas es considerablemente menor al nivel de la señal fuente. Para realizar este proceso de manera correcta, se tiene que identificar que la señal reflejada es una copia de la original y no otra señal distinta.

Después de más de un siglo de investigación, es evidente que el proceso de localización de fuentes de sonido no se ha comprendido del todo, y que sigue siendo un área activa de investigación. Tal vez en algunos años se cuente con modelos más adecuados que faciliten los cálculos del HRTF o algún estudio psicoacústico que considere la retroalimentación visual como ayuda en el proceso de localización y permitan una reproducción realista en los nuevos sistemas de entretenimiento.

1.6 Sonido 3D

Cuando nosotros oímos sonidos en el mundo real, nosotros podemos determinar con gran precisión, dónde fue producido cada sonido. Nuestros oídos funcionan como una especie de antena direccional muy sofisticada que proporciona dirección y distancia de cada fuente sonora [10].

El concepto de Sonido 3D es lograr una reproducción fiel del sonido en bocinas o en audífonos proporcionando información acústica que le dé al usuario la sensación de que el sonido es real y que proviene de una dirección y distancia específica.

1.6.1 Sonido *stereo*

Una de las técnicas para lograr realismo espacial es el sonido *stereo* diseñado por Alan Doler en 1931. Se basa en crear diferencias de fase, tiempo de arribo y de nivel de la señal usando dos canales independientes para cada oído derecho e izquierdo (*L* y *R*) [3].

El arreglo más común para el sistema *stereo* es colocando las bocinas a una apertura de 60° como se muestra en la Figura 1.7.

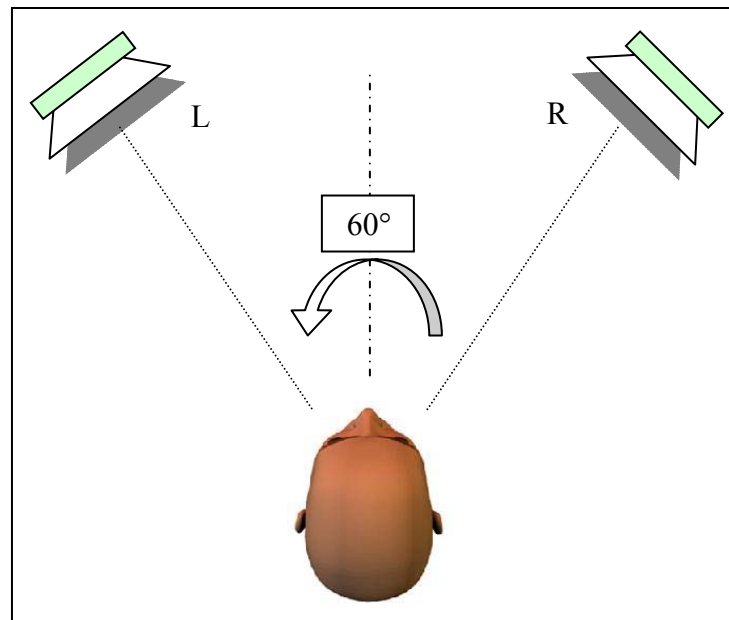


Figura 1.7.- Arreglo de bocinas *stereo*.

© Copyright 2005 Creative Technology Ltd

La estereofonía es una ilusión audible parecida a una ilusión óptica, en donde el cerebro es engañado para formar una imagen acústica en un lugar diferente a las fuentes de sonido.

En el caso de estereofonía, la ilusión que se genera es una imagen sonora que fluctúa de una bocina a otra, dando la sensación que la imagen se encuentra adentro de la cabeza del espectador. El hecho que las imágenes acústicas producidas por este sistema se encuentren adentro de la cabeza del espectador añade una componente irreal al proceso de localización de sonidos.

Otro problema serio en el uso del sistema *stereo* en bocinas es que el oído derecho escucha la señal de la bocina izquierda y viceversa. A este fenómeno se le conoce como “*Crosstalk Interference*” y lo que ocasiona es que la imagen acústica se haga más extensa y difusa provocando una mala interpretación espacial [3].

Una manera de evitar la “interferencia de *Crosstalk*” es usando audífonos, pero estos poseen el mismo problema al colocar la imagen acústica adentro de la cabeza del espectador.

1.6.2 *Dolby Digital*

En más de 40,000 salas de cine y más de 30 millones de casas, *Dolby Digital* es el estándar en tecnología del sonido *surround* o sonido multicanal [11].

El concepto de sonido multicanal se refiere al uso de varias bocinas con información sonora independiente para cada una de ellas con la idea de formar una imagen acústica más realista.

La configuración más usada es el *Dolby Digital 5.1* mostrada en la Figura 1.8, en donde se tienen cinco canales independientes en un rango de 3Hz a 20KHz y un *subwoofer* en un rango de 3Hz a 120Hz [11].

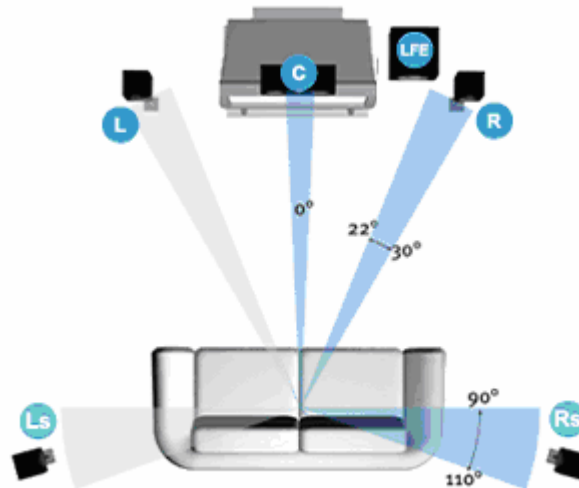


Figura 1.8.- Configuración de bocinas del *Dolby 5.1*
 © 2005 Dolby Laboratories

La tecnología *Dolby* también cuenta con novedosos sistemas de audio como *Dolby Virtual Speaker* y *Dolby Pro Logic II*, que partiendo de una señal *stereo* convencional, obtienen los 5.1 canales usando un filtrado específico.

Otra nueva aplicación de *Dolby Technologies* es el *Dolby Headphone*. Este sistema simula la audición del sistema *Dolby 5.1* usando simplemente dos canales.

No hay duda que el sistema *Dolby* presenta una superior percepción de realismo en comparación del sonido *stereo*, pero presenta una desventaja al requerir más bocinas y más canales, haciendo que sea más costoso.

1.6.3 *Ambiophonics*

El sonido Ambiofónico o *Ambiophonics* combina principios psicoacústicos con pruebas musicales en salas de conciertos con el fin de reproducir ambientes realistas de salas de concierto en la sala de televisión. El espectador es trasladado a la sala de concierto mediante la adaptación de la estructura del oído y la forma de la cabeza. El sistema

Ambiophonics procesa la señal *stereo* para eliminar la interferencia de *Crosstalk* y para incluir las funciones de transferencia referentes a salas de concierto comunes.

Pruebas realizadas con los sistemas de realismo de concierto *Ambiophonics* indican que ésta tecnología sin duda será la sucesora de las configuraciones *stereo* y multicanal.

En los laboratorios tecnológicos NHK en Japón, diseñaron un sistema basado en *Ambiophonics*, en donde usan grandes paneles sonoros en las paredes del recinto. Estos paneles están conformados por cientos de bocinas pequeñas haciendo una fácil cobertura y dispersión del sonido [12].

La Figura 1.9, muestra el diagrama de cancelación de interferencia *Crosstalk* para el mejoramiento de la imagen acústica. Con esta técnica se pretende enviar a cada oído la información necesaria correspondiente para la simulación del cuarto de conciertos.

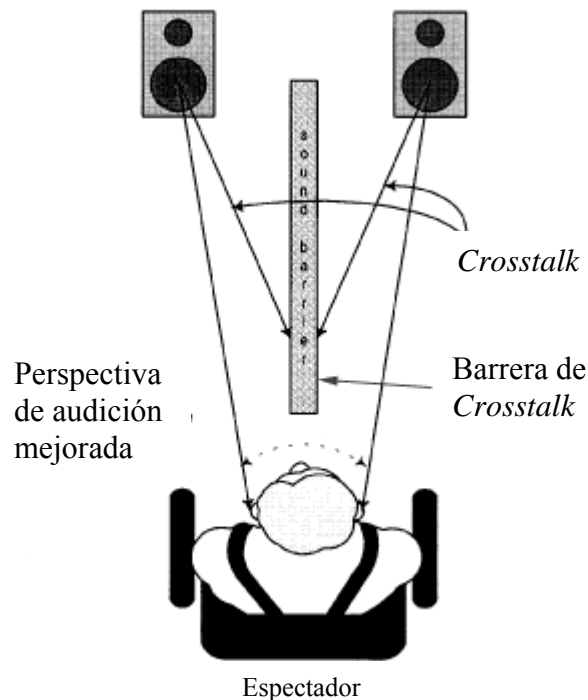


Figura 1.9.- Arreglo Ambiofónico para cancelar la interferencia de *crosstalk*.

© Ralph Glasgal

1.6.4 Sonido *Bineural*

La idea del sonido *bineural* parte del hecho de que sólo tenemos dos oídos. Si se pudiera grabar exactamente lo que el espectador escucharía en la entrada de cada canal auditivo, y posteriormente fuera reproducido sin ningún tipo de distorsión en el oído correspondiente, se lograría un realismo total en la localización del sonido sin importar la ILD, la ITD y las ATF del espectador. Es claro que para que éste efecto funcione, se tienen que reproducir las dos señales directamente en los canales auditivos, esto es usando audífonos, para que las propias ILD, ITD y ATF no participen distorsionando las señales y dispersen la imagen acústica.

Existen tres formas básicas para grabar sonidos *bineurales* [20]:

1. Usando pequeños micrófonos en personas.
2. Usando maniqués tamaño promedio.
3. Usando modelos matemáticos de simulación en programas de cómputo.

Es de esperarse que para cada persona existan diferentes coeficientes de ATF, por lo que una forma promedio en el maniquí o una grabación en una persona distinta presentaría resultados no deseados en la imagen acústica.

Otro factor que se concluye de lo anterior, es que estos métodos sólo sirven para grabaciones de sonidos reales, y que si se quiere reproducir un sonido sintetizado o virtual, no se tendría la información necesaria de ILD, ITD y ATF.

Para resolver el problema anterior se obtienen tablas de función de transferencia que contienen la ILD, ITD y ATF para diferentes frecuencias a diferentes posiciones 3D de la fuente de sonido usando maniqués y equipo de cómputo.

En el Apéndice A, se encuentra un experimento de laboratorio realizado con la intención de medir la ITD y la ILD real usando dos pequeños micrófonos en el interior de cada canal auditivo.

En la Figura 1.10, se muestra la respuesta en frecuencia del oído izquierdo en comparación de la del oído derecho de una fuente sonora que se sitúa a 50° de giro, a 1m de distancia y a 0° de elevación con respecto a la horizontal.

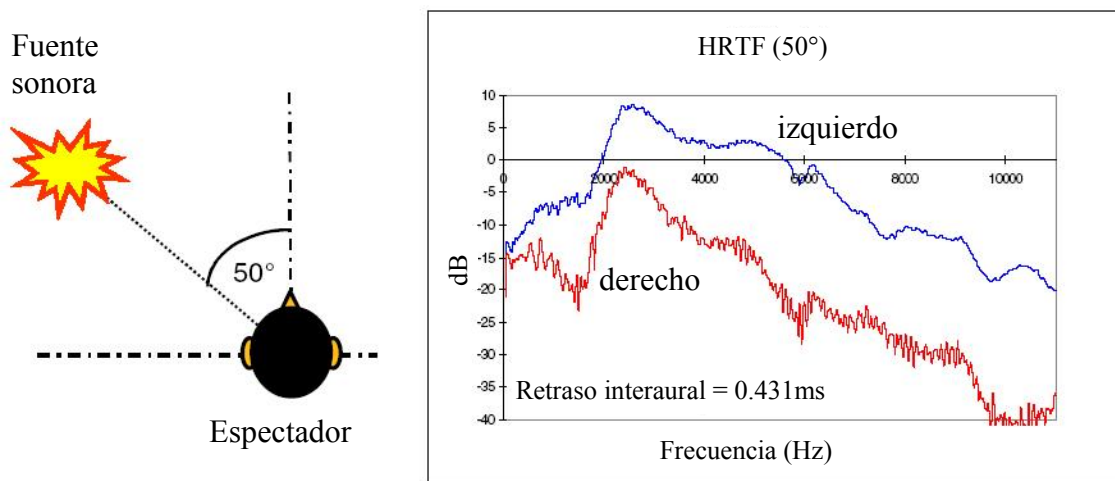


Figura 1.10.- Respuesta en frecuencia del maniquí a 50°.

© Copyright 2005 Creative Technology Ltd

El objetivo de estas mediciones es el de obtener los coeficientes necesarios para que a cualquier señal de audio *monaural* se le apliquen filtros digitales para convertirla en una señal *binaural* con información de la imagen acústica tridimensional.

Empresas reconocidas como *Sensaura-Creative Technology* están estableciendo los estándares de estos nuevos formatos de sonido 3D. *Sensaura* también cuenta con calibradores que ajustan por medio de *software* las variaciones fisiológicas de cada usuario corrigiendo las diferencias en la ATF.

Como se puede observar, el tener los coeficientes exactos de ILD, ITD y ATF, y considerar todos los pequeños detalles que se presentan en el complejo proceso de localización de sonidos como rebotes y ondas estacionarias es sumamente complicado.

Por lo anterior, esta tesis propone el uso de una ILD medida, una ITD calculada y una ATF sintetizada. Corrigiendo cualquier ambigüedad de localización usando un sistema de retroalimentación de la posición y ángulo.

De esta manera, una muestra de sonido puede ser confusa en su localización, pero al girar la cabeza y analizar las siguientes muestras, los errores de localización desaparecerán por completo. Esta solución presenta ventajas al no requerir de un rápido filtrado de señales ni información compleja de los coeficientes de ATF, ya que la ATF sintetizada usada en el sistema completo de generación de fuentes virtuales de sonido sólo depende del ángulo mas no de la frecuencia.