

Tabla de Contenido

Prólogo.....	3
Capítulo 1: Propagación de la Onda.....	5
Longitud de onda, Frecuencia, y Velocidad del sonido.....	5
Combinando Ondas Seno.....	6
Combinando Ondas Seno Retardadas.....	7
Difracción del Sonido.....	9
Los efectos de Pendientes de Temperatura en la Propagación del Sonido.....	10
Los efectos de Velocidad del Viento y Pendientes en la Propagación Sonora.....	10
Los efectos de la Humedad en la Propagación del Sonido.....	11
Capítulo 2: El Decibel.....	13
Introducción.....	13
Relación de Potencia.....	13
Relaciones de voltaje, Corriente, y Presión.....	14
Presión Sonora y Contornos de Intensidad.....	16
Relaciones Cuadradas Inversas.....	18
Sumando Niveles de Potencia en dB.....	19
Niveles de referencia.....	19
Valores de Señal Pico, Promedio, y rms.....	20
Capítulo 3: Directividad y Cobertura Angular de Altavoces.....	21
Introducción.....	21
Algunos Fundamentos.....	21
Una Comparación de Planos Polares, Planos de ancho de difusión, Planos de Directividad e Isobaras.....	23
Directividad de Radiadores Circulares.....	24
La Importancia de la Respuesta Plana de Potencia	26
Medidas de Características Direccionales.....	27
Usando la Información de Directividad.....	28
Características direccionales de Radiadores Combinados.....	28
Capítulo 4: Un Sistema del Refuerzo de sonido al Aire libre.....	31
Introducción.....	31
Concepto de Ganancia Acústica.....	32
La influencia de Micrófonos y Altavoces Direccionales en un Sistema de Máxima Ganancia.....	33
¿Cuánta Ganancia se Necesita?	34
Conclusión.....	35
Capítulo 5: Fundamentos de Acústica de Salas.....	37
Introducción.....	37
Absorción y Reflexión de Sonido.....	37
El Crecimiento y Decaimiento de un Campo Sonoro en una Sala.....	41
Reverberación y Tiempo de Reverberación.....	43
Campos Sonoros Directos y Reverberantes.....	48
Distancia crítica.....	50
Constante de la Sala.....	51
Los Modelos estadísticos vs. el Mundo Real.....	56

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Tabla de Contenidos (cont.)

Capítulo 6: La conducta de Sistemas de sonido Dentro de un edificio.....	57
Introducción.....	57
La Realimentación acústica y Ganancia Potencial de un Sistema.....	58
Los Cálculos de Campo de sonido para una Sala Pequeña.....	59
Cálculos para una Sala Mediana.....	62
Cálculos para un Sistema de Altavoz distribuido.....	65
Ganancia del sistema vs. Respuesta de Frecuencia.....	66
La Ecuación de Ganancia Interior.....	66
Midiendo la Ganancia del Sistema de Sonido.....	67
Requisitos generales para la Inteligibilidad del Discurso.....	68
El Papel del Retraso de Tiempo en el Refuerzo de sonido.....	73
La Ecuación del Sistema y Respuesta de Potencia de Altavoces.....	74
La apreciación global de Diseño del Sistema.....	76
Capítulo 7: La Arquitectura del sistema y Disposición.....	77
Introducción.....	77
Diagrama de Flujo típico de Señal.....	77
Valuación de Potencia del amplificador y del Altavoz.....	81
Medidas del cable y Pérdidas de la Línea.....	81
Sistemas de Distribución de Voltaje constante (70-volt línea).....	82
Aumento de Frecuencia baja—Subwoofers.....	82
Caso de Estudio A: Un Sistema de Discurso y Música para una Iglesia Evangélica Grande.....	85
Caso de Estudio B: Un Sistema del Refuerzo de sonido distribuido para una Iglesia Litúrgica Grande.....	88
Caso de Estudio C: Las especificaciones para un Sistema de sonido distribuido que comprende un Salón de baile, espacio de Reunión pequeño, y área de Bar/Social.....	92

Bibliografía

Prologo a la Edición 1999:

Esta tercera edición del **Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido** de JBL se presenta en un nuevo formato gráfico que constituye más fácil la lectura y estudio. Como sus predecesores, presenta virtualmente su original forma de 1977 George Augspurger, intuitivo e iluminando explicaciones de sonido y el comportamiento del sistema de sonido en los espacios adjuntos. La sección en sistemas y estudios de casos se han extendido, y referencias a los componentes de JBL se ha puesto al día.

Los principios de acústica y el diseño del sistema de sonido no cambian, pero la aplicación del sistema mejora en su efectividad con los continuos desarrollos en el proceso de señal, el refinamiento del transductor, y la flexibilidad del control y ruteo de la señal.

Como declarado en el Prólogo a la edición 1986: La competencia técnica de distribuidores profesionales y los contratistas sonoros son muchos más hoy que cuando el manual del Taller Sonoro era originalmente introducido. Es que JBL está sintiendo que el contratista serio o distribuidor profesional de hoy están listos para trasladar los números simplemente en las ecuaciones. En cambio, el diseñador está ávido para aprender eso que las ecuaciones realmente significan, y es el intento en aprender cómo los altavoces y salas actúan recíprocamente, sin embargo lo complejo que puede ser. Es para el estudiante con semejante perspectiva que este manual se piensa.

John Eargle
Enero de 1999

Capítulo 1: Propagación de Onda

Longitud de onda, Frecuencia, y Velocidad del sonido

Las ondas del sonido viajan aproximadamente a 344 m/seg. (1130 ft/seg.) en el aire. Hay una velocidad relativamente pequeña con dependencia en la temperatura, y bajo las condiciones interiores normales, nosotros podemos ignorarlo. El sonido audible cubre un rango de frecuencia de aproximadamente 20 Hz a 20 kHz.

La longitud de onda del sonido de una frecuencia dada es la distancia entre las repeticiones sucesivas de la forma de onda como viajes sonoros a través del aire. Se da por la ecuación siguiente:

$$\text{longitud de onda} = \text{velocidad/frecuencia}$$

o, usando las abreviaciones comunes de c para la velocidad, f para la frecuencia, y λ para la longitud de onda:

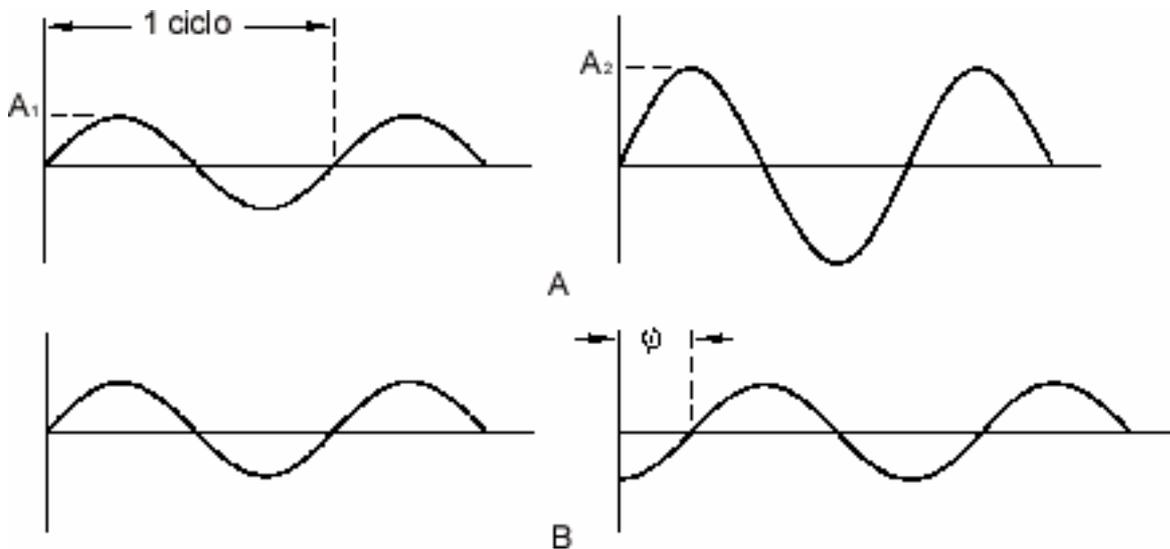
$$\lambda = c/f$$

Periodo (T) se define como el tiempo requerido para un ciclo de forma de onda. $T = 1/F$.

Para $f = 1$ kHz, $T = 1/1000$, o 0.001 seg., y $\lambda = 344/1000$, o .344 m (1.13 ft.)

Los sonidos audibles más bajos tienen las longitudes de onda en el orden de 10 m (30 pies), y los sonidos más altos tienen las longitudes de onda tan corto como 20 mm (0.8 pulgadas). El rango es bastante grande, y, cuando nosotros veamos, tiene gran presión en el comportamiento del sonido.

Las ondas que nosotros hemos estado discutiendo son de recorrido seno, esos ladrillos básicos de todas las señales de habla y música. La Figura 1-1 muestra algunos de los aspectos básicos de ondas seno. Note que ondas de igual frecuencia puede diferir en la amplitud y en el ángulo de fase. Las relaciones de amplitud y ángulo de fase entre las ondas seno determinan cómo ellas se combinan, acústicamente o eléctricamente.



A - Dos ondas Seno diferentes en Amplitud.
B - Dos ondas Seno diferentes en Relación de Fase.

Figura 1-1. Propiedades de ondas seno.

Combinando Ondas Seno

Refiriéndose a la Figura 1-2, si dos o más señales de ondas seno que tienen la misma frecuencia y amplitud se suman, nosotros encontramos que la señal resultante también tiene la misma frecuencia y que su amplitud depende en la relación de fase de las señales originales. Si hay una diferencia de fase de 120° , la resultante tiene exactamente la misma amplitud de las señales originales. Si ellas se combinan en fase, la señal resultante tiene dos veces la amplitud de las originales. Para las diferencias de fase entre 120° y 240° , la señal resultante siempre tiene una amplitud menor que el de ambas señales originales. Si dos señales están exactamente 180° fuera de fase, allí se determina una cancelación total.

En los circuitos eléctricos es difícil mantener las relaciones de fase idénticas entre todos los componentes de señales más complejas, salvo los casos especiales dónde las señales se combinan con una relación de fase de 0° o 180° . Los circuitos que mantengan alguna relación de fase específica (por ejemplo 45°) sobre un amplio rango de frecuencias son justamente complejos. Tal amplio rango, el todo - paso cambiando - fase, se usan las redes en el proceso de señal acústica.

Al tratar con las señales complejas como música o discurso, uno debe entender el concepto de coherencia. Suponga que nosotros alimentábamos una señal eléctrica a través de un amplificador de alta calidad. Aparte de muy pequeñas cantidades de distorsión, la señal de salida es una exacta réplica de la señal de entrada, salvo su amplitud.

Las dos señales, aunque no idénticas, se dicen muy coherentes. Si la señal atraviesa un amplificador pobre, nosotros podemos esperar diferencias sustanciales entre entrada y salida, y la coherencia no será grande. Si nosotros comparamos señales cualquiera totalmente diferentes, las similitudes ocurren completamente al azar, y las dos son dichas para ser no - coherente.

Quando se agregan dos señales no - coherentes, el valor rms (raíz cuadrada media) de la señal resultante puede calcularse sumando las potencias relativas de las dos señales en lugar de sus voltajes. Por ejemplo, si nosotros combinamos las salidas de dos generadores de ruido separado, cada uno produce un salida rms de 1 volt, la señal medida resultante es de 1.414 volts rms, como se muestra en la Figura 1-3.

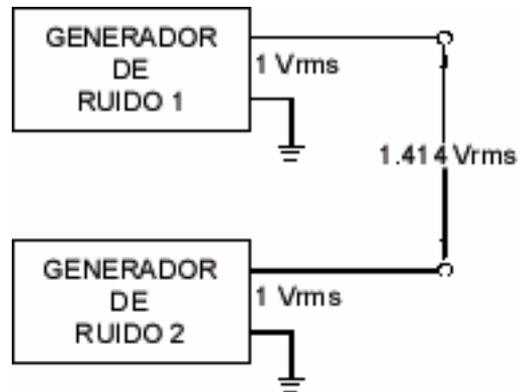


Figura 1-3. Combinando dos generadores de ruido al azar

las líneas punteadas indican las señales individuales
la línea sólida indica la señal suma resultante

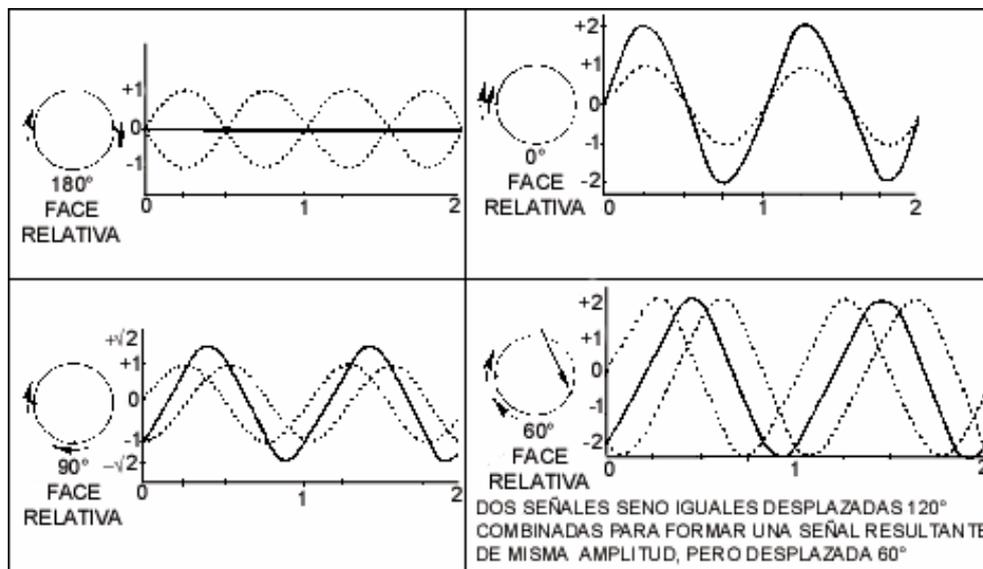


Figura 1-2. Suma del vector de dos ondas seno.

Combinando Ondas Seno Retardadas

Si dos señales de ancho - rango coherentes son combinadas con una diferencia de tiempo especificada entre ellas, en lugar de una relación de la fase fija, algunas frecuencias se sumarán y otras se cancelarán. Una vez que la señal retardada llega y se combina con la señal original, el resultado es una forma de "filtro peine",

qué altera la respuesta de frecuencia de la señal, como se muestra en la Figura 1-4. El retraso puede lograrse eléctricamente a través del uso de redes de retraso de todo - paso o proceso digital.

Repartiendo señales acústicas en el aire, no hay ninguna manera simple de evitar los efectos de retraso, ya que la velocidad del sonido es relativamente lenta.

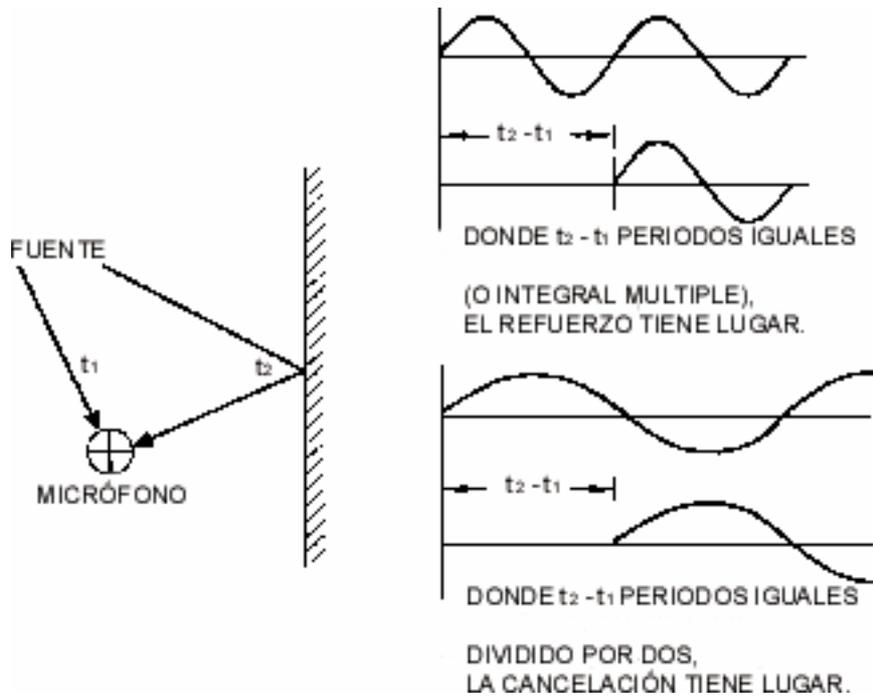
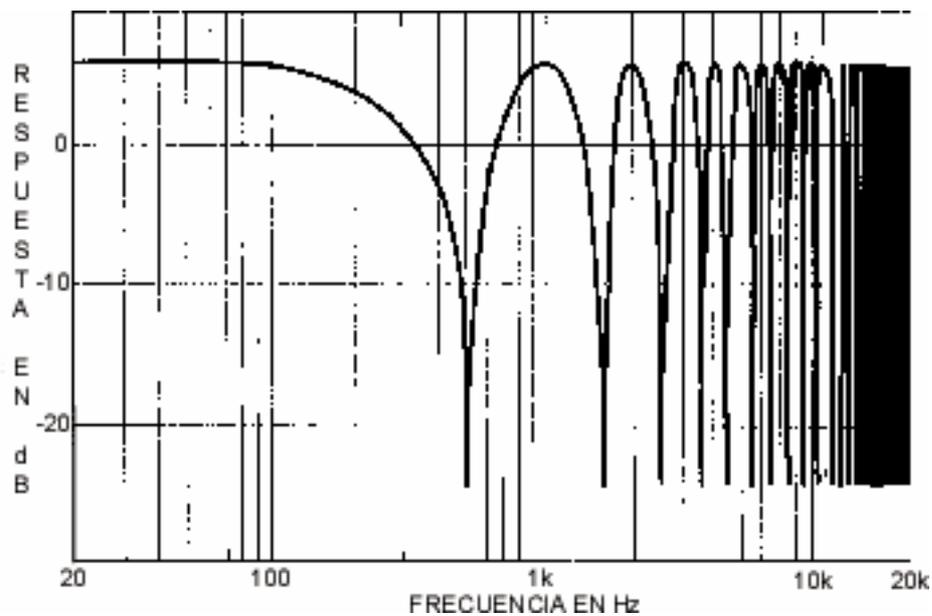


Figura 1-4A. Combinando señales retardadas.



Respuesta de frecuencia de dos canales de programa de ancho - rango combinado con un retardo de un milisegundo entre canales. La misma señal del programa alimenta a ambos, sólo que difieren de amplitudes por 0.5 dB.

Figura 1-4B. Combinando señales coherentes con retraso de tiempo constante.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Un ejemplo típico de combinar señales coherentes retardadas se muestra en la Figura 1-5. Considere el sistema de PA al aire libre en que un solo micrófono se amplifica por un par de idénticos altavoces separados. Suponga que los altavoces en cuestión se localizan a cada esquina delantera del escenario, separado por una distancia de 6 m (20 pies). A cualquier distancia del escenario a lo largo de la línea del centro, las señales de los dos altavoces llegan simultáneamente.

Pero en cualquier otra ubicación, las distancias de los dos altavoces son desiguales, y

parece que el sonido de uno llega ligeramente después que el sonido del otro. La ilustración muestra la respuesta de frecuencia dramáticamente diferente, que es el resultado de un cambio en la posición del oyente de sólo 2.4 m (8 pies). Usando ruido al azar como una prueba de señal, si usted camina del Punto B al Punto A y procede por la línea del centro, usted oír un efecto pronunciado de chasquido, casi como una sirena. El cambio en la calidad sonora es pronunciado cerca de la línea del centro, porque en esta área los picos y pendientes de respuesta se extienden más lejos aparte en frecuencia.

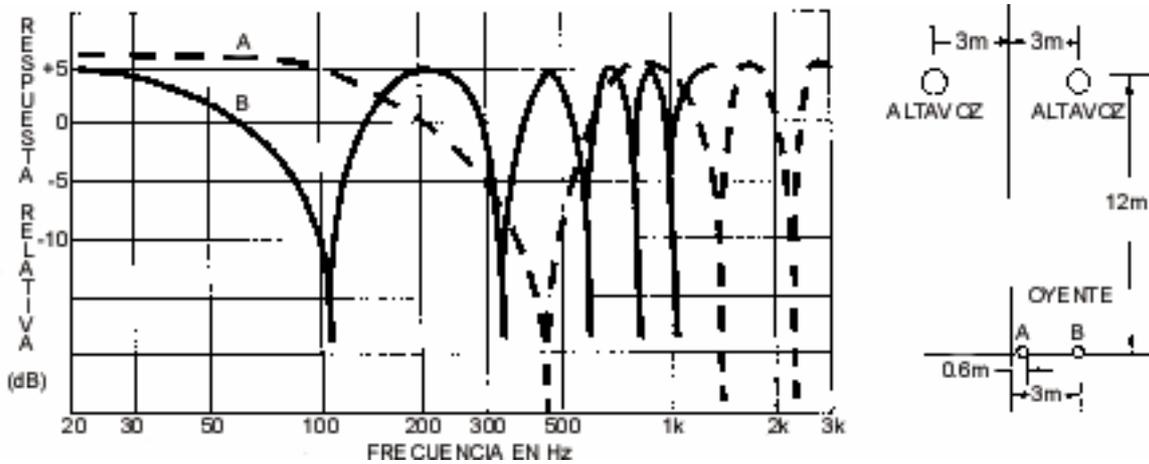
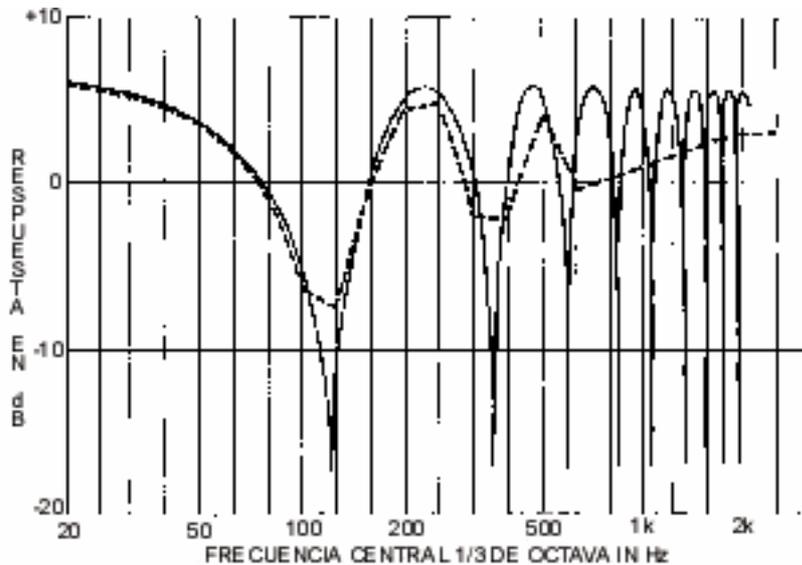


Figura 1-5. Generación de efectos de interferencia (respuesta de filtro peine) por una serie dividida.



Línea sólida - Moderada respuesta de frecuencia de onda seno.
 Línea punteada - respuesta de banda 1/3 de octava, correspondiendo estrechamente a la calidad tonal subjetiva al escuchar el material del programa normal. Anteriormente la respuesta subjetiva de 1 kHz es esencialmente plana.

Figura 1-6. Efecto audible de filtros peine mostrado en Figura 1-5.

Subjetivamente, el efecto de tal filtro peine no es particularmente notable en el material de programa normal con tal de que varios picos y pendientes ocurran dentro de una banda de un tercio de octava. Ver Figura 1-6. Realmente, el factor controlando es el “ancho de banda crítico.”

En general, variaciones de amplitud que ocurren dentro de una banda crítica no se notará como tal. Más bien, el oído responderá a la señal de potencia contenida dentro de esa banda. Para el trabajo práctico en el diseño del sistema de sonido y la acústica arquitectónica, nosotros, podemos asumir que el ancho de banda crítico del oído humano es casi un tercio de octava.

En las casas de culto (Iglesias), el sistema debe estar alto suspendido sobre la cabeza y centrado. En los espacios que no tiene la altura considerable, existe la tentación fuerte de usar dos altavoces, uno en cada lateral de la plataforma, alimentando ambos con el mismo programa. Nosotros no recomendamos esto.

Difracción del Sonido

La difracción se refiere al torcimiento de ondas sonoras cuando ellas se mueven alrededor de obstáculos. Cuando el sonido golpea un obstáculo duro, no - poroso, puede reflejarse o

difractarse, dependiendo del tamaño del obstáculo relativo a la longitud de onda. Si el obstáculo es grande comparado a la longitud de onda, actúa como una eficaz barrera, reflejando la mayoría del sonido y lanzando una sustancial “sombra” detrás del objeto. En el otro, si es pequeño comparado con la longitud de onda, suena simplemente alrededor de él como si no estuviera allí. Esto se muestra en la Figura 1-7.

Un ejemplo interesante de difracción sonora ocurre cuando un material perforado se pone en el camino de las ondas sonoras. Hasta ahora cuando el sonido es el material involucrado, tal no consiste en una sólida barrera interrumpida por perforaciones, sino como un área abierta obstruida por varios pequeño objetos. A frecuencias cuyas longitudes de onda son pequeñas comparado con el espacio entre las perforaciones, la mayoría del sonido se refleja. A estas frecuencias, el porcentaje de viaje sonoro a través de las aperturas es esencialmente proporcional a la relación entre áreas abiertas y cerradas. A más bajas frecuencias (aquellas cuyas longitudes de onda son grandes comparado con el espacio entre las perforaciones), la mayoría del sonido pasa a través de las aperturas, aunque ellas sólo pueden considerarse un 20 o 30 por ciento del área total.

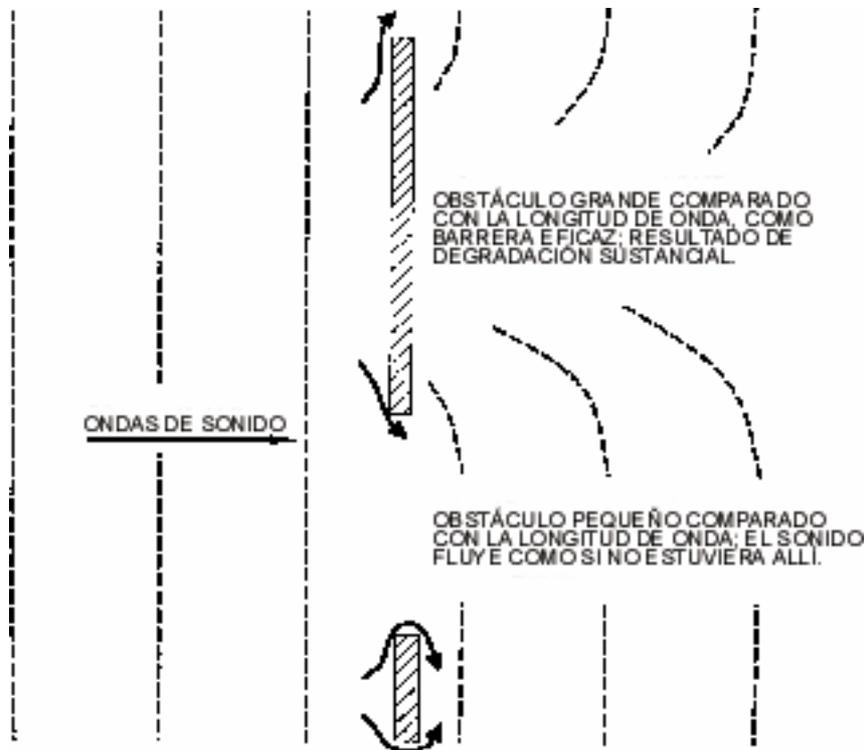


Figura 1-7. Difracción de sonido alrededor de obstáculos.

Los efectos de Pendientes de Temperatura en la Propagación del Sonido

Si el sonido se propaga sobre grandes distancias fuera del lugar, su comportamiento puede parecer errático. Las diferencias (pendientes) en la temperatura sobre el nivel de la tierra afectará la propagación como se muestra en la Figura 1-8.

La refracción del sonido se refiere a su ligero cambio de dirección y aumento de velocidad con elevación de las temperaturas. En la Figura 1-8A, nosotros observamos una situación que a menudo ocurre al anochecer, cuando la tierra está todavía caliente. El caso mostrado en B puede ocurrir a la mañana, y su característica "saltando" puede dar suba para

sitios calientes y sitios inactivos en el área de escucha.

Los efectos de la Velocidad del Viento y Pendientes en la Propagación Sonora

La Figura 1-9 muestra el efecto de la pendiente de la velocidad del viento en la propagación sonora. La velocidad real del sonido en este caso es la velocidad del sonido en el aire, más la velocidad del propio viento. La Figura 1-10 muestra el efecto de una brisa cruzada en la dirección de una fuente sonora. Los efectos mostrados en estas dos figuras pueden ser evidentes a los grandes conciertos de Rock, donde las distancias cubiertas pueden estar en el rango de 200 - 300 m (600 - 900 pies)

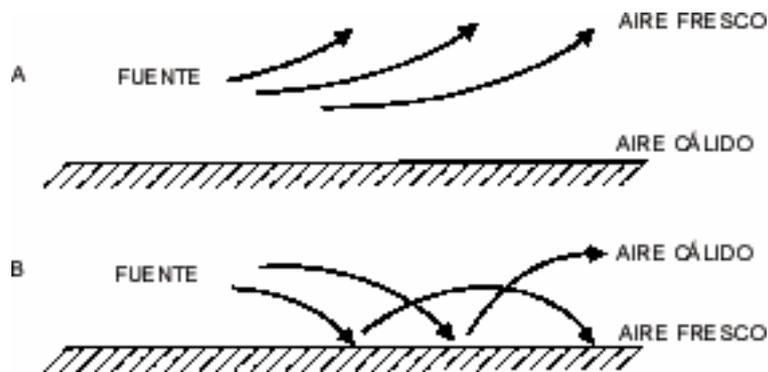


Figura 1-8. Los efectos de pendientes de temperatura en la propagación sonora.

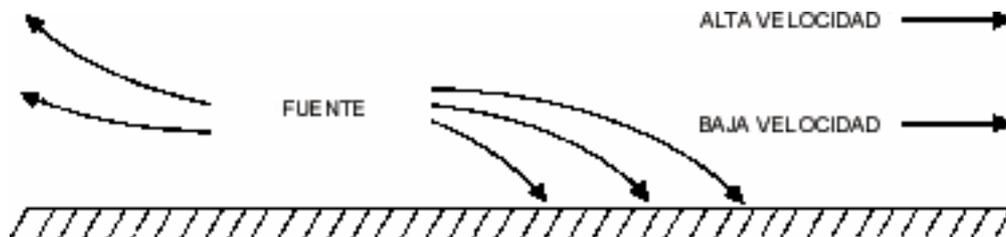


Figura 1-9. El efecto de pendientes de velocidad del viento en la propagación sonora.

Los efectos de la Humedad en la Propagación del Sonido

Contrariamente a lo que la mayoría de las personas cree, se produce mayor atenuación sonora en el aire seco que en el aire húmedo.

El efecto es complejo, y se muestra en la Figura 1-11. Note que el efecto sólo es significativo a las frecuencias sobre 2 kHz. Esto significa que las frecuencias altas se atenuarán más con la distancia que las frecuencias bajas, y que la atenuación es más grande cuando la humedad relativa es 20 por ciento o menos.



Figura 1-10. Efecto de brisa cruzada en la aparente dirección del sonido.

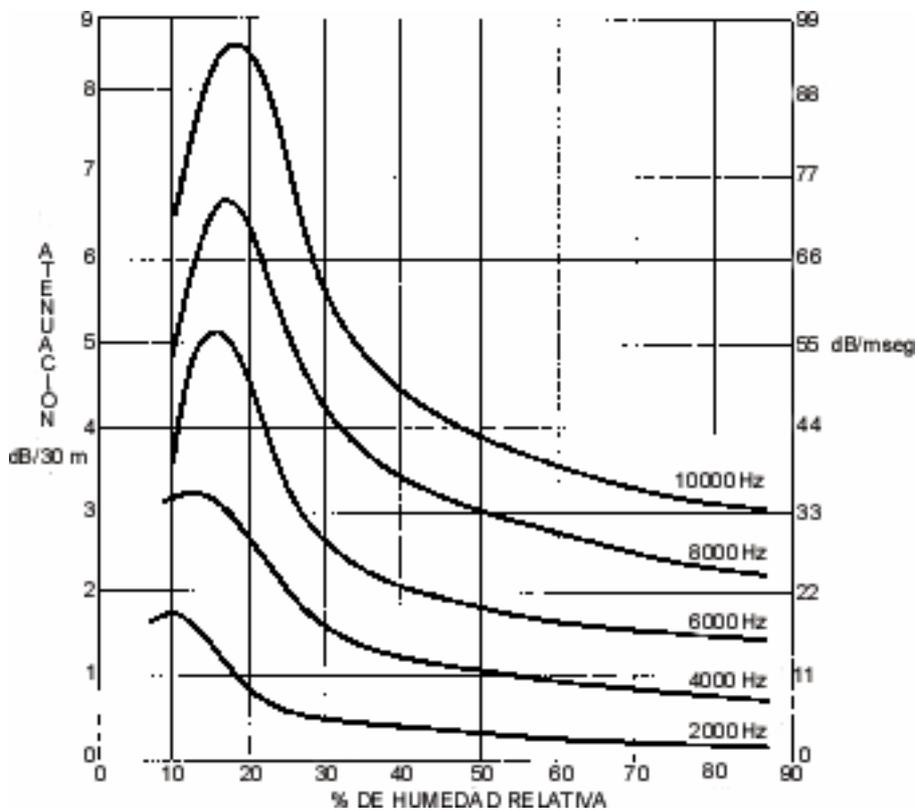


Figura 1-11. Absorción de sonido en el aire vs. humedad relativa.

Capítulo 2: El Decibel

Introducción

En todas las fases de tecnología de audio, el decibel es usado para expresar niveles de señal y las diferencias de niveles en la presión sonora, potencia, voltaje, y corriente. La razón del decibel es una medida útil que nos permite que usemos un rango comparativamente pequeño de números para expresar grandes y a menudo pesadas cantidades. El decibel también tiene el sentido de un punto de vista psicoacústico que relaciona directamente al efecto de la mayoría de los estímulos sensorios.

Relación de Potencia

Fundamentalmente, el *bel* se define como el logaritmo común de una relación de potencia:

$$\text{bel} = \log (P_1/P_0)$$

Por conveniencia, nosotros usamos el *decibel* que es simplemente undécimo del bel. Así:

$$\text{decibeles} = 10 \log (P_1/P_0)$$

La tabulación siguiente ilustra la utilidad del concepto. Permitiendo $P_0 = 1 \text{ watt}$:

<u>P₁ (watts)</u>	<u>Nivel en dB</u>
1	0
10	10
100	20
1000	30
10,000	40
20,000	43

Note que un rango 20,000-a-1 en potencia puede ser expresado de una manera muy manejable, para referirse a potencias como niveles en dB sobre el watt. Psicoacusticamente, un aumento de diez veces en potencia resulta en un nivel que la mayoría de las personas juzgarían que es "dos veces mas fuerte." Así, 100-watts de señal acústica es dos veces tan fuerte como 10-watts de señal, y 10-watts de señal sería dos

veces tan fuerte como un 1-watt de señal. La conveniencia de usar los decibeles es clara; cada una de estas relaciones de potencia puede ser expresada por el mismo nivel, 10 dB. Cualquier diferencia de nivel de 10 dB, sin tener en cuenta las potencias reales involucradas, representa una diferencia 2-a-1 en la subjetiva intensidad.

Nosotros extendemos nuestra tabla de decibel de potencia ahora:

<u>P₁ (watts)</u>	<u>Nivel en dB</u>
1	0
1.25	1
1.60	2
2	3
2.5	4
3.15	5
4	6
5	7
6.3	8
8	9
10	10

Esta tabla merece memorizarse.

Conociéndola, usted, casi puede hacer inmediatamente los cálculos mentales, llegando a los niveles de potencia en dB sobre, o debajo de, un watt.

Aquí están algunos ejemplos:

1. ¿Qué nivel de potencia se representa por 80 watts? Primero, localice 8 watts en la columna izquierda y note que el nivel correspondiente es 9 dB. Entonces, note que 80 es 10 veces 8, dar otros 10 dB.

Así:
 $9 + 10 = 19 \text{ dB}$

2. ¿Qué nivel de potencia se representa por 1miliwatt? 0.1 watts representan un nivel de menos 10 dB, y 0.01 representa disminuir un nivel de 10 dB. Finalmente, 0.001 representa una disminución adicional de nivel de 10 dB.

Así:
 $-10-10-10 = -30 \text{ dB}$

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

3. ¿Qué nivel de potencia se representa por 4 miliwatts? Cuando nosotros hemos visto, el nivel de potencia de 1 miliwatt es -30 dB. Dos miliwatts representa un aumento de nivel de 3 dB, y de 2 a 4 el miliwatts hay un aumento adicional de nivel de 3 dB. Así:

$$-30 + 3 + 3 = -24 \text{ dB}$$

4. ¿Que es la diferencia de nivel entre 40 y 100 watts? Note de la tabla que el nivel correspondiente a 4 watts es 6 dB, y el nivel correspondiente a 10 watts es 10 dB, una diferencia de 4 dB. Desde el nivel de 40 watts es 10 dB mayor que para 4 watts, y el nivel de 80 watts es 10 dB mayor que para 8 watts, nosotros tenemos:

$$6 - 10 + 10 - 10 = -4 \text{ dB}$$

Nosotros hemos hecho este último ejemplo de manera larga, simplemente para mostrar el acercamiento riguroso. Sin embargo, nosotros simplemente podríamos detenernos con nuestra primera observación, notando que la diferencia de nivel en dB entre 4 y 10 watts, 4 y 1 watts, o 400 y 1000 watts siempre son los mismos 4 dB, porque ellos representan la misma relación de potencia.

La diferencia de nivel en dB puede convertirse a una relación de potencia por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Relación de potencia} = 10^{\text{dB}/10}$$

Por ejemplo, encuentre la relación de potencia de una diferencia de nivel de 13 dB:

$$\text{Relación de potencia} = 10^{13/10} = 10^{1.3} = 20$$

El lector debe adquirir una habilidad razonable tratando con las relaciones de potencia expresadas como diferencia de nivel en dB. Un buen "sentido" por los decibeles es un requisito para cualquier ingeniero de audio o contratista de sonido. Un extendido nomógrafo para convertir relaciones de potencia por diferencias de niveles en dB se da en la Figura 2-1.

Relaciones de Voltaje, Corriente, y Presión

El decibel relaciona fundamentalmente las relaciones de potencia, y nosotros podemos usar relaciones de voltaje, corriente, y presión cuando ellos se relacionan a potencia. La potencia eléctrica se represente como:

$$P = E I$$

$$P = I^2 Z$$

$$P = E^2 / Z$$

Porque la potencia es proporcional al cuadrado del voltaje, el efecto de doblar el voltaje es a cuadruplicar la potencia:

$$(2E)^2 / Z = 4(E)^2 / Z$$

Como ejemplo, permita $E = 1$ voltio y $Z = 1$ ohm.

Entonces, $P = E^2 / Z = 1$ watts. Ahora, permita $E = 2$ voltios; entonces, $P = (2)^2 / 1 = 4$ watts.

Los mismos sostenimientos para la corriente, y deben usarse las ecuaciones siguientes para expresar los niveles de potencia en dB que usa relaciones de voltaje y corriente:

$$\text{Nivel en dB} = 10 \log (E_1 / E_0)^2 = 20 \log (E_1 / E_0)$$

y

$$\text{Nivel en dB} = 10 \log (I_1 / I_0)^2 = 20 \log (I_1 / I_0)$$

La presión Sonora es análoga al voltaje, y los niveles son dados por la ecuación:

$$\text{Nivel en dB} = 10 \log (P_1 / P_0)$$



Figura 2-1. El nomógrafo para determinar las relaciones de potencia directamente en dB

El nivel de referencia normal para el voltaje, E_0 , es un voltio. Para la presión del sonido, la referencia es un valor sumamente bajo de 20×10^{-6} newtons/m². Esta referencia de presión corresponde aproximadamente a la mínima presión sonora audible para las personas con el oído normal. Más normalmente, nosotros declaramos la presión en *pascales* (Pa), dónde $1 \text{ Pa} = 1 \text{ newton/m}^2$. Como un punto conveniente de referencia, note que un 1 pascal de presión rms corresponde a un nivel de presión sonora de 94 dB. Nosotros ahora presentamos una tabla útil para determinar niveles en dB para relaciones dadas en voltaje, corriente, o presión Sonora:

<u>Relación de Voltaje, Corriente o Presión</u>	<u>Nivel en dB</u>
1	0
1.25	2
1.60	4
2	6
2.5	8
3.15	10
4	12
5	14
6.3	16
8	18
10	20

Esta tabla puede usarse exactamente de la misma manera como la anterior. Recuerde, sin embargo, que la impedancia de referencia, si es eléctrica o acústica, debe permanecer fija al usar éstas relaciones para determinar diferencias de nivel en dB. Unos ejemplos se dan:

1. Hallar la diferencia de nivel en dB entre 2 voltios y 10 voltios. Directamente de la tabla nosotros observamos

$$20 - 6 = 14 \text{ dB.}$$

2. Hallar la diferencia de nivel entre 1 voltio y 100 voltios. Una relación 10-a-1 corresponde a una diferencia de nivel de 20 dB. Subsecuentemente 1-a-100 representa el producto de dos relaciones (1-a-10 y 10-a-100), la respuesta es

$$20 + 20 = 40 \text{ dB.}$$

3. La señal de entrada a un amplificador es 1 voltio, y la impedancia de la entrada es 600 ohm. La salida también es 1 voltio, y la impedancia de carga es 15 ohm. ¿Cuál es la ganancia del amplificador en dB? ¡Mire esto cuidadosamente!

Si nosotros simplemente comparamos voltajes de entrada y salida, todavía conseguimos 0 dB como nuestra respuesta. La *ganancia de voltaje* es de hecho la unidad, o uno. Recordando que los decibeles se refieren principalmente a relaciones de potencia, nosotros debemos diferenciar impedancias de entrada y de salida en el calculo y actualizar cálculos de potencias de entrada y de salida.

$$\text{Potencia de entrada} = E_2 / Z = 1 / 600 \text{ watts}$$

$$\text{Potencia de salida} = E_2 / Z = 1 / 15$$

$$\text{Así, } 10 \log (600 / 15) = 10 \log 40 = 16 \text{ dB}$$

Afortunadamente, tales cálculos como el anterior a menudo no hay que realizarlos. En la transmisión de audio, nosotros mantenemos la pista de operar los niveles principalmente a través de los cálculos de nivel de voltaje en que el valor de referencia de voltaje de 0.775 voltios tiene un nivel asignado de 0 dBu. El valor de 0.775 voltios es aplicado a una carga de 600 ohm para producir una potencia de 1 miliwatt (mW). Un nivel de potencia de 0 dBm corresponde a 1 mW. Declarado algo diferentemente, valores nivel en dBu y dBm sólo tienen el mismo valor numérico cuando la carga de impedancia es 600 ohm.

La diferencia de nivel en dB puede convertirse a una relación de voltaje, corriente, o de presión por medio de la ecuación siguiente:

$$\text{Relación} = 10^{\text{dB}/20}$$

Por ejemplo, encuentre la relación de voltaje correspondiente a una diferencia de nivel de 66 dB:

$$\begin{aligned} \text{Relación de voltaje} &= 10^{66/20} = 10^{3.3} \\ &= 2000. \end{aligned}$$

Presión Sonora y Contornos de Intensidad

Nosotros veremos una vez el término dB - SPL y de nuevo en el trabajo de sonido profesional. Se refiere a niveles de presión sonora en dB sobre la referencia de $20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$.

Nosotros normalmente usamos una *medida de nivel sonoro* (SLM) para medir SPL. La intensidad y la presión Sonora obviamente nos dan una relación, pero ellas no son la misma cosa. La intensidad es una sensación subjetiva que difiere del nivel medido en ciertos aspectos importantes. Para especificar la intensidad en condiciones científicas, se usa una unidad diferente, el *phon*.

Phons y decibeles comparten el mismo valor numérico sólo a 1000 Hz. A otras frecuencias, la escala del phon se desvía más o menos de la escala de nivel de sonido, dependiendo de la frecuencia particular y las presiones del sonido; la Figura 2-2 muestra la relación entre phon y decibeles, e ilustra el muy conocido Robinson - Dadson igual contornos de intensidad. En general, muestra que el oído se pone menos sensible a las frecuencias bajas de sonido cuando el nivel es reducido.

Al medir los niveles de presión sonora, la respuesta pesada puede emplearse más

estrechamente al aproximar la respuesta del oído. Trabajando con sistemas de sonido, las escalas más útiles en la medición del nivel de sonido, será la escala A y la escala lineal, mostrada en Figura 2-3. Medidas de nivel de sonido económicas que no pueden proporcionar la respuesta lineal sobre el rango completo del oído humano, a menudo no tienen la escala lineal pero ofrecen en cambio una escala C. Como puede verse de la ilustración, escala-C gira un poco fuera de los extremos de frecuencia. Normalmente ofrecen precisión de medidas de niveles sonoros las escalas A, B, y C además de la respuesta lineal. Las medidas hechas con medidas de nivel sonoro normalmente se identifican anotando el factor pesado, como: dB(A) o dB(lin).

Los niveles típicos de sonidos familiares, como muestra en la Figura 2-4, ayuda que estimemos valores dB(A) cuando una medida de nivel sonoro no está disponible. Por ejemplo, el nivel de conversación normal es aproximadamente 60 dB(A). Mas personas logran un molesto nivel superior a 100 dB(A), dependiendo de la longitud de la exposición. Niveles superiores a 120 dB(A) son definitivamente peligrosos para oír y se percibe como doloroso exceptuando todos los especializados entusiastas de música de Rock.

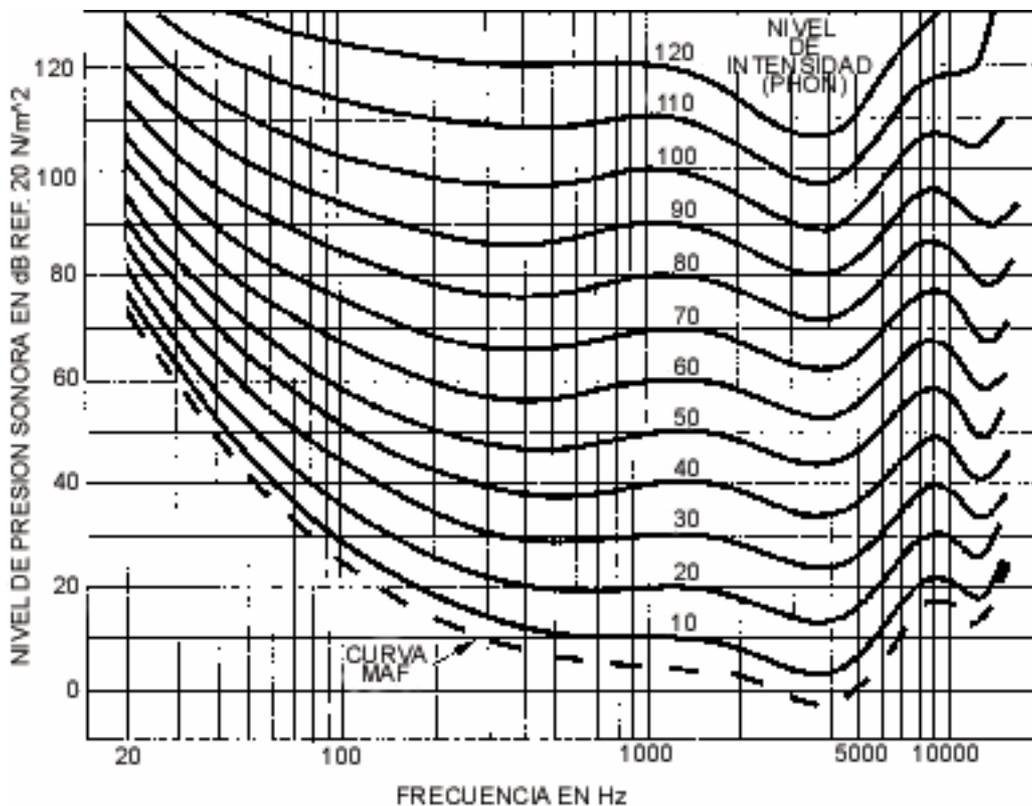


Figura 2-2. Campo - libre, iguales contornos de intensidad

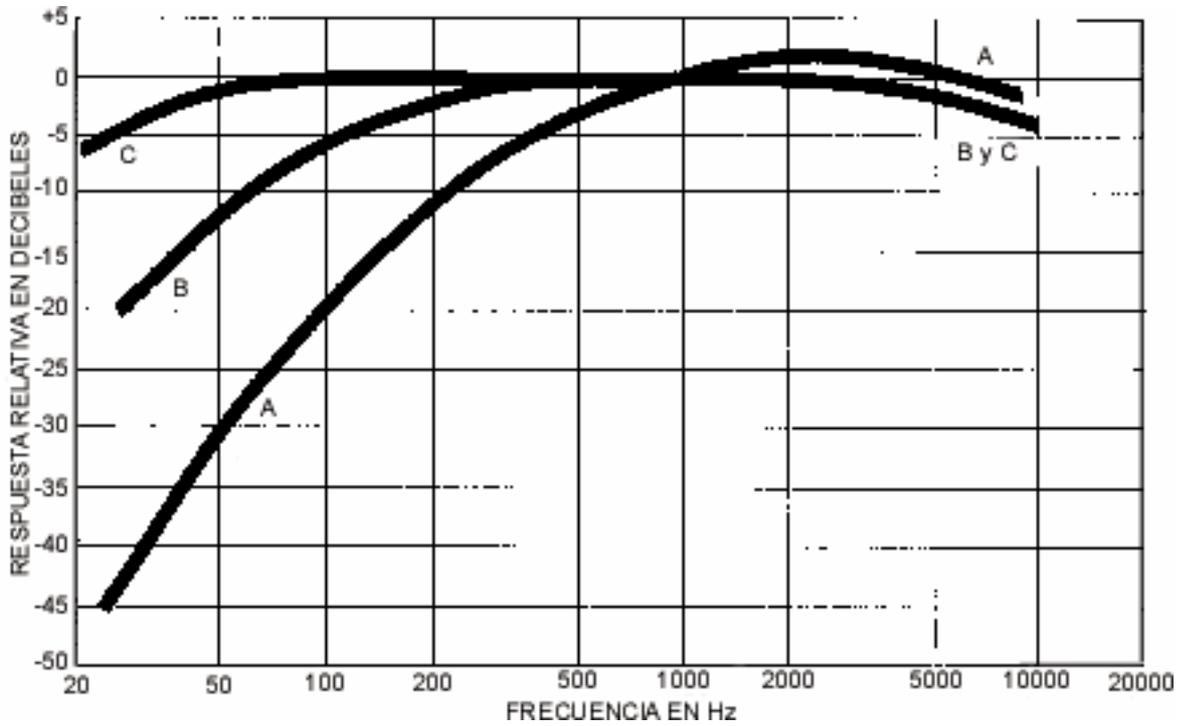


Figura 2-3. Características de respuestas de frecuencia para SLM

130-140	SIRENA DE 50 HP A 30 METROS
120-130	DESPEGUE DE UN JET A 60 METROS
110-120	PICOS DE NIVEL, DURANTE UN CONCIERTO DE ROCK
100-110	MONITOR DE GRABACION PARA MUSICA POP
90-100	RUIDO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL
80-90	MARTILLO NEUMATICO A 15 METROS – AUTO DE CARRERAS A 80 Km/Hs
70-80	NIVEL MÁXIMO DEL DISCURSO PREFERIDO PARA LA INTELIGIBILIDAD
60-70	
50-60	DOS PERSONAS CONVERSANDO
40-50	SUAVE MURMULLO
30-40	
20-30	RUIDO DEL FONDO EN UNA CASA SUBURBANA POR LA NOCHE
10-20	
0-10	UMBRAL DEL OÍDO - PERSONAS JÓVENES

decibeles
Ref.: 20 $\mu\text{N} / \text{m}^2$

Figura 2-4. Típicos niveles sonoros A-pesada.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Relaciones Cuadradas inversas

Cuando nos movemos fuera de una *fente puntual* de sonido, o en un campo libre, nosotros observamos que SPL cae de casi exactamente 6 dB para cada duplicación de distancia fuera de la fuente. La razón de esto es mostrada en la Figura 2-5. En A hay una esfera de radio un metro que rodea una fuente puntual de sonido P1 representando el SPL de la superficie de la esfera. En B, nosotros observamos una esfera de dos veces el radio, 2 metros.

El área de la esfera más grande es *cuatro veces* el del más pequeño, y esto significa que la potencia acústica que pasa a través de un área pequeña atravesando la esfera más grande habrá terminado atravesando $\frac{1}{4}$ en la misma área pequeña en la esfera más pequeña. La relación 4-a-1 de potencia representa una diferencia de nivel de 6 dB, y la relación de presión sonora correspondiente será 2-a-1.

Se da, un conveniente nomógráfico para determinar las pérdidas cuadradas inversas en la Figura 2-6. El cálculo de cuadrado inverso depende de una fuente puntual teórica en un campo libre. En el mundo real, nosotros podemos

acercarnos estrechamente a un campo libre ideal, pero todavía debemos tener en cuenta los factores de tamaño de la fuente finita y los modelos de radiación de no - uniforme.

Considere un altavoz de bocina - tipo que tiene una sensibilidad valuada en 100 dB, 1 watts a 1 metro. ¿Un metro desde dónde? ¿Nosotros medimos desde la boca de la bocina, la garganta de la bocina, el Driver del diafragma, o algún punto indeterminado?

Aun cuando la posición de la medida se específica, la información puede ser inútil. El sonido de una fuente finita no se comporta según la ley del cuadrado inverso a las distancias cerca de esa fuente. Las medidas hechas "cerca del campo" no pueden usarse para estimar el desempeño a distancias mayores. Esto es para que, uno pueda preguntarse por qué los altavoces se valúan a una distancia de sólo 1 metro.

El método de valuar y los métodos aceptados de medir dispositivos son dos cosas diferentes. Se espera que el fabricante haga un número de mediciones a varias distancias bajo condiciones de campo libre. De éstas, él puede establecer

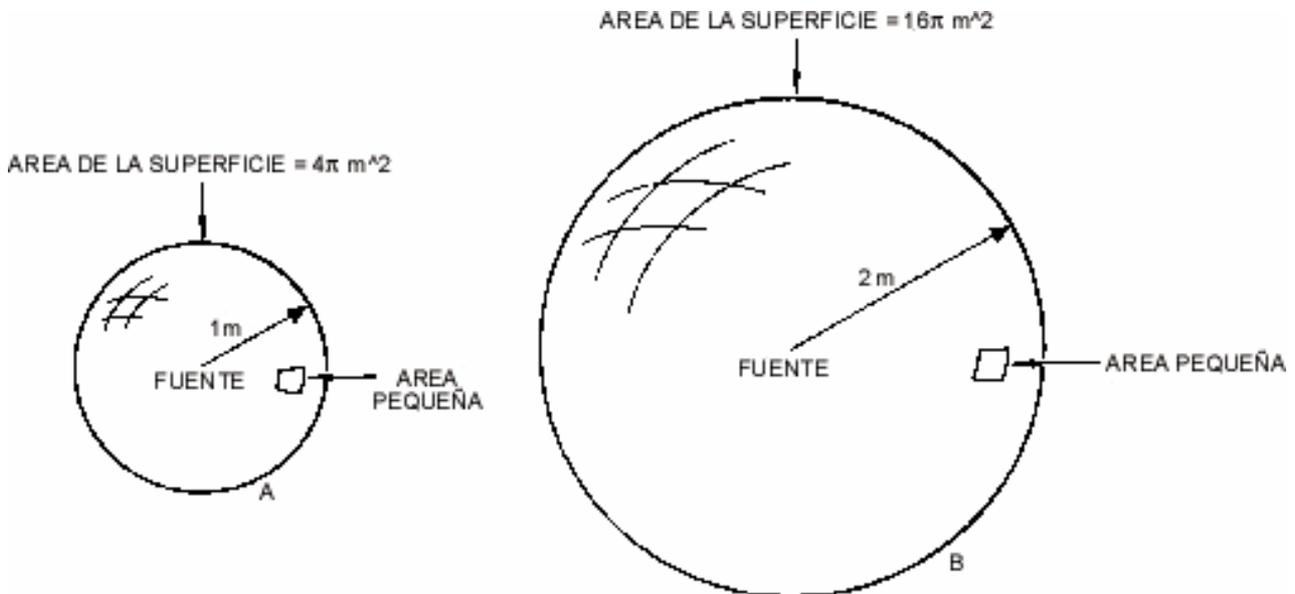


Figura 2-5. Relaciones cuadradas inversas.



Figura 2-6. Nomógrafo para determinar pérdidas cuadradas inversas.

que el micrófono de la medición está bastante lejos del dispositivo para estar en su *campo lejano*, y también puede calcular el punto imaginario del que divergen las ondas del sonido, según la ley del cuadrado inverso. Este punto se llama *centro acústico* del dispositivo. Después que se han hecho las mediciones exactas del campo, los resultados se convierten a una valuación equivalente a un metro. La sensibilidad valuada a un metro es ese SPL que se mediría si la relación del cuadrado inverso realmente fue mantenida que cerca del dispositivo.

Permítanos trabajar unos ejercicios que usan el nomógrafo de la Figura 2-6:

1. Una bocina modelo JBL 2360 con un Driver 2446 de HF produce una salida de 113 dB, 1 watts a 1 metro. ¿Qué SPL se producirá por 1 watts a 30 metros?

Nosotros podemos resolver esto por la inspección del nomógrafo.

Simplemente lea la diferencia en dB entre 1 metro y 30 metros: 29.5 dB. Ahora, substrayendo esto de 113 dB:

$$113 - 29.5 = 83.5 \text{ dB}$$

2. La valuación de potencia nominal del modelo de Driver JBL 2446 es 100 watts. ¿Qué SPL máximo será producido a una distancia de 120 metros en un campo libre cuando este Driver está montado en una bocina JBL modelo 2366?

Hay tres pasos simples para resolver este problema. Primero, determine la pérdida cuadrada inversa de la Figura 2-6; es aproximadamente 42 dB. Luego, determine la diferencia de nivel entre 1 watt y 100 watts. De la Figura 2-1 nosotros observamos que es 20 dB. Finalmente, note que la sensibilidad de la bocina - Driver es 118 dB, 1 watts a 1 metro. Agregando estos valores:

$$118 - 42 + 20 = 96 \text{ dB-SPL}$$

Cálculos como éstos son comunes en el trabajo del refuerzo de sonido, y los contratistas sonoros calificados deben potencia hacerlo fácilmente.

Sumando niveles de Potencia en dB

Bastante a menudo, un contratista sonoro tendrá que sumar niveles de potencia expresados en dB. Permítanos asumir que dos campos de sonido, cada uno con 94 dB-SPL, son combinados. ¿Cuál es el nivel resultante? Si nosotros simplemente sumamos los niveles numéricamente, conseguimos 188 dB-SPL, ¡claramente es una respuesta absurda! Lo que nosotros debemos hacer es regresar los niveles a sus potencias reales, sumarlos, y entonces recalculamos el nivel en dB. Donde dos niveles están involucrados, nosotros podemos lograr esto fácilmente con los datos de la Figura 2-7. Permita a D ser la diferencia en dB entre los dos niveles, y determine el valor N que corresponde a esta diferencia. Ahora, sume N al más alto de los dos valores originales.

Como un ejercicio, permítanos sumar dos campos de sonido, 90 dB-SPL y 84 dB-SPL. Usando la Figura 2-7, un D de 6 dB corresponde a un N de aproximadamente 1 dB. Por consiguiente, el nuevo nivel será 91 dB-SPL. Note que cuando dos niveles difieren por aproximadamente 10 dB, la suma resultante será substancialmente igual que el más alto de los dos valores. El efecto del nivel más bajo es despreciable.

Niveles de referencia

Aunque nosotros ya hemos discutido algunos niveles comunes de referencia, listaremos aquí todos aquéllos que un contratista sonoro es probable que encuentre.

En las medidas acústicas, *SPL* es siempre medida relativa a 20×10^{-6} Pa. Una expresión equivalente de esto es .0002 dynes/cm².

En el trabajo de transmisión de radio o televisión, la potencia es expresada a menudo relativa a 1 miliwatt (.001 watt), y tales niveles son expresados en *dBm*.

La designación *dBW* se refiere a la relación de los niveles a un watt. Así, 0 dBW = 30 dBm.

En los diagramas de transmisión de señal, la designación *dBu* indica niveles de voltaje referidos a .775 voltios.

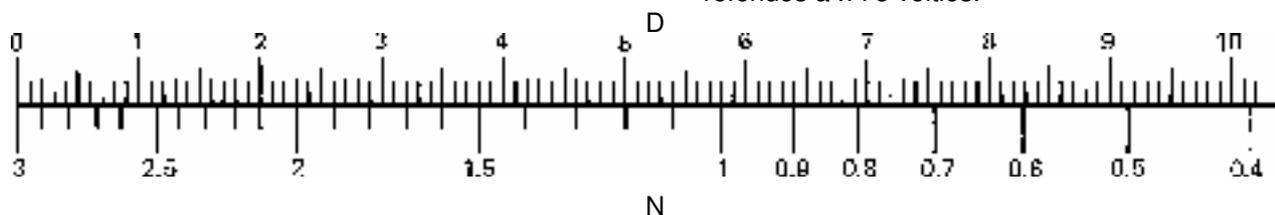


Figura 2-7. Nomógrafo para sumar niveles expresados en dB. Sumando dos niveles de salida de fuentes Sonoras donde D es su diferencia de salida en dB.

N se suma al más alto para deducir el nivel total.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

En otras medidas de voltaje, el *dBV* se refiere a la relación de niveles a 1 voltio.

Raramente encontrado por el contratista sonoro son los niveles acústicos de potencia. Éstos se designan dB - PWL, y la potencia de referencia es 10^{-12} watts. Esto es de hecho una potencia muy pequeña. Se usa en medidas acústicas porque tales cantidades pequeñas de potencia son normalmente encontradas en acústica.

Valores de Señal Pico, Promedio, y rms

La mayoría de las medidas de voltaje, corriente, o presión sonora en el trabajo de la ingeniería acústica son dadas como valores rms (raíz cuadrada media) de la forma de onda. Los valores rms de una repetitiva forma de onda son equivalentes a su valor de DC en transmisión de potencia. Refiriéndose a la Figura 2-8A para una onda seno con un valor pico de un voltio, el valor

de rms es .707 voltio, una diferencia de 3 dB. El valor medio de la forma de onda es .637 voltio.

Para formas de ondas más complejas, como se encuentra en un discurso y música, los valores picos serán considerablemente superiores que el promedio o valores de rms.

La forma de onda mostrada en la Figura 2-8B es de una trompeta a aproximadamente 400 Hz, y el cobertor entre los valores pico y medio son 13 dB.

En este capítulo, nosotros estamos usando en efecto el valor rms de voltaje, corriente, y presión para todos los cálculos. Sin embargo, en todas las aplicaciones de audio ingeniería, la naturaleza tiempo - variante de música y discurso demanda que nosotros también consideramos encontrar los valores instantáneos de forma de ondas. El término *headroom* se refiere al margen extra en dB diseñado en un sistema de transmisión de señal sobre su nivel normal de funcionamiento. La importancia de headroom se pondrá más evidente cuando se desarrolla nuestro curso.

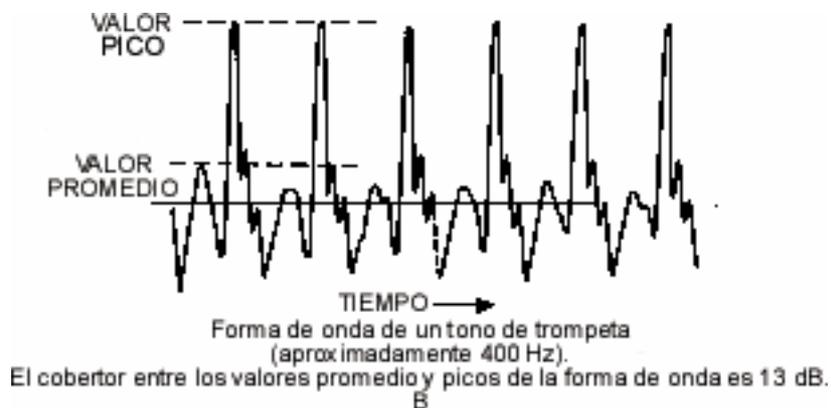
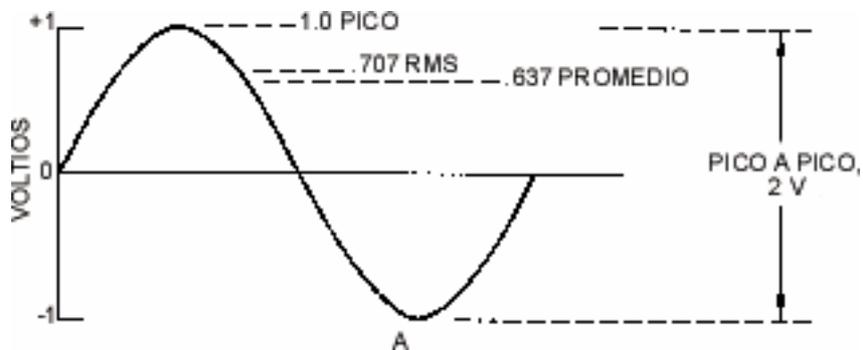


Figura 2-8. Valores pico, promedio, y rms. Onda seno (A); forma de onda compleja (B).

Capítulo 3: Directividad y Cobertura Angular de Altavoces

Introducción

La cobertura apropiada del área del público es uno de los primeros requisitos de un sistema de refuerzo de sonido. Lo que se requiere del contratista sonoro es no sólo un conocimiento de las características direccionales de varios componentes sino también cómo esos componentes pueden actuar recíprocamente en una serie multi - componente. Tales términos como índice de directividad (DI), factor directividad (Q), y ancho de difusión describen diversamente todo sobre las propiedades direccionales de transductores con sus asociadas bocinas y gabinetes. Los datos polares detallados, cuando están disponibles, dan la mayor información de todos. En general, nadie se ha quejado alguna vez de tener demasiada información de la directividad. En el pasado, la mayoría de los fabricantes han proporcionado demasiado poco; sin embargo, las cosas han cambiado para mejor en los recientes años, a través de las actividades de regularización de datos en la Sociedad de Audio Ingeniería.

Algunos Fundamentos

Asuma que nosotros tenemos un radiador omnidireccional localizado en el espacio libre y que hay un micrófono a poca distancia de él. Esto es mostrado en la Figura 3-1A. Permita que la potencia radiada por el altavoz permanece constante, y note el SPL al micrófono. Ahora, como muestra en B, permítanos poner una frontera reflectante grande al lado de la fuente y de nuevo note el SPL al micrófono. A altas frecuencias (aquellas, cuyas longitudes de onda son pequeñas comparado al tamaño de la frontera reflectante), el aumento en SPL será 3 dB. La potencia que era radiada en el espacio completo se confina ahora a la mitad del espacio; así, doblando la potencia al micrófono. Pasando el ejemplo a C, nosotros, ponemos la fuente en el ángulo de un diedro (2-caras).

La potencia fue confinada a la mitad del espacio, ahora radia en $\frac{1}{4}$ del espacio, y el SPL al micrófono

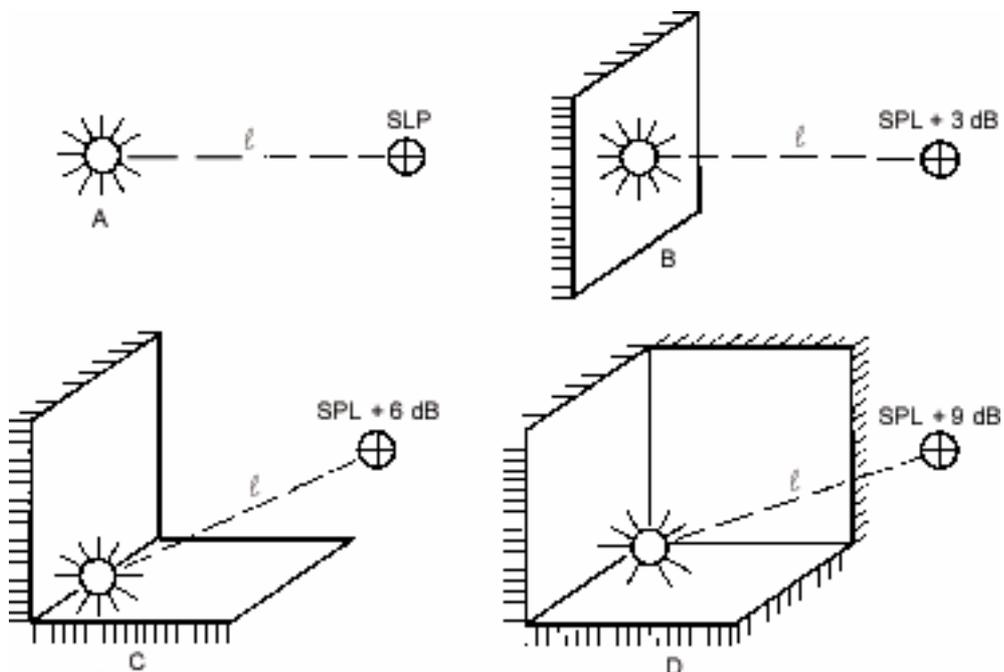


Figura 3-1. Directividad y cobertura angular.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

aumenta otros 3 dB. Continuando adelante a D, nosotros, acorralamos la fuente sonora en un triedro (3-caras), y notamos que 3 dB adicionales aumentan como la potencia sonora es radiada en un - octavo del espacio.

Nosotros podríamos continuar este ejercicio más allá, pero nuestro punto ya ha sido cumplido. Yendo de A a D en pasos sucesivos, nosotros hemos aumentado el *índice de directividad* en 3 dB a cada paso, y hemos doblado el *factor de directividad* a cada paso.

Nosotros definiremos estas condiciones ahora: Índice de Directividad es la diferencia de

nivel en la intensidad a lo largo de un eje dado, y a una distancia dada, de un radiador sonoro, comparado con la intensidad a que se produciría a causa de la misma distancia por una fuente de punto omnidireccional radiando la misma potencia. Factor de Directividad es la relación de las dos intensidades. Los detalles se muestran en la Figura 3-2. Índice de Directividad (DI) y factor de directividad (Q) está relacionado como sigue:

$$DI = 10 \log Q$$

$$Q = 10^{DI/10}$$

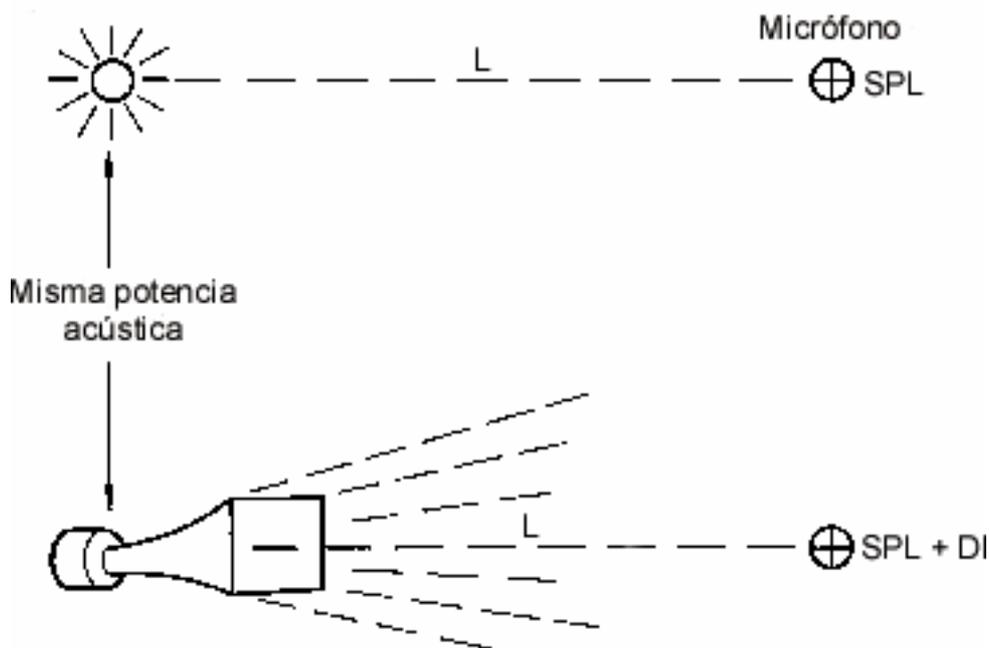
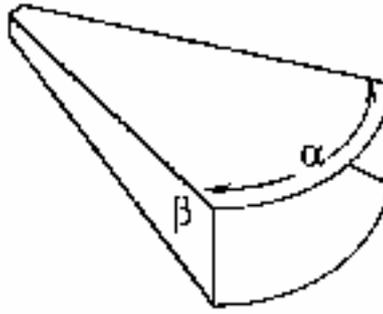


Figura 3-2. Índice de Directividad y factor de directividad.



α = ANGULO DE COBERTURA NOMINAL HORIZONTAL
 β = ANGULO DE COBERTURA NOMINAL VERTICAL

$DI = 10 \log [180^\circ / \text{arcosen} (\text{sen } \alpha / 2 \cdot \text{sen } \beta / 2)]$

$Q = 180^\circ / \text{arcosen} (\text{sen } \alpha / 2 \cdot \text{sen } \beta / 2)$

Figura 3-3. Ilustración de la ecuación de Molloy.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

El dato de la Figura 3-1 se generalizó por Molloy (7) y se muestra en la Figura 3-3. Aquí, note que se relacionan DI y Q a la cobertura sólida angular de un radiador sonoro hipotético cuyos ángulos de cobertura horizontal y vertical se especifican. Los radiadores ideales sonoros no existen, pero es sorprendente cómo estrechamente estas ecuaciones están de acuerdo con DI moderado y Q de bocinas de HF que exhiben bastante empinado corte - apagado fuera de su ángulo de cobertura normal.

Como un ejemplo de esto, un modelo JBL de bocina Bi - radial 2360 tiene un patrón nominal 90° -por- 40° medido entre los 6 dB en cada plano. Si nosotros insertamos los valores de 90° y 40° en la ecuación de Molloy, conseguimos DI = 11 y Q = 12.8. Los valores publicados eran calculados integrando la respuesta sobre 360° en los planos horizontales y verticales, y ellos son DI = 10.8 y Q = 12.3. Para que las estimaciones estén en excelente acuerdo con las medidas.

Para el modelo JBL 2366 de bocina, con su nominal 6 dB abajo los ángulos de cobertura de 40° y 20°, la ecuación de Molloy da DI = 17.2 y Q = 53. Los valores publicados son DI = 16.5 y Q = 46. De nuevo, el acuerdo es excelente.

¿Hay siempre tal correlación buena entre los 6 dB bajo el ancho de difusión horizontal y vertical de una bocina y su directividad calculada? La respuesta es no.

Sólo cuando la respuesta corte - apagado es pronunciada, más allá de 6 dB de ancho de difusión limite y cuando hay mínima radiación

fuera del ancho de difusión, la correlación es buena.

Para muchos tipos de radiadores, sobre todo, aquéllos que operando a longitudes de onda grande, comparadas con las dimensiones físicas, la ecuación de Molloy no se sostendrá.

Una Comparación de Planos Polares, Planos de Ancho de difusión, Planos de Directividad e Isobaras.

No hay ningún método para presentar todos los datos direccionales en radiadores. Las planos polares (Figura 3-4A) normalmente están presentados sólo en los planos horizontales y verticales.

Un solo plano polar cubre una sola frecuencia, o la banda de frecuencia, y un juego completo de planos polares toma al espacio considerable. Sin embargo, Son los polares, el único método de presentación que da un cuadro claro de la respuesta de un radiador fuera de su ancho de difusión normal. Planos de ancho de difusión de 6 dB abajo del ángulo de cobertura (Figura 3-4B) son muy comunes porque la información considerable esta contenida en un solo plano. Solo, un plano de DI o Q lleva la información sobre la actuación en - eje de un radiador (Figura 3-4C). Tomando juntos, los planos de ancho de difusión horizontal y vertical y los planos DI o Q, llevan la suficiente información para los requisitos de diseño de refuerzo de sonido.

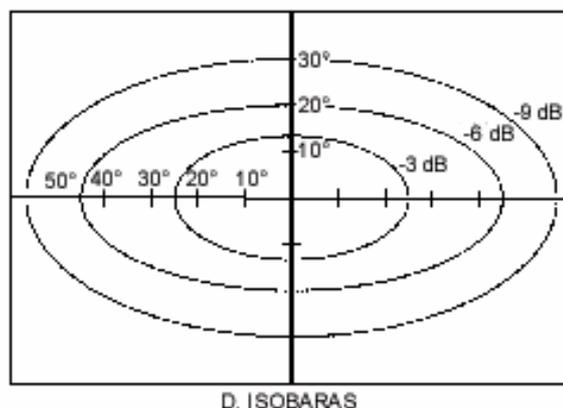
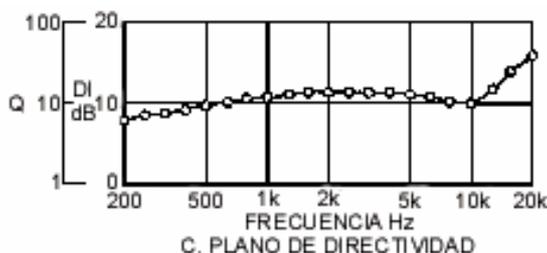
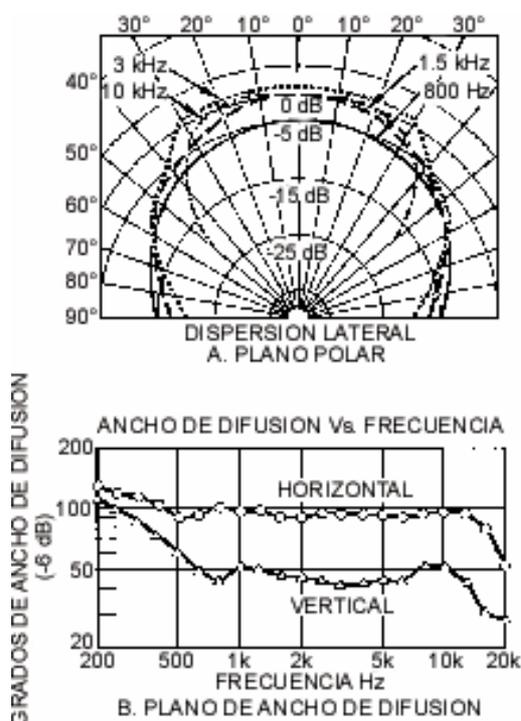


Figura 3-4. Métodos de presentar la información direccional.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Las isobaras se han puesto populares en los recientes años.

Elas ceden contornos angulares en coordenadas esféricas sobre el eje principal a lo largo de que la respuesta es -3, -6, y -9 dB, relativo al máximo en - eje. Es relativamente fácil interpolar visualmente entre las isobaras adyacentes para llegar a una estimación razonable de respuesta relativa sobre del ángulo frontal útil de radiación de la bocina. Las isobaras son útiles en las técnicas de esquema de computadora avanzadas para determinar la cobertura sonora sobre las áreas sentadas. El método normal de presentación de la isobara es mostrado en la Figura 3-4D.

Otra manera de mostrar las características direccionales de radiadores es, por medio de una familia de curvas de respuesta de frecuencia fuera de - eje, como se muestra en la Figura 3-5.

En A, note que las curvas de respuesta fuera de - eje del modelo JBL 2360 de bocina Bi-radial corre casi paralela a la curva de respuesta en - eje. Esto significa que un oyente sentado fuera del eje principal percibe una respuesta uniforme cuando una bocina Bi-radial de cobertura constante se usa. Contraste esto con la curva de respuesta fuera de - eje del modelo de bocina más viejo (y obsoleto) JBL 2350 radial mostrado en B. Si este dispositivo se ecualiza para una respuesta en - eje plana, entonces los oyentes fuera de - eje percibirán rodar - fuera la respuesta de HF.

Directividad de Radiadores Circulares

Cualquier radiador tiene el control direccional pequeño para frecuencias cuyas longitudes de onda son grandes comparadas con el área radiada. Incluso cuando el área radiada es grande comparada a la longitud de onda, el control constante de la configuración no resultará a menos que el dispositivo tenga un diseño específico para mantener una configuración constante. La Figura 3-6 muestra la pronunciada respuesta en - eje de un pistón montado en un Baffle plano. La longitud de onda varía sobre un rango 24-a-1. Si el pistón fuera, digamos un altavoz de 300 mm (12"), entonces la longitud de onda ilustrada en la figura, correspondería a frecuencias que miden por palmos el rango de aproximadamente 350 Hz a 8 kHz.

Entre otras cosas, esta ilustración señala por qué no el "rango completo"; los altavoces de solo - cono son de poco uso en la ingeniería del refuerzo de sonido. Mientras la respuesta en - eje puede mantenerse a través de la ecualización, la respuesta fuera de - eje se cae drásticamente sobre la frecuencia cuya longitud de onda es igual al diámetro del pistón. Note que cuando el diámetro iguala a la longitud de onda, la configuración de radiación es aproximadamente un cono de 90° con una respuesta de - 6 dB a ±45°.

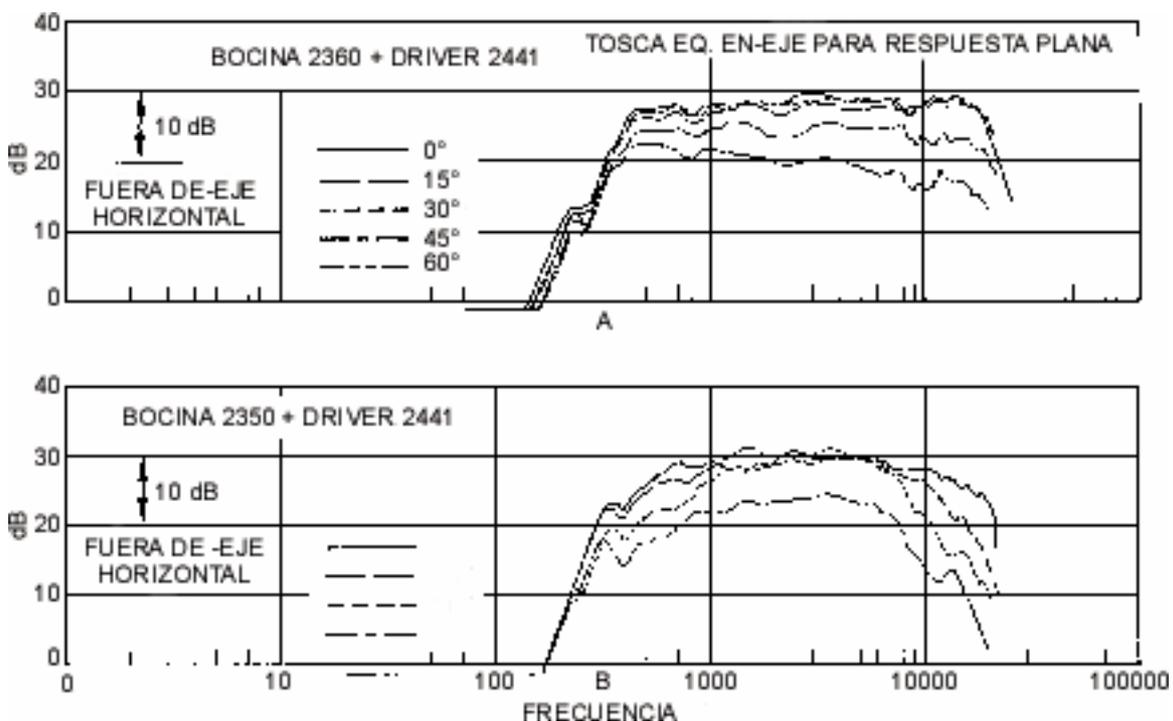


Figura 3-5. Familias de curvas de respuesta de frecuencia fuera de - eje.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Los valores de DI y Q dados en la Figura 3-6 son valores en - eje, es decir, a lo largo del eje de máxima sensibilidad del altavoz. Este casi siempre es el caso para los valores publicados de DI y Q.

Sin embargo, los valores de DI y Q existen a lo largo de cualquier eje del radiador, y ellos pueden determinarse por la inspección del plano polar. Por ejemplo, en la Figura 3-6, examine el plano polar que corresponde al diámetro = λ . Aquí, en - eje DI es 10 dB. Si nosotros simplemente nos movemos fuera de - eje a un punto dónde la respuesta ha caído 10 dB, entonces el DI a lo largo de esa dirección, es 10 - 10, o 0 dB, y el Q será la unidad. El ángulo fuera de - eje, dónde la respuesta es 10 dB esta marcado en el plano y a aproximadamente 55°. Normalmente, no tendremos relación con los valores de DI y Q a lo largo de otros ejes que los principales; sin embargo hay, ciertos cálculos que involucran la interacción de micrófonos y altavoces dónde un conocimiento de directividad fuera de - eje es esencial.

Los micrófonos Omnidireccionales con diafragmas circulares responden a señales en- y fuera de - eje de manera similar a los datos

mostrados en la Figura 3-6. Permita asumir que un micrófono dado tiene un diafragma de aproximadamente 25 mm (1") de diámetro. La frecuencia correspondiente a $\lambda/4$ es aproximadamente 3500 Hz, y la respuesta será bastante uniforme en y fuera de eje.

Sin embargo, cuando alcanzamos 13 o 14 kHz, el diámetro del diafragma es casi igual a λ , y el DI del micrófono es aproximadamente 10 dB. Es decir, es 10 dB más sensible a sonidos que llegan en eje que a sonidos que inciden al azar al micrófono.

Claro, un pistón es un simple radiador — o receptor. Las bocinas como la serie Bi - radial de JBL son complejas por comparación, y ellas han sido diseñadas para mantener la cobertura de HF constante a través de la atención de los principios guía - onda en su diseño.

Una cosa es cierta: ningún radiador puede exhibir una configuración de control a frecuencias cuyas longitudes de onda son más grandes que la circunferencia de la superficie radiada.

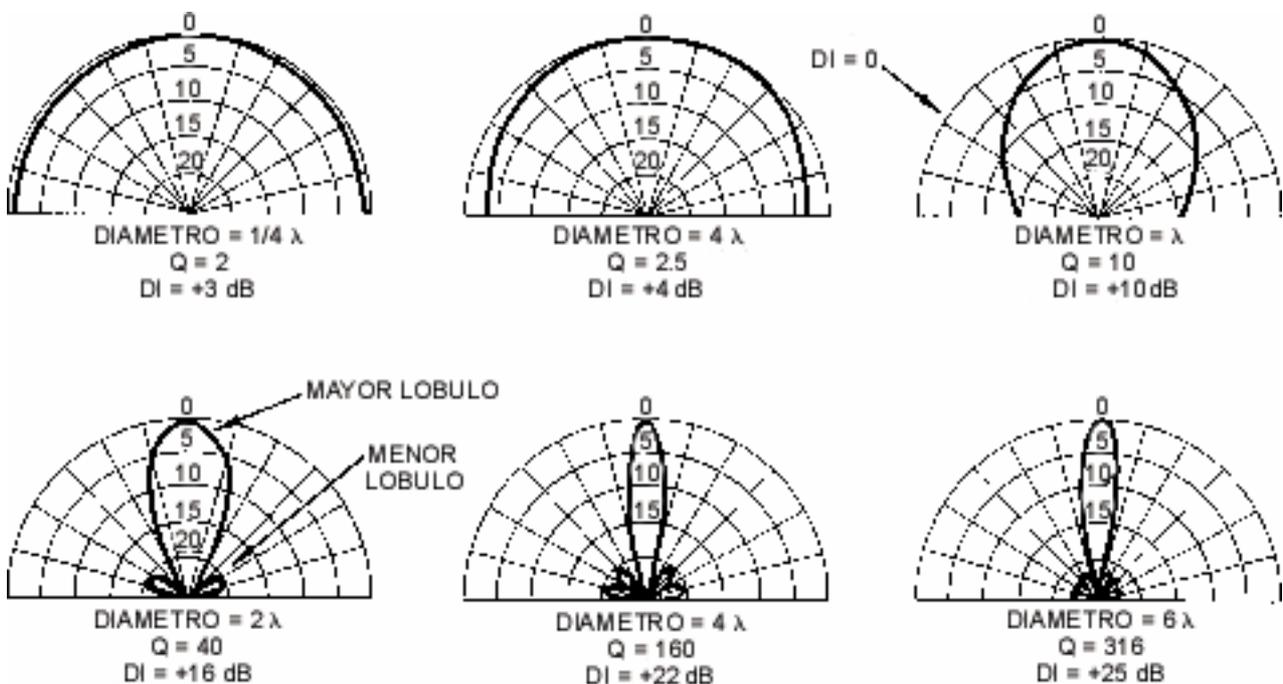


Figura 3-6. Características direccionales de una fuente de pistón - redondo montado en un baffle infinito como una función del diámetro y λ .

La Importancia de la Respuesta Plana de Potencia

Si un radiador exhibe respuesta de potencia plana, entonces, la potencia que radia, integrado sobre todas las direcciones, es constante con la frecuencia. Los drivers de compresión típica tienen una respuesta rodar - apagado cuando es medida en un *tubo de onda plana* (PWT), como se muestra en la Figura 3-7A. Cuando tal driver está montado en una bocina radial típica como el modelo JBL 2350, la respuesta en - eje de será la combinación suma de la respuesta de PWT y el DI de la bocina. Observe en B que la combinación es bastante plana en el eje y no necesita ecualización adicional. Fuera de - eje la respuesta se cae verticalmente y horizontalmente, y la respuesta de potencia total de la combinación será igual que la observada en PWT; es decir, rueda apagado por encima de aproximadamente 3 kHz.

Ahora, permítanos montar al mismo driver en una bocina Bi - radial de cobertura uniforme,

como muestra en C. Note que ambas curvas de respuesta en - y fuera de - eje ruedan apagadas pero corren paralelas entre sí. Ya que el DI de la bocina es esencialmente el piso, la respuesta en - eje quiere estar virtualmente igual que la respuesta de PWT.

En D, nosotros hemos insertado una ayuda de HF para compensar la respuesta de potencia del Driver, y el resultado es ahora ambas respuestas planas, en y fuera de eje. Los oyentes en cualquier parte del área cubierta por la bocina apreciarán la respuesta uniforme y extendida del sistema.

La respuesta plana de potencia sólo percibe con componentes que exhiben cobertura angular constante.

Si nosotros hubiéramos ecualizado la bocina 2350 para respuesta plana de potencia, entonces la respuesta en - eje tendría demasiado brillo.

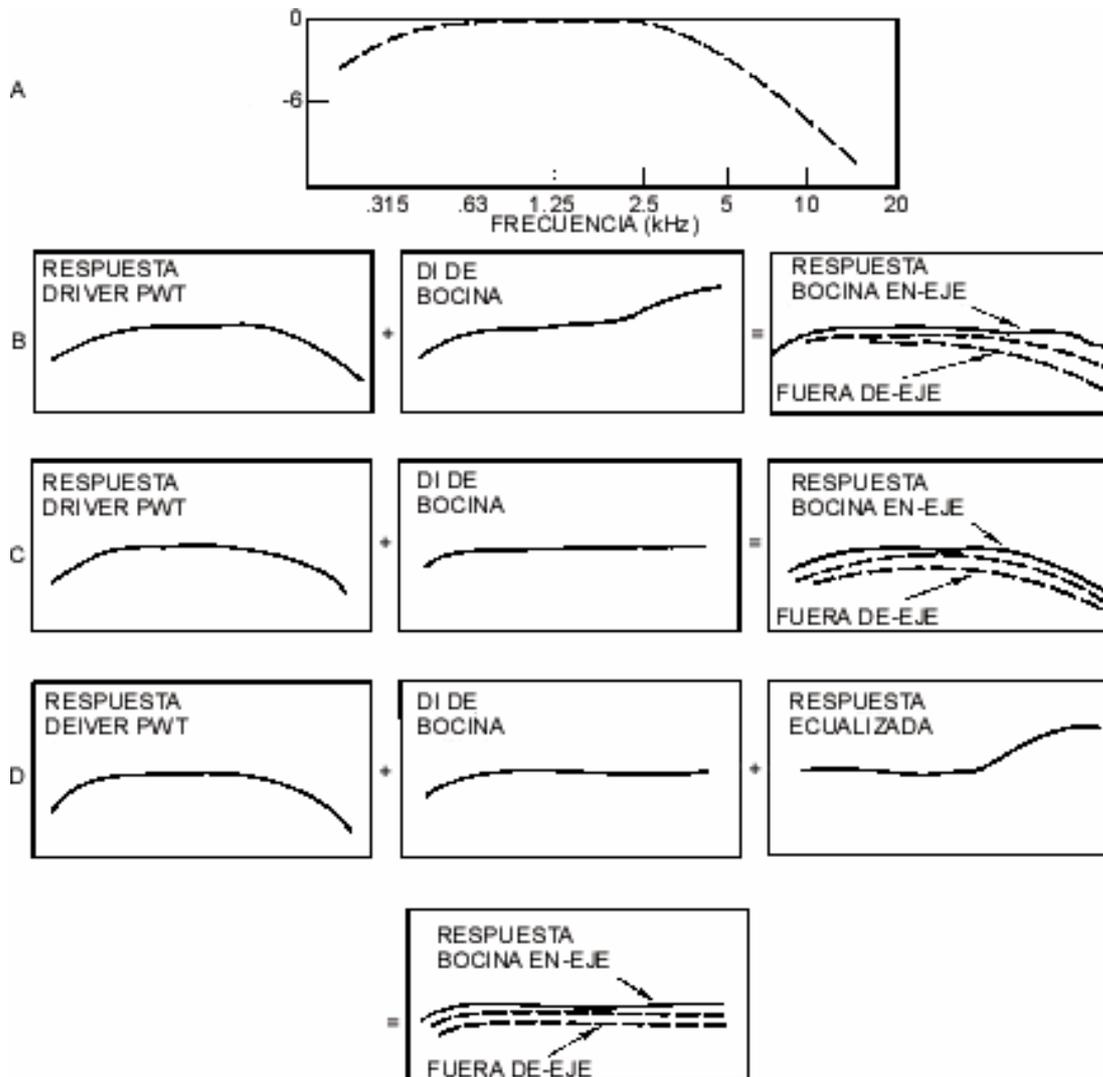


Figura 3-7. Respuesta de potencia de sistemas de HF.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

El DI creciente de bocinas radiales más típico es logrado a través de un estrechamiento de la configuración vertical con frecuencia creciente, mientras la configuración horizontal permanece bastante constante, como muestra la Figura 3-8A. Tal bocina puede dar excelente cobertura horizontal, y ya que es "auto ecualizable" a través de su DI creciente, no hay en absoluto necesidad de externa ecualización. El uniforme - funcionamiento de cobertura horizontal y vertical de una Bi - radial, como muestra la Figura 3-8B, siempre requerirá ayuda en la respuesta de potencia de HF.

**Medidas de Características
Direccionales**

Los planos polares y planos de isobara requieren que el radiador bajo prueba se rote sobre algunos de sus ejes y registrar la respuesta. El plano de ancho de difusión puede tomarse directamente de estos datos.

Pueden calcularse DI y Q de los datos polares por integración que usa la ecuación siguiente:

$$DI = 10 \log \left[\frac{2}{\int_0^\pi (P_\theta)^2 \sin \theta d\theta} \right]$$

P_θ se toma como la unidad, y θ se toma en incrementos de 10° .

La integral se resuelve para un valor de DI en el plano horizontal y un valor en el plano vertical.

El DI y Q resultante para el radiador se dan como:

$$DI = \frac{DI_h}{2} + \frac{DI_v}{2}$$

y

$$Q = \sqrt{Q_h \cdot Q_v}$$

(Note: hay variaciones ligeras de este método, y normalmente los métodos usados son sólo aproximaciones porque hacen uso de datos polares limitados.)

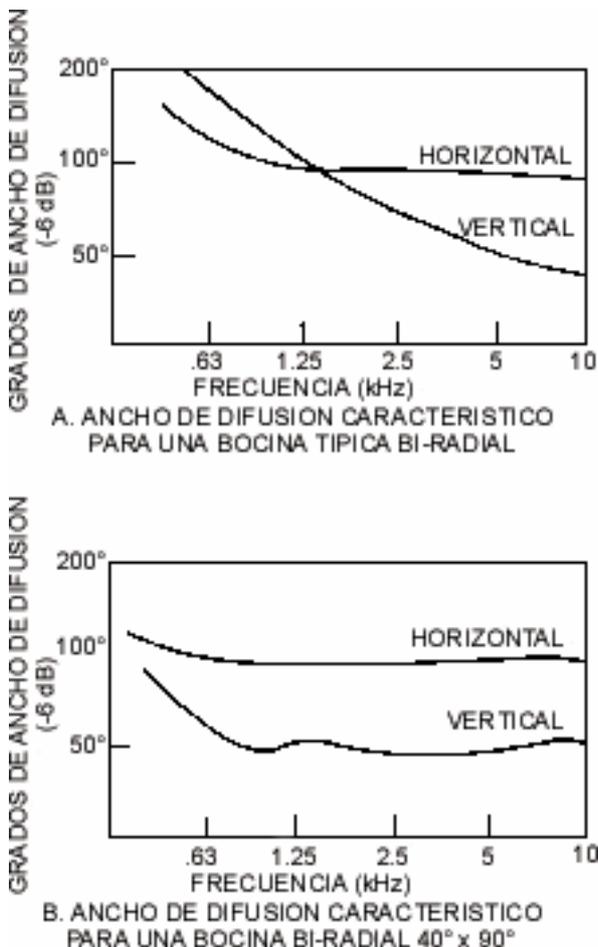


Figura 3-8. DI creciente a través de estrechar el ancho de difusión vertical.

Usando la Información de Directividad

Un conocimiento del ángulo de cobertura de una bocina de HF es esencial si el dispositivo será orientado propiamente con respecto a un área del público. Si planos polares o isobaras están disponibles, entonces el contratista de sonido puede hacer los cálculos como aquéllos indicados en la Figura 3-9. La bocina usada en ese ejemplo es la JBL 2360 Bi - radial. Nosotros notamos de las isobaras para esta bocina de que el ángulo vertical de -3 dB es 14°. Los ángulos de -6 dB y -9 dB son 23° y 30° respectivamente. Estos datos son para la banda octava centrada a 2 kHz. La bocina se apunta para que su eje mayor apunte a los asientos más lejanos. Esto quiere asegurar el alcance máximo, o "el tiro," a esos asientos.

Nosotros ahora miramos el ángulo de -3 dB de la bocina y comparamos la reducción en la salida de la bocina a lo largo de ese ángulo con la ventaja del cuadrado inverso para asientos cercanos cubiertos a lo largo de ese eje. Idealmente, nos gustaría por la ventaja de cuadrados inversos emparejar exactamente el fuera de eje de la bocina, pero esto no es siempre posible. Similarmente lo vemos en la respuesta a lo largo de los ejes de -6 y -9 dB de la bocina,

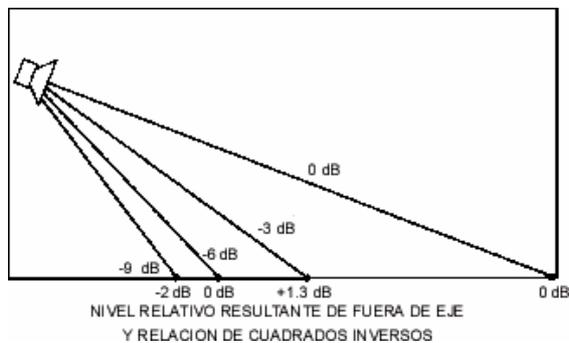
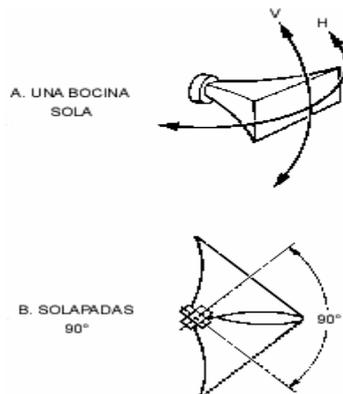


Figura 3-9. Fuera de eje y cálculos de cuadrados inversos.

comparándolos con las ventajas de cuadrados inversos se permite el lujo para asientos cercanos. Cuando el diseñador tiene la flexibilidad



de elegir la ubicación de la bocina, un compromiso bueno, como es mostrado en esta figura, será posible. Más allá del ángulo de -9 dB, la salida de la bocina cae fuera tan rápidamente que dispositivos adicionales, manejado a más bajo nivel, se necesitarían para cubrir los asientos del frente (a menudo llamados altavoces de "fila delantera").

Apuntando una bocina como se muestra aquí resulta que buena parte de la potencia se radia hacia la pared de la parte de atrás. Idealmente, esa superficie debe ser bastante absorbente para que las reflexiones de ella no se vuelvan un problema.

Características direccionales de Radiadores Combinados

Mientras los fabricantes proporcionan los datos rutinariamente sobre sus artículos individuales de hardware, la mayoría proporcionan pocos datos en cómo actúan recíprocamente entre sí. El dato presentado aquí para combinaciones de bocinas de HF es por supuesto sumamente dependiente de la longitud de onda, y según su tamaño. El ajuste apropiado debe hacerse si estos datos serán aplicados a bocinas más grandes o más pequeñas.

En general, a frecuencias altas, las bocinas actuarán independientemente de nosotros. Si un par de bocinas son propiamente desplegadas para que su ángulo de -6 dB simplemente solape, entonces la respuesta a lo largo de ese eje común debe ser uniforme, y el efecto es casi el de una sola bocina con la cobertura aumentada en el plano de solape. Así, dos bocinas con cobertura de 60° en plano horizontal puede extenderse para dar 120° de cobertura horizontal. Igualmente, pueden extenderse bocinas diferentes, con un ángulo resultante de la suma de los dos ángulos de cobertura en el plano extendido.

Puede extenderse el plano vertical con resultados similares. La Figura 3-10 presenta un ejemplo de bocina que extiende en el plano horizontal.

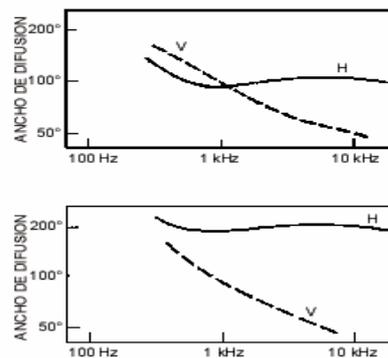


Figura 3-10. Bocina extendida para cobertura más ancha.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Pueden apilarse las bocinas en una serie vertical para mejorar la configuración de control a frecuencias bajas. Las JBL frente - plano Bi - Radiales, debido a su dimensión relativamente pequeña de la boca vertical, exhiben un ensanchamiento en su configuración de control vertical debajo de aproximadamente 2 kHz.

Cuando se usan en series verticales de tres o cuatro unidades, la dimensión eficaz de la boca vertical es más grande que la de una sola bocina.

El resultado, mostrado en la Figura 3-11, es una configuración de control más firme sobre 500 Hz. En tales series verticales en - línea, la configuración horizontal resultante es igual que para una sola bocina.

Los detalles adicionales en apilar bocina se dan en Nota técnica Volumen 1, Numero 7.

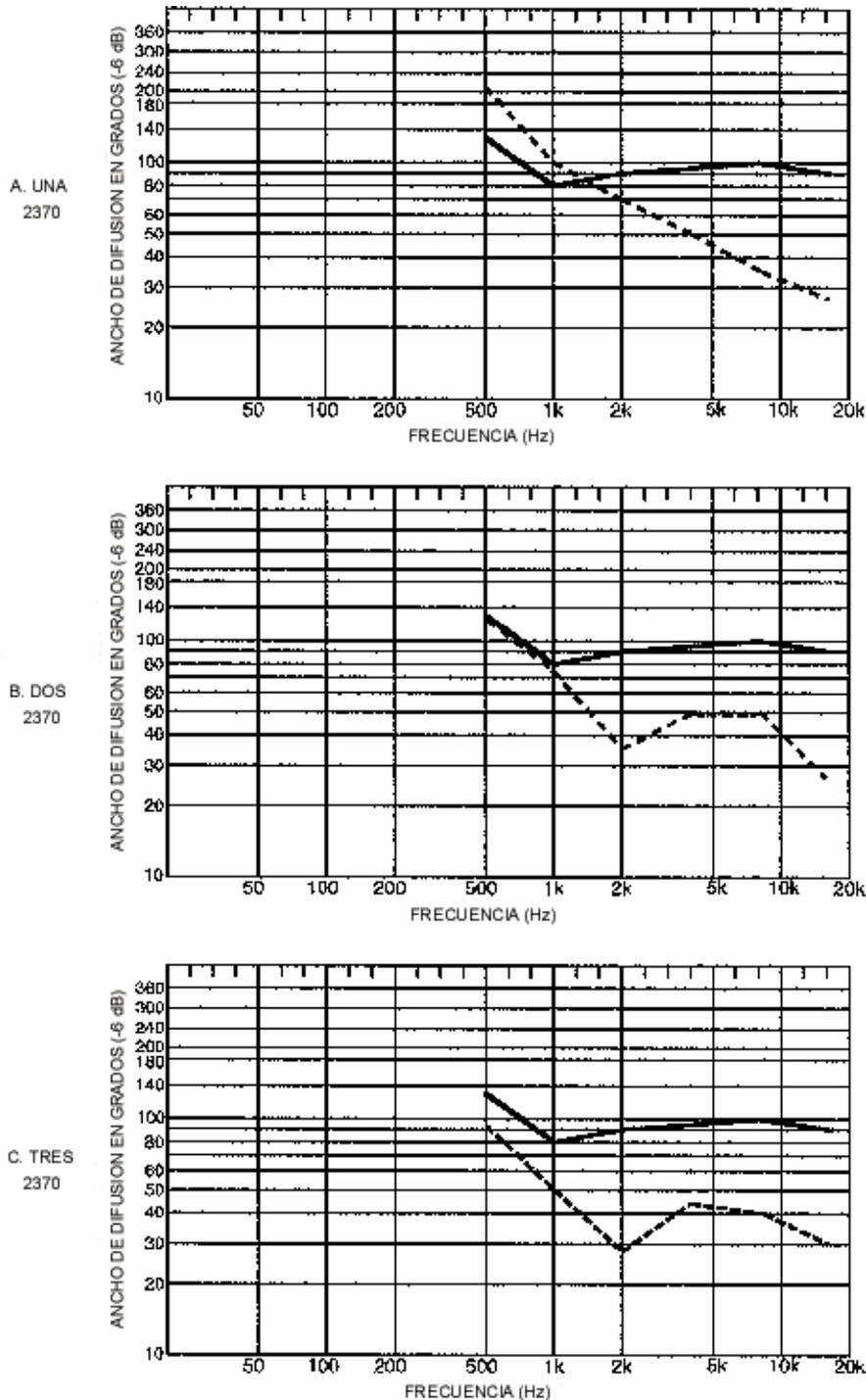


Figura 3-11. Apilando bocinas para mayor directividad a frecuencias bajas (línea sólida, -6 dB ancho de difusión horizontal, línea punteada, -6 dB ancho de difusión vertical).

Capítulo 4: Un Sistema de Refuerzo de Sonido al aire libre

Introducción

Nuestro estudio de sistemas de refuerzo de sonido empieza con un análisis de un sistema simple al aire libre.

El ambiente al aire libre es relativamente libre de superficies reflectantes, y nosotros asumiremos simplemente que las condiciones del campo libre existen. Un sistema básico de refuerzo se muestra en la Figura 4-1A. Los elementos acústicos esenciales son el hablador, micrófono, altavoz, y oyente. El diagrama eléctrico del sistema se muestra en B. La línea punteada indica el camino de la realimentación acústica que puede existir alrededor del sistema entero.

Cuando el sistema está encendido, la ganancia del amplificador puede adelantarse a algún punto en que el sistema quiere "sonar," o entra en realimentación. Al ataque de realimentación, la ganancia alrededor del camino

electro - acústico es la unidad y a un ángulo de fase cero.

Esta condición se muestra en C donde la entrada de un solo pulso al micrófono dará lugar a una señal repetitiva al micrófono, realimentada desde el altavoz y que dará lugar rápidamente a la oscilación sostenida a una sola frecuencia con un periodo relacionado a Δt .

Incluso a niveles un poco debajo de la realimentación, la respuesta del sistema será irregular, debida al hecho que el sistema está "intentando" entrar en realimentación, pero no tiene bastante ganancia de vuelta para sostenerla.

Esto se muestra en la Figura 4-2. Como una regla, un laborable sistema de refuerzo debe tener un margen de ganancia de 6 a 10 dB antes de la realimentación, si es para sonar natural en todo tipo de entrada de programa.

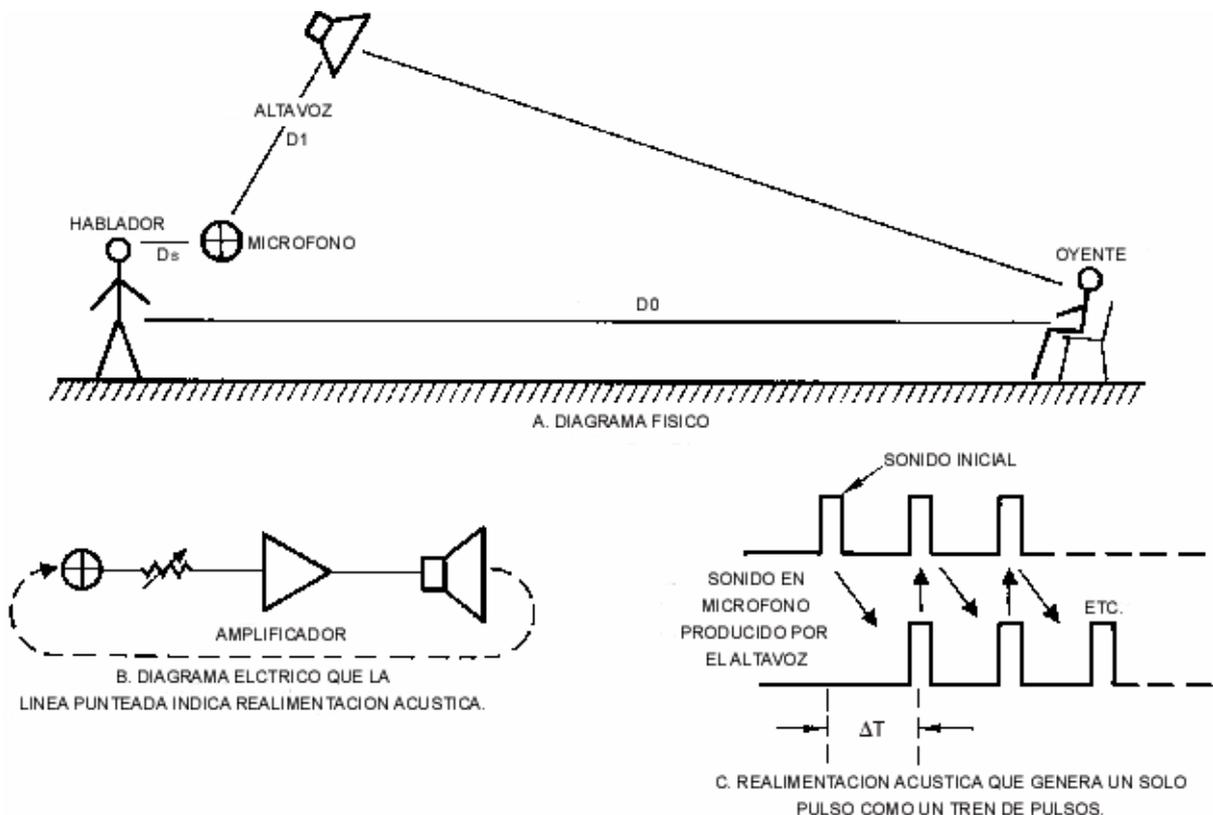


Figura 4-1. Un sistema simple de refuerzo al aire libre.

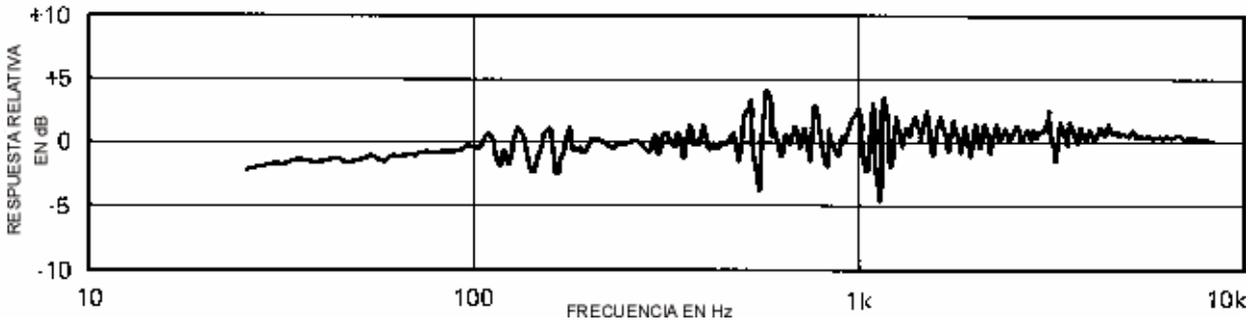


Figura 4-2. Respuesta eléctrica de un sistema de sonido 3 dB debajo de la realimentación acústica sostenida.

Concepto de Ganancia Acústica

Boner (4) cuantifica el concepto de ganancia acústica, y presentemos ahora su simple pero elegante derivación. Se define la ganancia acústica como el aumento en nivel que un oyente dado en el público percibe con el sistema encendido, comparado con el nivel que el oyente escucha directamente del hablador cuando el sistema está apagado.

Refiriéndose a la Figura 4-3, permítanos asumir que el altavoz y micrófono son omnidireccionales; es decir, $DI = 0$ dB y $Q = 1$. Entonces por el cuadrado inverso de la pérdida, el nivel al oyente será:

$$70 \text{ dB} - 20 \log (7/1) = 70 - 17 = 53 \text{ dB}$$

Ahora, nosotros encendemos el sistema y giramos la ganancia hasta que estemos simplemente en el ataque de realimentación. Esto ocurre cuando el altavoz, a lo largo del camino D_1 , produce un nivel en el micrófono igual al del hablador, 70 dB.

Si el altavoz produce un nivel de 70 dB al micrófono, producirá un nivel al oyente de:

$$70 - 20 \log (6/4) = 70 - 3.5 = 66.5 \text{ dB}$$

Sin el margen de seguridad, la ganancia máxima que el sistema puede producir es:

$$66.5 - 53 = 13.5 \text{ dB}$$

Volviendo a escribir nuestras ecuaciones:

$$\text{Ganancia máxima} = 70 - 20 \log (D_2 / D_1) - 70 - 20 \log (D_0 / D_s)$$

Esto simplifica a:

$$\text{Ganancia máxima} = 20 \log D_0 - 20 \log D_s + 20 \log D_1 - 20 \log D_2$$

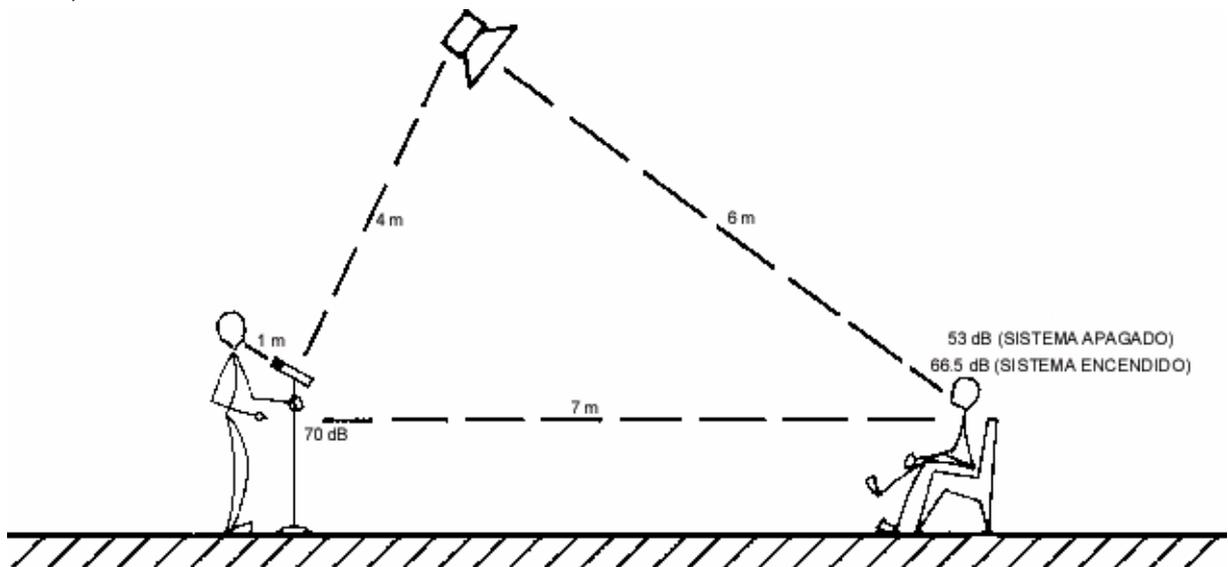


Figura 4-3. Cálculos de ganancia del sistema, altavoz y micrófono; ambos omnidireccionales.

Agregando un factor de seguridad de 6 dB nos da la forma usual de la ecuación:

Ganancia máxima =
 $20 \log D_0 - 20 \log D_s + 20 \log D_1 - 20 \log D_2 - 6$

En esta forma, la ecuación de ganancia nos dice varias cosas, algunos de ellas intuitivamente obvias:

1. Esta ganancia es independiente del nivel del hablador.
2. Esta decreciente D_s aumentará la ganancia.
3. Esta creciente D_1 aumentará la ganancia.

La Influencia de Micrófonos y Altavoces Direccionales en el Sistema de Máxima Ganancia

Permítanos re-trabajar el ejemplo de la Figura 4-3, esta vez usando un altavoz direccional cuyas características polares de banda media son como muestra la Figura 4-4A. Es obvio de mirar la Figura 4-4A que el sonido que llega al micrófono a lo largo de la dirección de D_1 se reducirá 6 dB con relación al del altavoz omnidireccional. Estos 6 dB resultan directamente en sumar ganancia potencial para el sistema.

Los mismos sostenimientos para micrófonos direccionales, como se muestra en la

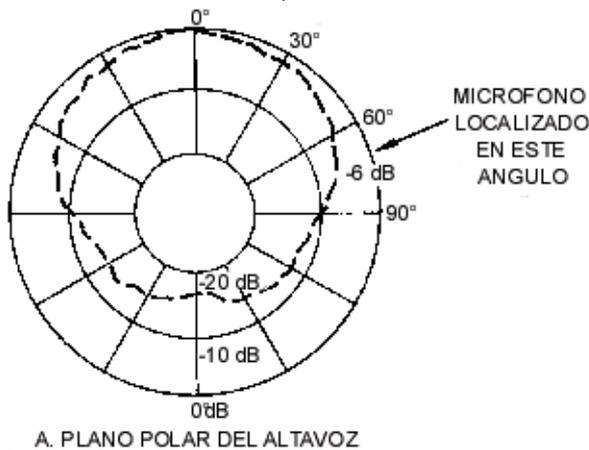


Figura 4-5A. En la Figura 4-5B, mostramos un sistema que usa un altavoz omnidireccional y un micrófono cardioide con su eje -6 dB enfrenteado hacia el altavoz. Este sistema es equivalente al mostrado en la Figura 4-4B; los dos exhiben un aumento de 6 dB de ganancia máxima sobre el primer caso donde ambos, micrófono y altavoz eran omnidireccionales.

Finalmente, podemos usar los altavoces y micrófonos direccionales para recoger ganancia adicional. Nosotros simplemente calculamos la ganancia máxima usando los elementos omnidireccionales, y entonces adherimos a ese valor la ventaja de la configuración fuera de - eje en dB para el altavoz y el micrófono. Como una materia práctica, sin embargo, no es sabio confiar demasiado en los micrófonos y altavoces direccionales para hacer un aumento significativo en la ganancia del sistema. La mayoría de los diseñadores están satisfechos lograr adición de ganancia de no más de 4-a-6 dB en conjunto con uso de elementos direccionales. La razón para esto es que la configuración de micrófonos y altavoz direccionales no son constantes con frecuencia.

La mayoría de los altavoces direccionales, a bajas frecuencias, parecen ser casi omnidireccionales. Si se requiere más ganancia, la manera más sincera, de conseguirlo es reducir D_s o aumentar D_1 .

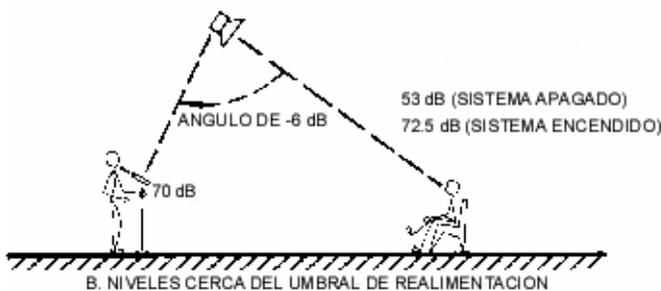
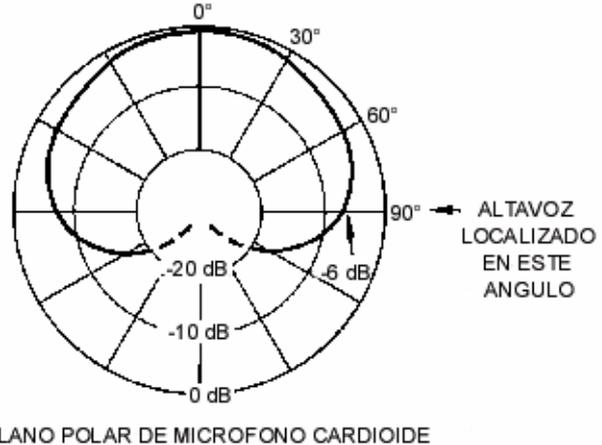


Figura 4-4. Cálculos de ganancia del sistema, altavoz direccional.

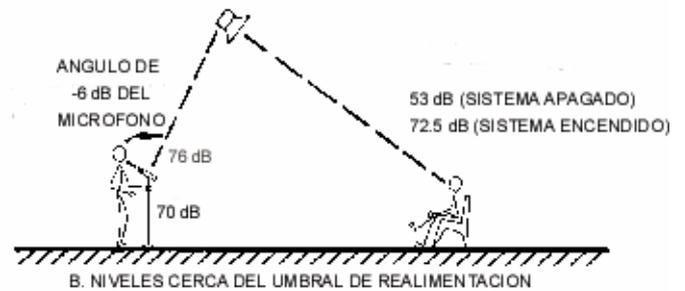


Figura 4-5. Cálculos de ganancia del sistema, micrófono direccional.

¿Cuánta Ganancia se Necesita?

Los parámetros dados para un sistema de refuerzo de sonido, pueden ser tales que tengamos más ganancia de la que necesitamos. Cuando éste sea el caso, nosotros ponemos las cosas en un punto cómodo, y todos estamos contentos.

Pero las cosas no funcionan a menudo tan bien. Lo que se necesita de alguna manera es determinar de antemano cuánta ganancia necesitaremos para que podamos evitar un sistema que no trabajará. Una manera de hacer esto es especificando *la distancia acústica equivalente, o eficaz (EAD)*, como se muestra en la Figura 4-6.

Los sistemas de refuerzo de sonido pueden pensarse cómo eficazmente mover más cerca el hablador al oyente. En un ambiente silencioso, no podemos querer traer el hablador a 3 metros del oyente. Lo que significa es que la intensidad producida por el sistema del refuerzo debe aproximar, para un oyente a D_0 , al nivel de intensidad de un hablador real a una distancia de 3 metros.

La ganancia necesaria para hacer esto es calculada de la relación cuadrada inversa entre D_0 y EAD:

Ganancia necesaria = $20 \log D_0 - 20 \log EAD$

En nuestro ejemplo más reciente, $D_0 = 7$ metros. Poniendo EAD = 3 metros, entonces:

**Ganancia necesaria = $20 \log (7) - 20 \log (3)$
= $17 - 9.5 = 7.5 \text{ dB}$**

Asumiendo que el altavoz y el micrófono son omnidireccionales, nosotros podemos esperar que la ganancia máxima es:

Ganancia máxima = $20 \log (7) - 20 \log (1) + 20 \log (4) - 20 \log (6) - 6$

Ganancia máxima = $17 - 0 + 12 - 15.5 - 6$

Ganancia máxima = 7.5 dB

Como podemos ver, la ganancia necesaria y la ganancia máxima son 7.5 dB, para que el sistema sea laborable. Por ejemplo, si estuviéramos especificando un sistema para un ambiente más ruidoso que requiere un más corto EAD, entonces el sistema no tendría la ganancia suficiente.

Por ejemplo, un nuevo EAD de 1.5 metros requeriría 6 dB más de ganancia acústica. Como nosotros hemos discutido, usando un micrófono direccional y un altavoz direccional nos daría casi los 6 dB que necesitamos. Una solución más simple, y buena, sería reducir D_s a 0.5 metro para agregar 6 dB de ganancia.

En general, en un sistema al aire libre, resultará satisfactoria la articulación cuando los picos del discurso sean 25 dB superior que el nivel pesado de ruido ambiente. La conversación típica tiene lugar a niveles de 60 a 65 dB a una distancia de un metro. Así, en un campo de ruido ambiente de 50 dB, nosotros requeriríamos que el discurso alcance el máximo de 75 a 80 dB para escuchar cómodamente, y esto requeriría un EAD como conclusión de 0.25 metro, calculado como sigue:

Nivel del discurso a 1 metro = 65 dB

Nivel del discurso a 0.5 metro = 71 dB

Nivel del discurso a 0.25 metro = 77 dB

Permítanos ver lo que debemos hacerle a nuestro sistema al aire libre para hacerlo trabajar bajo estas condiciones exigentes. Primero, nosotros calculamos el requisito de ganancia acústica:

Ganancia necesaria = $20 \log D_0 - 20 \log EAD$

Ganancia necesaria = $20 \log (7) - 20 \log (.25)$

Ganancia necesaria = $17 + 12 = 29 \text{ dB}$

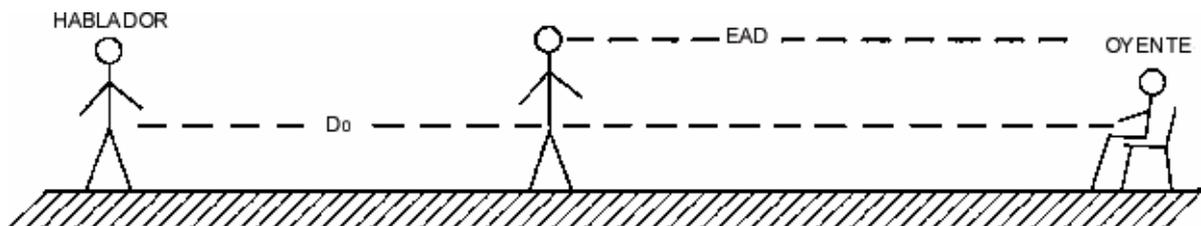


Figura 4-6. El concepto de Distancia Acústica Eficaz (EAD).

Como nosotros vimos en un ejemplo más antiguo, nuestro sistema, sólo tiene 7.5 dB de ganancia máxima disponible con un factor de seguridad de 6 dB. Partiendo de un micrófono direccional y un altavoz direccional, podemos aumentar esto por aproximadamente 6 dB, produciendo un máximo de ganancia de 13.5 dB—todavía unos 16 dB ponen en cortocircuito lo que nosotros realmente necesitamos.

La solución es obvia; un micrófono portátil será necesario para lograr la ganancia requerida. Para adherir 16 dB de ganancia, D_s tendrá que ser reducido al valor calculado debajo:

$$16 = 20 \log (1/x)$$

$$16/20 = \log (1/x)$$

$$10^8 = 1/x$$

$$\text{Por consiguiente: } x = 1/10^8 = 0.16 \text{ metro (6")}$$

Claro, el problema con un micrófono portátil es que es difícil para el usuario mantener una

distancia fija entre el micrófono y su boca. Como resultado, la ganancia del sistema variará considerablemente con sólo cambios pequeños en la distancia artista - micrófono. Siempre es bueno usar algún tipo de micrófono personal, uno llevado por el usuario. En este caso, un micrófono tipo pieza giratoria atado a una cabecera es mejor, ya que proporciona el valor mínimo de D_s . Este tipo de micrófono ahora es muy popular y adecuado en - escenario, principalmente porque un gran número de artistas Pop y Country lo han adoptado. En otros casos un simple micrófono corbatero puede ser suficiente.

Conclusión

En este capítulo, hemos presentado los cálculos rudimentarios de ganancia para los sistemas de sonido, y la base de los métodos de forma del análisis para el estudio de sistemas interiores en que nosotros cubriremos un capítulo más tarde.

Capítulo 5: Fundamentos de Acústica de Salas

Introducción

La mayoría de los sistemas de refuerzo de sonido se localizan dentro, y las propiedades acústicas del espacio adjunto tiene un profundo efecto en los requisitos del sistema y su funcionamiento. Nuestro estudio empieza con una discusión de absorción sonora y reflexión, el crecimiento y decaimiento de campos sonoros en una sala, reverberación, campos de sonido directo y reverberantes, distancia crítica, y sala constante.

Si analizó en detalle, cualquier espacio adjunto es realmente complejo acústicamente. Nosotros haremos muchas simplificaciones cuando construimos modelos "estadísticos" de las salas, nuestro objetivo es preservar los cálculos a un mínimo, manteniendo mientras la exactitud en el orden del 10%, o ± 1 dB.

Absorción y Reflexión de Sonido

El sonido tiende a "doblar alrededor de" obstáculos pequeños no - porosos. Sin embargo, las superficies grandes como los límites de salas son parcialmente flexibles y parcialmente porosos. Como resultado, cuando el sonido choca semejante superficie, alguna de su energía se refleja, alguna es absorbida, y alguna se transmite a través del límite y de nuevo se propaga como ondas de sonido en otro lado. Ver Figura 5-1.

Los tres efectos pueden variar con la frecuencia y con el ángulo de incidencia. En ubicaciones típicas, ellos *no* varían con la intensidad sonora. Sobre el rango de presión del sonido normalmente encontradas en trabajo de audio, la mayoría de los materiales de la construcción tienen las mismas características de reflexión, absorción y transmisión si es chocado por débiles o fuertes ondas sonoras.

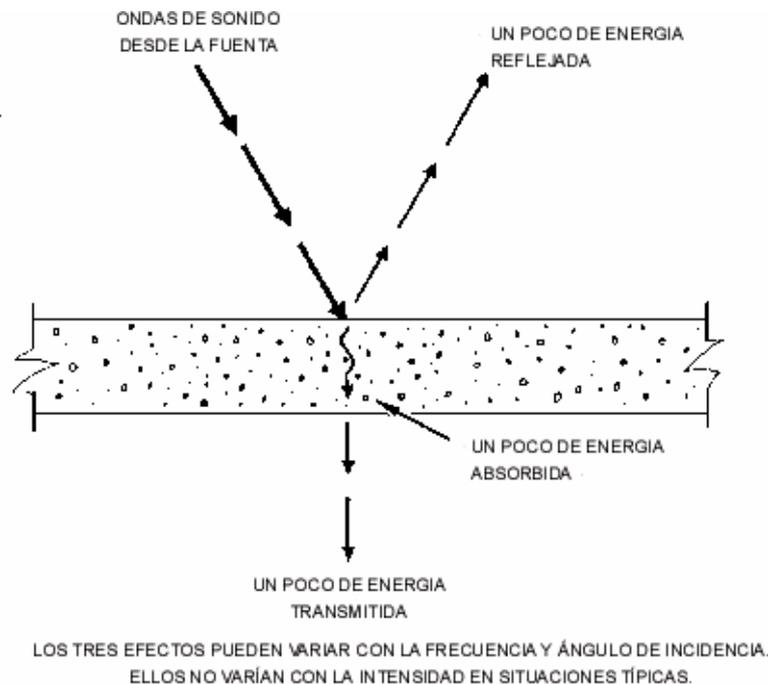


Figura 5-1. Sonido que choca con una superficie grande.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Al tratar con el comportamiento del sonido en un espacio adjunto, debemos potencia estimar cuánta energía sonora se perderá cada vez que una onda de sonido choca una de las superficies límites o uno de los objetos dentro de la sala. Las tablas de los coeficientes de absorción para materiales comunes de construcción así como materiales "acústicos" especiales, pueden encontrarse en cualquier libro de texto arquitectónico de acústica o en las hojas de datos proporcionado por los fabricantes de materiales de la construcción.

A menos que se especifique, los coeficientes publicados de absorción de sonido, representan el promedio de absorción sobre todos los posibles ángulos de incidencia. Esto es deseable de un punto de vista práctico ya que el coeficiente de incidencia ajusta la ubicación que existe en un espacio adjunto típico dónde las ondas rebotan muchas veces por cada superficie límite en virtualmente todas las posibles direcciones.

Las valuaciones de absorción normalmente se dan para un número de bandas de frecuencias diferentes. Típicamente, cada banda de frecuencias tiene una octava de ancho, y se usan las frecuencias normales del centro de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, etc. En el diseño del sistema de sonido, normalmente es suficiente saber las características de absorción de materiales en tres o cuatro rangos de frecuencia. En este manual, nosotros hacemos uso de valuaciones de absorción en las bandas centradas a 125 Hz, 1 kHz y 4 kHz.

Los efectos de la geometría del montaje están incluidos en las valuaciones de absorción estandarizadas especificando los tipos de montaje según un aceptado sistema numerado.

En nuestro trabajo, familiarizarse con al menos tres de estos montajes estándares son importantes.

Azulejo acústico u otro material de interior consolida directamente a un sólido, la superficie no - absorbente, se llama montaje "No. 1" (ver Figura 5-2). Para obtener mayor absorción, sobre todo a más bajas frecuencias, el material puede separarse en dos pulgadas nominales y detrás de la cavidad llenar flojamente con manta de fibra de vidrio. Este tipo de montaje es llamado "No. 2". El montaje "No. 7" es familiarmente el sistema barra - "T" suspendido del techo. Aquí el material se espacia 0.6 metro por lo menos (2') fuera de un límite sólido estructural.

Los coeficientes de absorción caen dentro de una escala de cero a uno, siguiendo el concepto establecido por Sabine, el pionero de la acústica en la arquitectura moderna. Sabine sugirió que una ventana abierta sea considerada un absorbente perfecto (ya que ningún sonido es reflejado) y que su coeficiente de absorción sonora deba ser por consiguiente 100 por ciento, o la unidad. Al otro extremo de la escala, un material que refleja todo el sonido, y no absorbe nada, tiene un coeficiente de absorción cero.

En los mapas más viejos y libros de texto, el total de absorción en una sala puede darse en sabins. El *sabin* es una unidad de absorción nombrada después de Sabine y es el equivalente de un pie cuadrado de ventana abierta.

Por ejemplo, suponga que un material dado tiene un coeficiente de absorción de 0.1 a 1 kHz. Cien pies cuadrados de este material en una sala tienen un total la absorción de 10 sabins. (Note: Al usar las unidades del Sistema Internacional, el sabin métrico es igual a un metro cuadrado de superficie totalmente absorbente.)

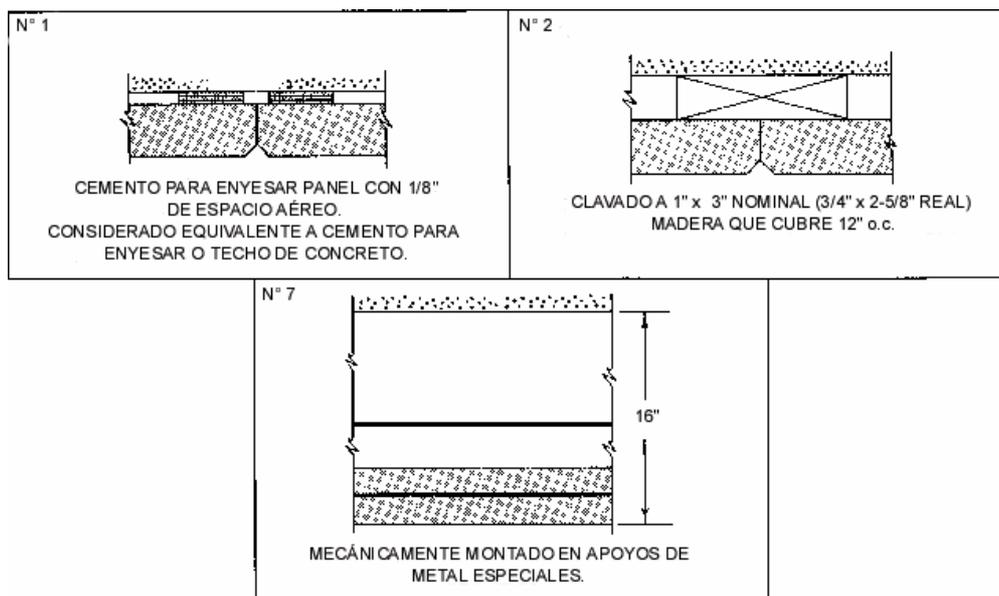


Figura 5-2. Tipos de montajes ASTM (usados en pruebas de guiar la absorción sonora).

Las más recientes publicaciones normalmente expresan la absorción en un espacio adjunto en términos de *coeficiente promedio de absorción*. Por ejemplo, si una sala tiene un área de superficie total de 1000 metros cuadrado consistiendo en 200 metros cuadrado de material con un coeficiente de absorción de .8 y 800 metros cuadrado de material con un coeficiente de absorción de .1, el coeficiente promedio de absorción para el área de la superficie interior entera de la sala se dice que es .24:

Area:		Coeficiente:	Sabins:
200	x	0.8	= 60
800	x	0.1	= 80
1000			240

$$\alpha = 240/1000 = 0.24$$

El uso del coeficiente medio de absorción tiene la ventaja que no se ata a cualquier sistema particular de medida. Un coeficiente de absorción medio de 0.15 es exactamente el mismo si las superficies de la sala son medidas en pies cuadrados, yardas cuadradas, o metros cuadrados. También el uso de un coeficiente de absorción medio facilita resolviendo tiempo de reverberación, relación sonora directo - a - reverberante, y sostener - estado de presión sonora.

COEF. DE ABSORCION α	COEF. DE REFLEXION $1 - \alpha$ (γ)	COEF. DE REFLEXION dB
.01	.99	-.044
.02	.98	-.088
.03	.97	-.13
.04	.96	-.18
.05	.95	-.22
.06	.94	-.27
.07	.93	-.32
.08	.92	-.36
.09	.91	-.41
.10	.90	-.46
.20	.80	-.97
.30	.70	-1.5
.40	.60	-2.2
.50	.50	-3.0
.60	.40	-4.0
.70	.30	-5.2
.80	.20	-7.0
.90	.10	-10.0
.95	.05	-13.0

Figura 5-3. Coeficiente de reflexión en decibeles como una función del coeficiente de absorción.

Aunque nosotros normalmente usemos las publicaciones de los coeficientes de absorción sin cuestionar su exactitud y realización aritmética simple que promedia el coeficiente medio de absorción de una sala, los números y procedimientos que usamos son sólo aproximaciones. Mientras esto no perturbe la fiabilidad de nuestros cálculos a un gran grado, es importante comprender que el límite de confianza al trabajar con coeficientes de absorción publicados es de $\pm 10\%$.

¿Cómo hace el coeficiente de absorción del material relacionar a la intensidad de la onda sonora reflejada?

Un coeficiente de absorción de 0.2 a alguna frecuencia especificada y ángulo medio de incidencia que se absorberán el 20% de la energía sonora y se reflejarán el 80%. La conversión a decibeles es una simple función 10 log:

$$10 \log_{10} 0.8 = -0.97 \text{ dB}$$

En el ejemplo dado, la relación de reflexión directa de energía sonora es aproximadamente -1 dB. En otros términos, la onda reflejada es 1 dB más débil que si la superficie fuera 100% reflexiva. Vea la tabla en la Figura 5-3.

Pensando en términos de decibeles pueden ser de ayuda real en una ubicación práctica. Suponga que nosotros queremos mejorar la acústica de una sala de conferencias pequeña que tiene una pronunciada "palmada" en la pared trasera. ¡Para reducir la intensidad de la palmada en sólo 3 dB, la pared debe tener algún material con coeficiente de absorción 0.5! Para hacer a la palmada la mitad de ruidosa (una reducción de 10 dB) requiere el tratamiento acústico de la pared trasera para aumentar su coeficiente de absorción a 0.9. La dificultad se eleva por el hecho que la mayoría de los materiales absorben substancialmente menos energía sonora de una onda que golpea de frente, que sus coeficientes de incidencia al azar indicados.

La mayoría de los materiales "acústicos" son porosos. Ellos pertenecen a la clase acústicamente "pelusa". El sonido es absorbido ofreciendo resistencia al flujo de aire a través del material y por eso cambia alguna de su energía para excitar. Pero cuando el material poroso se pega directamente a hormigón sólido o a algún otro rígido no - absorbente, es obvio que no puede haber ningún movimiento aéreo y por consiguiente ninguna absorción al límite de dos materiales.

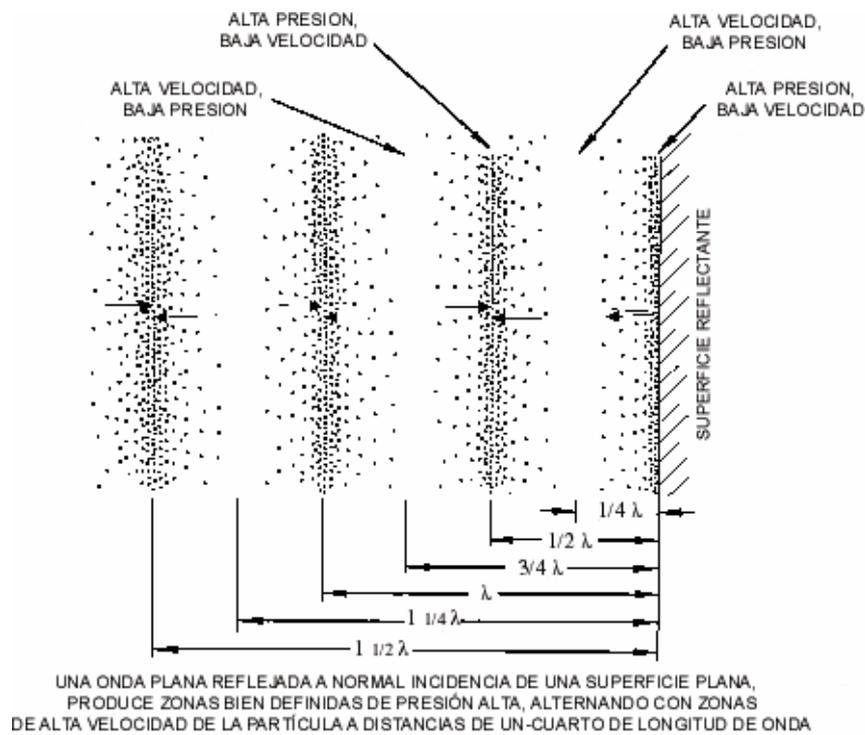


Figura 5-4. Configuración de interferencia de sonido reflejada desde un límite sólido.

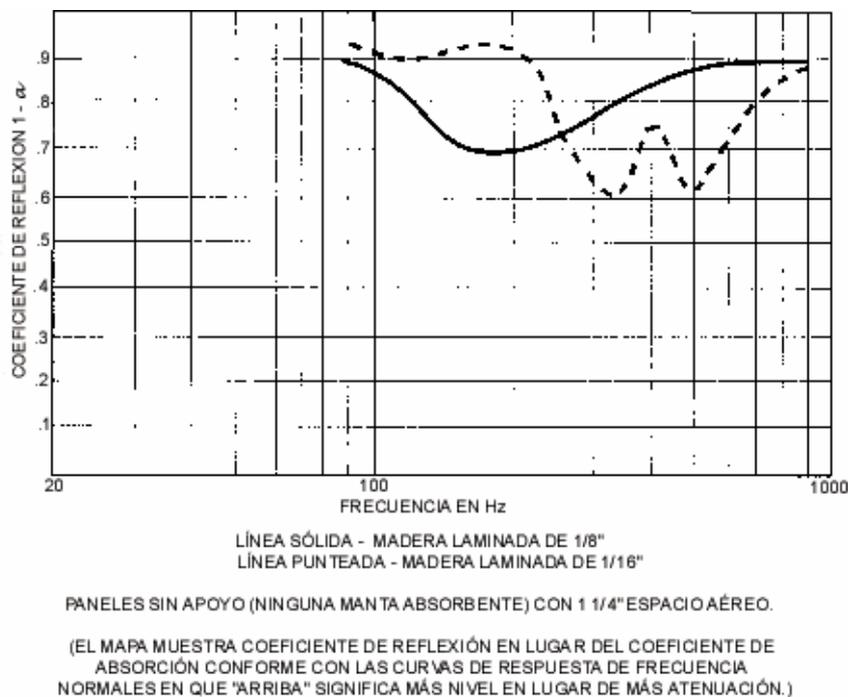


Figura 5-5. Reflectividad de paneles delgados de madera laminada.

Considere una onda sonora que choca semejante límite en incidencia normal, mostrado en Figura 5-4.

La energía reflejada deja el límite en la dirección opuesta a la que entró y combina con las ondas sonoras subsecuentes para formar una configuración clásica de onda duradera. La velocidad de la partícula es muy pequeña (teóricamente cero) al límite de dos materiales y también en una distancia de $\frac{1}{2}$ longitud de onda fuera del límite. La velocidad de la partícula aérea es máxima a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda del límite.

De esta simple relación física parece obvio que a menos que el espesor del material absorbente sea apreciable comparado con $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, su efecto será mínimo.

Este modelo físico también explica el dramático aumento en absorción obtenida cuando un material poroso se espacia fuera de una superficie límite.

Espaciando la capa de material absorbente exactamente en $\frac{1}{4}$ de longitud de onda fuera de la pared donde la velocidad de la partícula es más grande, su absorción eficaz es multiplicada muchas veces. La ubicación es complicada por la necesidad de considerar ondas sonoras llegando de todas posibles direcciones. Sin embargo, el efecto básico queda igual: pueden hacerse los materiales porosos más eficaces haciéndolos más espesos o espaciándolos fuera de las superficies no - absorbentes del límite.

Un panel delgado de madera u otro material también absorbe el sonido, pero debe ser libre a vibrar. Como él vibra en la respuesta de presión sonora, pérdidas friccionales cambian algo de la energía en calor y el sonido está así absorto. Los absorbentes de diafragma tienden a resonar en una banda particular de frecuencias, como cualquier otro circuito puesto a punto, y ellos deben usarse con cuidado. Su gran ventaja es el hecho que la absorción de frecuencia baja puede obtenerse en menos espesor que se requeriría para materiales porosos. Vea Figura 5-5.

Un segundo tipo de absorbente puesto a punto ocasionalmente usado en el trabajo acústico es el resonador de Helmholtz: un gabinete reflectivo sin un altavoz. (Llamado "Soundblox". Éstos bloques de albañilería que contienen el sonido en cavidades absorbentes pueden ser usados en gimnasios, piscinas, y otros lugares en que los materiales porosos no pueden ser empleados.)

El Crecimiento y Decaimiento de un Campo Sonoro en una Sala

A estas alturas nosotros debemos tener suficiente comprensión del comportamiento del sonido en el espacio libre y los efectos de superficies límite grandes para entender lo que

pasa cuando el sonido se confina en un cercamiento. Las ecuaciones describen el comportamiento de sistemas de sonido en salas involucrando considerablemente "fuera del promedio" del complicado fenómeno. Por consiguiente, nuestros cálculos son hechos sobre la base de lo que es típico o normal; ellos no dan respuestas precisas para casos particulares. En la mayoría de las ubicaciones, podemos estimar con un considerable grado de confianza, pero si meramente "enchufamos" los números en las ecuaciones sin entender la base de los procesos físicos, podemos encontrarnos haciendo cálculos laboriosos sobre la base de pura conjetura sin comprenderlo.

Suponga que tenemos una fuente de sonido omnidireccional localizada en alguna parte cerca del centro de una sala. La fuente ha encendido y de ese momento el sonido radia al exterior en todas las direcciones a 344 metros por segundo (1130 pies por segundo) hasta que choque los límites de la sala. Cuando el sonido choque una superficie del límite, algo de la energía es absorbida, algo se transmite a través del límite y el resto se refleja en la sala donde viaja en un curso diferente hasta que otra reflexión ocurre. Después de un cierto tiempo, para que muchas reflexiones hayan tenido lugar, tanto que el campo sonoro es ahora una mezcla al azar de ondas que viajan en todas direcciones a lo largo del espacio adjunto.

Si la fuente permanece encendida y continúa emitiendo sonido a una relación constante, la energía dentro de la sala aumenta hasta que un estado de equilibrio se alcanza por qué la energía sonora bombeada en la sala de la fuente exactamente equilibra la energía sonora disipada a través de la absorción y transmisión de los límites.

Estadísticamente, todos los paquetes de sonido individuales de intensidades variantes y direcciones variantes pueden promediarse, y en absoluto los puntos en la sala cerca de la fuente o cualquiera de las superficies del límite, nosotros podemos decir que un campo de sonido difuso uniforme existe.

La aproximación geométrica para acústica arquitectónica hace uso de una clase de "sopa" de analogía.

Con tal de que un número suficiente de reflexiones haya tenido lugar, y con tal de que podamos desatender las anomalías como las fuertes reflexiones enfocadas, las frecuencias resonantes prominentes, el campo directo cerca de la fuente, y la fuerte posibilidad que todas las superficies de la sala no tienen las mismas características de absorción, este modelo estadístico puede ser usado para describir el campo sonoro en una sala real. En la práctica, la aproximación trabaja notablemente bien. Si uno tiene el cuidado por permitir algunos de los factores mencionados,

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

la teoría nos permite hacer cálculos simples con respecto al comportamiento del sonido en salas y llega a resultados suficientemente exactos para más control del ruido y cálculos del sistema de sonido.

Regresando a nuestro modelo, considere que pasa cuando la fuente sonora se ha apagado (Off).

Ya no se bombea energía en la sala.

Por consiguiente, como una cierta cantidad de energía se pierde con cada reflexión, la densidad de energía del campo sonoro, gradualmente disminuye hasta que todo el sonido ha sido absorbido por las superficies del límite.

La Figura 5-6 da un cuadro simple de la forma idealizada. En el gráfico izquierdo, el eje vertical representa la energía sonora total en la sala y el eje horizontal representa alguna escala conveniente de tiempo. Desde el momento que la fuente sonora se enciende (On), la energía total en la sala aumenta gradualmente hasta el nivel apagado a un valor constante. Una vez logrado el equilibrio, la fuente sonora es apagada y la energía total de la sala disminuye hasta que toda es absorbida. Note esto el cuadro idealizado, las funciones de crecimiento y decaimiento son exponenciales. La curva es exactamente igual que el familiar gráfico de carga y descarga del capacitor.

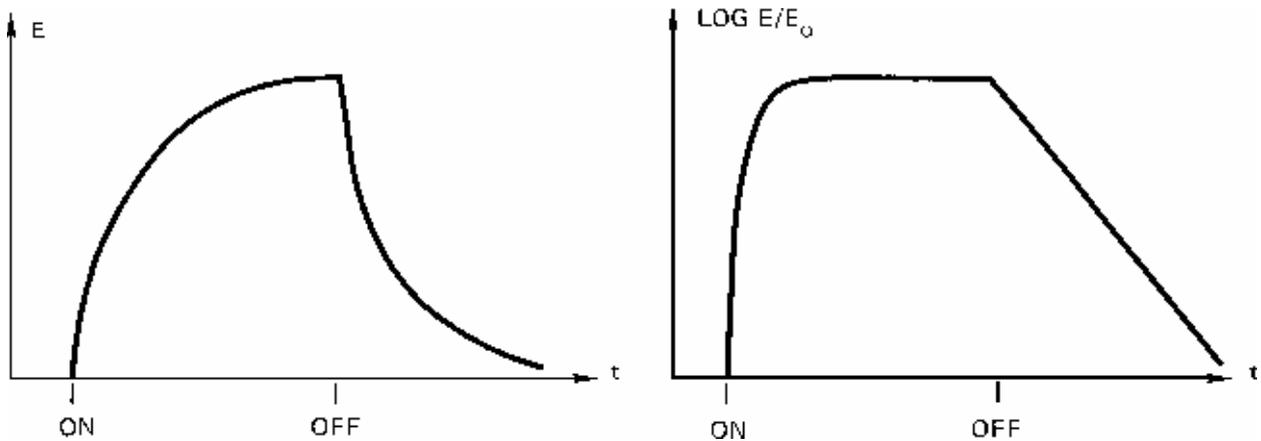


Figura 5-6. Crecimiento y decaimiento idealizado de energía sonora en un cercamiento.

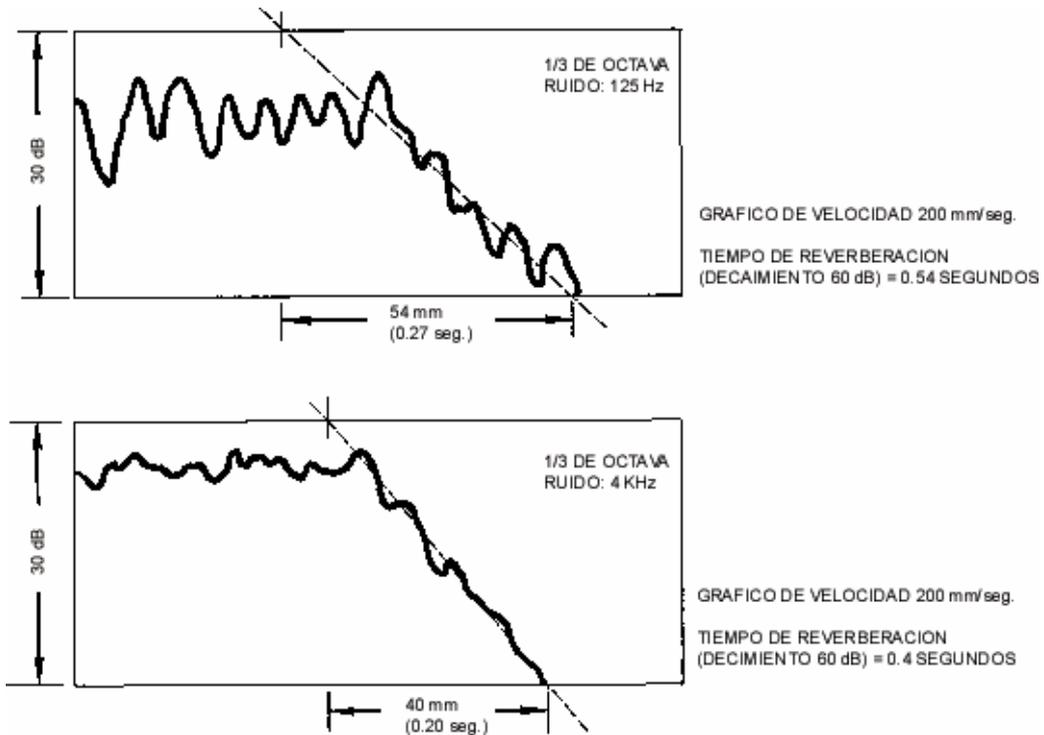


Figura 5-7. Gráficos de grabaciones reales de decaimiento del sonido en una sala.

Es más fácil para nosotros comprender este estado teórico si se trazan crecimiento y decaimiento de energía en una escala de decibelios. Esto es lo que se ha hecho en el gráfico. En relaciones de decibel, el crecimiento de sonido, es muy rápido y el decaimiento vuelve en una línea recta. La inclinación de la línea representa la relación de decaimiento en decibeles por segundo.

¿Qué comportamiento aproximado hace el sonido en una sala real con este cuadro estadístico? La Figura 5-7 muestra el gráfico de grabaciones reales de decaimiento del sonido en una sala bastante absorbente. Cada gráfico era hecho usando una banda de un tercio de octava de ruido al azar como señal de prueba. Una medida de nivel sonoro se localizó en el campo sonoro reverberante. (En la práctica varias lecturas se tomarían en diferentes sitios de la sala).

El gráfico superior ilustra una medida hecha en la banda centrada a 125 Hz. Note las grandes fluctuaciones en el estado de nivel constante y similares fluctuaciones como disminuciones de intensidad sonora. Las fluctuaciones son suficientemente grandes para hacer una "exacta" determinación de la proporción de decaimiento imposible. En cambio, una línea recta que parece representar el "mejor ataque" es trazada y su inclinación medida. En este caso, la inclinación de la línea es tal que la presión sonora parece deteriorándose a una velocidad de 30 dB por 0.27 segundos.

Esto funciona a una relación de decaimiento de 111 dB por segundo.

El gráfico más bajo muestra una medida similar tomada con una banda de un tercio de octava centrada a 4 kHz. Las fluctuaciones en el nivel no son pronunciadas, y es más fácil llegar a lo que parece ser la inclinación correcta del decaimiento sonoro. En este caso la presión sonora parece estar disminuyendo a una velocidad de 30 dB en 0.2 segundos, o una relación de decaimiento de 150 dB por segundo.

Reverberación y Tiempo de Reverberación

El término *relación de decaimiento* es relativamente poco familiar; normalmente hablamos sobre el *tiempo de reverberación*. Originalmente, tiempo de reverberación simplemente se describió como la longitud de tiempo requerida para un sonido muy fuerte, para extinguirse a inaudible. Se definió después en condiciones específicas como el tiempo real requerido para el sonido para decaer 60 decibeles. En ambas definiciones está asumido que esa relación de decaimiento es uniforme y que el nivel del ruido ambiente es bastante bajo para ser ignorado.

En el mundo real, la relación de decaimiento en una particular banda de frecuencias no puede ser uniforme y puede ser muy difícil de medir con

precisión sobre un rango total de 60 dB. Mas acústicamente se satisface para medir los primeros 30 dB de decaimiento después de que una señal de prueba se ha apagado y para usar la inclinación de esta porción de la curva para definir la media de relación de decaimiento y así el tiempo de reverberación. En el ejemplo dado, sólo deben hacerse las estimaciones sobre un rango útil de 20 dB. Sin embargo, la altura del papel del gráfico corresponde a un rango total de 30 dB y esto hace el cálculo de tiempo de reverberación bastante simple. A 125 Hz una línea inclinada dibujada por el ancho del papel del gráfico es equivalente a un decaimiento de 30 dB en 0.27 segundos. El tiempo de reverberación (decaimiento 60 dB) debe por consiguiente ser dos veces este valor, ó 0.54 segundos.

Similarmente, la misma sala tiene un tiempo de reverberación de sólo 0.4 segundos en la banda de 4 kHz.

En su trabajo original en la acústica arquitectónica, Sabine asumió el crecimiento y decaimiento exponencial idealizado del sonido que mostramos en la Figura 5-6.

Sin embargo, su ecuación basada en este modelo era inexacta en salas que tienen sustancial absorción. En otros términos, la ecuación de Sabine trabaja bien en salas vivas, pero no en ligeramente muertas. En 1920 y 1930, se hizo mucho esfuerzo para llegar a un modelo que describe con más precisión el crecimiento y decaimiento del sonido en todos los tipos de salas. Sobre la base del material presentado, nos permitió ver si podemos construir un modelo semejante.

Nosotros empezamos aceptando la noción de un uniforme estado difuso del campo sonoro. Aunque el campo sonoro en una sala real puede fluctuar, y aunque no puede ser exactamente el mismo a cada punto en la sala, alguna clase de promedio de intensidad global parece ser una simplificación razonable.

Si nosotros podemos promediar las variaciones en el sonido presente a lo largo de la sala, quizás también podemos encontrar una distancia media antes de que el sonido pueda viajar chocando una de las superficies del límite. Esta noción de una distancia media entre rebotes más conocida como el *camino libre medio* (MFP) y es una noción estadística común en otras ramas de la física. Para las salas típicas, el MFP resulta ser igual a $4V/S$, donde V es el volumen adjunto y S es el área de todas las superficies del límite.

Ya que las ondas del sonido han rebotado alrededor de todas las partes de la sala en casi todo posible ángulo antes de ser completamente absorbida, parece razonable que debe haber alguna clase de coeficiente medio de absorción α que describa el área de superficie límite total. Nosotros usaremos la técnica simple de promedio para calcular este coeficiente.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

A estas alturas nosotros hemos postulado un favorable modelo acústico simplificado que asume que, en promedio, el estado constante de intensidad del sonido en una sala real puede representarse por un solo número.

También hemos asumido que, en promedio, las ondas de sonido en esta sala viajan una distancia equivalente a MFP entre rebotes. Finalmente, hemos asumido que, en promedio, cada tiempo sonoro encuentra una superficie del límite que choca con un material que tiene un coeficiente al azar de incidencia de absorción denotado

$S = 126m^2$
 $V = 90m^3$
 $4V/S = 3m$
 CAMINO LIBRE MEDIO = .008 sec

PISO = $30m^2 \times .30 = 9m^2$
 TECHO = $30m^2 \times .33 = 10m^2$
 MUROS = $66m^2 \times .09 = 5.9m^2$

 $126m^2$ $24.9m^2$

$\bar{\alpha} = \frac{24.9}{126} = 0.2$

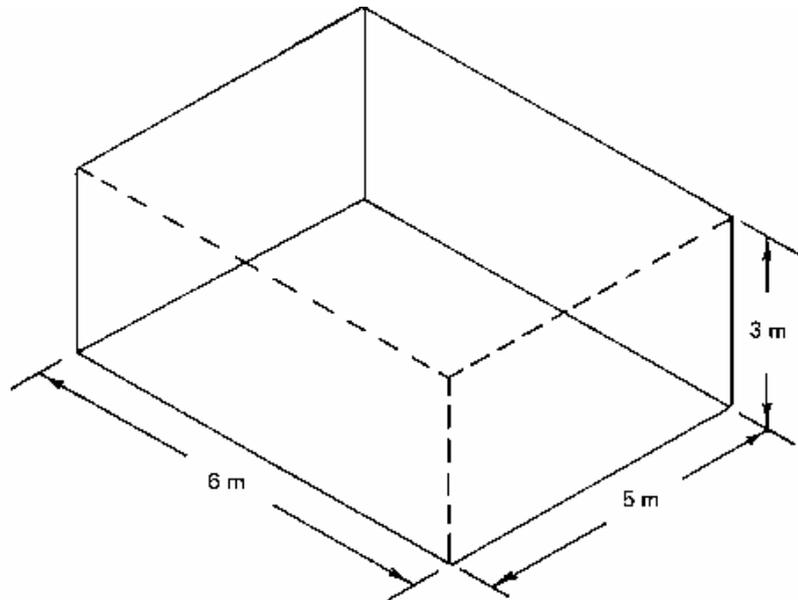


Figura 5-8. Calculo del tiempo de reverberación.

ECUACIONES DE TIEMPO DE REVERBERACION: T = 60 dB TIEMPO DE DECAIMIENTO EN SEGUNDOS		
EQUACION:	UNIDADES INGLESAS: S = AREA DE SUP. EN FT^2 V = VOLUMEN EN FT^3	UNIDADES SI: S = AREA DE SUP. EN m^2 V = VOLUMEN EN m^3
SABINE - DA LA MEJOR CORRESPONDENCIA CON COEFICIENTES DE ABSORCIÓN PUBLICADOS DÓNDE α ES MENOS DE 0.2	$T = \frac{.049V}{S \bar{\alpha}}$	$T = \frac{.16V}{S \bar{\alpha}}$
EYRING - LA FÓRMULA PREFERIDA PARA SALAS CON BUEN-COMPORT. QUE TIENEN α MAYOR QUE 0.2	$T = \frac{.049V}{-S \ln (1-\bar{\alpha})}$	$\bar{T} = \frac{.16V}{-S \ln (1-\bar{\alpha})}$
FITZROY - (SABIN) - PARA SALAS RECTANGULARES EN QUE LA ABSORCIÓN NO SE DISTRIBUYE BIEN.	$T = \frac{.049V}{S^2} \left(\frac{X^2}{X\alpha_x} + \frac{Y^2}{Y\alpha_y} + \frac{Z^2}{Z\alpha_z} \right)$	$T = \frac{.16V}{S^2} \left(\frac{X^2}{X\alpha_x} + \frac{Y^2}{Y\alpha_y} + \frac{Z^2}{Z\alpha_z} \right)$
α_x, α_y Y α_z SON COEFICIENTES DE ABSORCIÓN MEDIO DE PARES DE SUPERFICIES OPUESTAS CON ÁREAS TOTALES x, y, Y z.		

Figura 5-9. Ecuaciones de tiempo de reverberación.

por un solo número, α . Sólo un paso resta para completar nuestro modelo. Ya que el sonido viaja a una conocida relación de velocidad, el camino libre medio es equivalente a una cierto *tiempo medio libre* entre rebotes.

Ahora imagine lo que debe pasar si aplicamos nuestro modelo a la ubicación que existe en una sala inmediatamente después de que una fuente sonora emitiendo uniformemente se ha apagado. Las ondas sonoras continúan viajando para una igual distancia al camino libre medio. A este punto ellas encuentran una superficie límite teniendo un coeficiente de absorción de α y un cierto porcentaje de energía es perdido. La energía restante se refleja atrás en la sala y de nuevo viaja a igual distancia al camino libre medio antes de encontrar otro límite con coeficiente de absorción α . Cada sonido de tiempo se hace rebotar fuera de una nueva superficie, su energía se disminuye por una proporción determinada por el coeficiente medio de absorción α .

Si nosotros sabemos la relación de energía perdida con cada rebote y la longitud de tiempo entre los rebotes, podemos calcular la relación media de decaimiento y el tiempo de reverberación para una sala particular.

Ejemplo: Considere una sala de 5m x 6m x 3m, como el diagrama en la Figura 5-8. Permítanos calcular la relación de decaimiento y tiempo de reverberación para la banda octava centrada a 1 kHz.

El volumen de la sala es 90 metros cúbicos, y su área de superficie total es 126

metros cuadrados; por consiguiente, el MFP hace ejercicio para ser aproximadamente 3 metros.

El próximo paso es listar las áreas individualmente y coeficiente de absorción de varios materiales usados en las superficies de la sala.

El área de la superficie total es 126 metros cuadrados; la absorción total ($S\alpha$) suma arriba de 24.9 unidades de absorción. Por consiguiente, el coeficiente medio de absorción (α) es 24.9 dividido por 126, o 0.2.

Si cada reflexión produce una disminución en energía de 0.2, la onda reflejada debe tener una energía equivalente de 0.8. Una relación de 0.8 a 1 es equivalente a una pérdida de 0.97 decibels por reflexión. Para simplicidad, permítanos llamarlo 1 dB por reflexión.

Ya que el MFP es 2.9 metros, el tiempo media libre debe ser aproximadamente 0.008 segundos ($2.9/334 = 0.008$).

Nosotros sabemos ahora que la relación de decaimiento es equivalente a 1 dB por 0.008 segundos. El tiempo para que el sonido se deteriore 60 dB, por consiguiente, debe ser:

$$60 \times 0.008 = 0.48 \text{ segundos.}$$

La ecuación de Eyring en su forma normal es mostrada en la Figura 5-9. Si esta ecuación se usa para calcular la reverberación de nuestra hipotética sala, la respuesta sale de 0.482 segundos. Si la fórmula de Sabine se usa para calcular el tiempo de reverberación de esta sala, proporciona una respuesta de 0.535 segundos o una diferencia de un poco más de 10%.

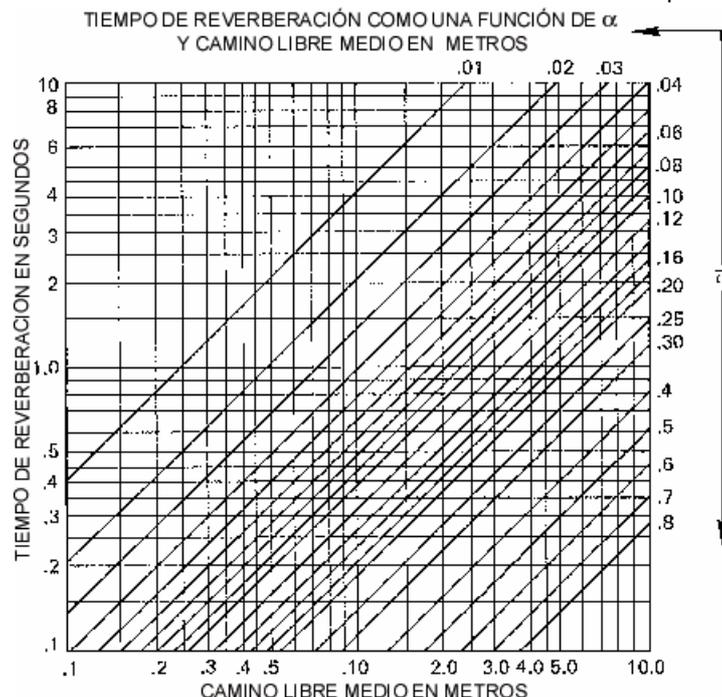


Figura 5-10. Gráfico de tiempo de reverberación, unidades SI.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

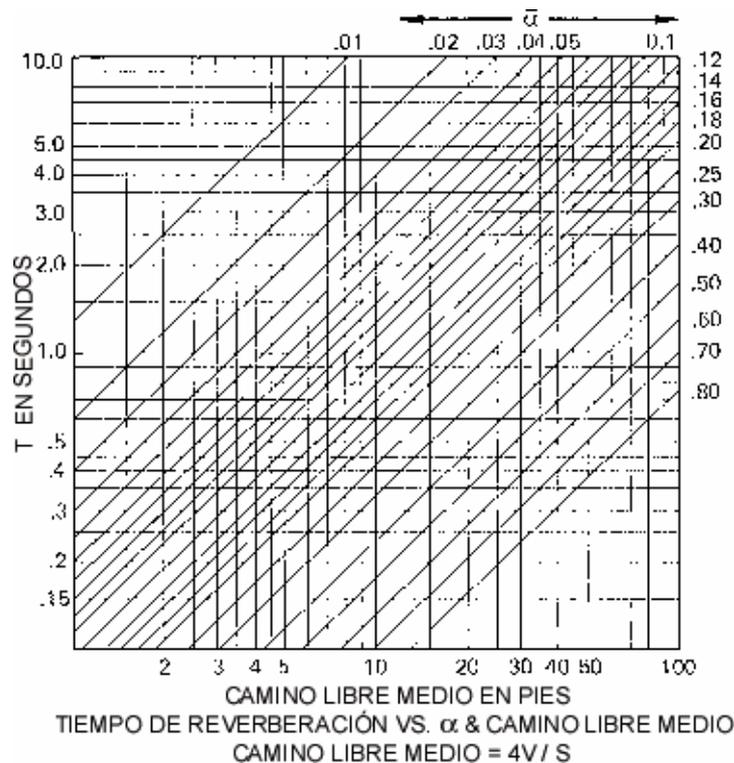


Figura 5-11. Mapa de tiempo de reverberación, unidades inglesas.

DESCRIPCION	125	1 kHz	4 kHz
PARED DE LADRILLO (18" DE ESPESOR, DESPINTADA)	.02	.04	.07
PARED DE LADRILLO (18" DE ESPESOR, PINTADA)	.01	.02	.02
LISTON EN METAL CON YESO INTERIOR	.02	.06	.03
HORMIGÓN VERTIDO	.01	.02	.03
PISO DE PINO	.09	.08	.10
ALFOMBRANDO CON ALMOHADILLA	.10	.30	.70
ENTAPIZAR (ALGODÓN, 2X LLENURA)	.07	.80	.50
ENTAPIZAR (VELOUR, 2X LLENURA)	.15	.75	.65
AZULEJO ACÚSTICO (5/8", #1 MONTAJE)	.15	.70	.65
AZULEJO ACÚSTICO (5/8", #2 MONTAJE)	.25	.70	.65
AZULEJO ACÚSTICO (5/8", #7 MONTAJE)	.50	.75	.65
PANELES TECTUM(1", #2 MONTAJE)	.08	.55	.65
PANELES TECTUM (1", #7 MONTAJE)	.35	.35	.65
CONTRACHAPADO (1/8", 2" DE ESPACIO AÉREO)	.30	.10	.07
CONTRACHAPADO DE CUERPO CILINDRICO (2 CAPAS 1/8")	.35	.20	.18
PERFORADO (C/ ALMOHADILLA, #7 MONTAJE)	.90	.95	.45
ÁREA OCUPADA DEL PÚBLICO	.50	.95	.85
ASIENTOS TAPIZADOS DEL TEATRO EN SUELO DURO	.45	.90	.70

#1 MONTAJE: CEMENTAR DIRECTAMENTE PARA YESO O HORMIGÓN.
 #2 MONTAJE: AMARRADO A NOM. 1 " CUBRIENDO LAS LISTAS ESPESAS.
 #7 MONTAJE: TECHO SUSPENDIDO CON 16" DE ESPACIO AÉREO.

Figure 5-12. Coeficientes de absorción aproximados de material común (promedio y redondeado de los datos publicados).

En lugar de pasar por los cálculos, es mucho más rápido usar un gráfico simple. Los mapas calculados de la fórmula de Eyring se dan en las Figuras 5-10 y 5-11. Usando el gráfico como una referencia y de nuevo verificando nuestro ejemplo hipotético, nosotros encontramos que una sala que tiene un camino libre medio sólo un poco menos de 3 metros y un coeficiente medio de absorción de .2 debe tener un tiempo de reverberación de sólo un poco menos que .5 segundos.

Ya que el tiempo de reverberación es directamente proporcional al camino libre medio, es deseable calcular el último con tanta precisión como sea posible. Sin embargo, esto no es la única área de incertidumbre en estas ecuaciones. Hay argumento entre los acústicos acerca de si los coeficientes de absorción publicados, como aquéllos de la Figura 5-12, realmente corresponde a la incidencia al azar de absorción implícita en la ecuación de Eyring.

Hay también argumento sobre el método que encuentra el "promedio" del coeficiente de absorción para una sala. En nuestro ejemplo, realizamos un cálculo aritmético simple para encontrar el coeficiente medio de absorción.

Por ejemplo, nosotros sabemos que la absorción total de un solo pedazo grande de material es menos que si la misma cantidad de material se extiende en un número de pedazos

separados, más pequeños. A frecuencias superiores, la absorción aérea reduce el tiempo de reverberación. La Figura 5-13 puede usarse para estimar tales desviaciones sobre 2 kHz.

Una última fuente de incertidumbre es inherente en la naturaleza estadística del propio modelo. Nosotros sabemos de la experiencia que el tiempo de reverberación en una sala de concierto grande puede ser diferente en el área de asientos que si fuera medido cerca del centro del espacio adjunto.

Con todas estas incertidumbres, es una maravilla que las ecuaciones normales trabajen así como ellas lo hacen.

El límite de confianza del modelo estadístico es probablemente del orden del 10% por lo que se refiere a tiempo o relación de decaimiento, o ± 1 dB por lo que se refiere en el ámbito de presión sonora. Por consiguiente, llevando a cabo los cálculos con 3 o 4 decimales, o a fragmentos de decibeles, no sólo es innecesario pero matemáticamente no pertinente.

La reverberación es la única característica que ayuda a nuestras orejas a identificar la "firma acústica" de un espacio adjunto. Algunos acústicos separan las cualidades acústicas en tres categorías: el sonido directo, las reflexiones tempranas, y el llegando - tarde de los campos reverberantes.

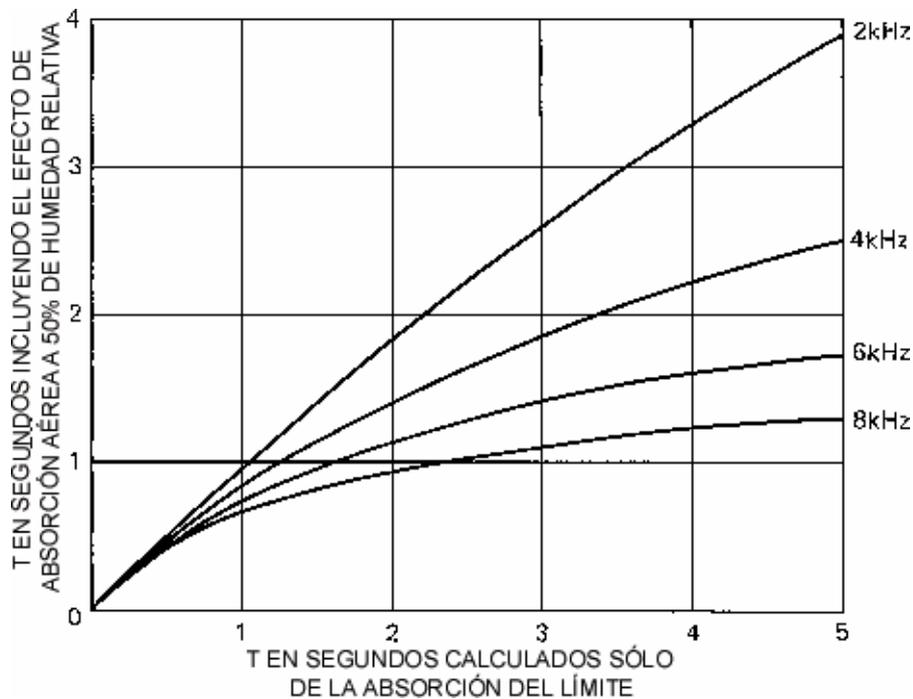


Figura 5-13. Efecto de absorción aérea en el tiempo de reverberación calculado.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Otra característica identificable, particularmente, de salas pequeñas, es la presencia de identificables frecuencias de resonancia. Aunque este factor es ignorado en nuestro modelo estadístico, una sala realmente es un sistema resonante muy complicado como un instrumento musical. Como mencionado previamente, si las resonancias individuales son agrupadas al mismo tiempo en frecuencia, el oído tiende a promediar los picos y las pendientes, y el modelo estadístico parece válido. A bajas frecuencias, donde las resonancias pueden separarse por más de un ancho de banda crítico, el oído identifica una característica timbral particular de esa sala en una ubicación específica de escucha.

Ya que el campo sonoro directo es independiente de la sala, podríamos decir que las "tres R's" de sala acústica es la *reverberación*, *resonancias de la sala* y las *reflexiones tempranas*.

La diferencia entre las reflexiones tempranas y la retrasada reverberación está normalmente hecha en algún punto entre 20 y 30 milisegundos después de la llegada del sonido directo. La mayoría de las personas con el oído normal encuentran que se combinan las reflexiones tempranas con el sonido directo por el mecanismo del oído, considerando que después se identifican las reflexiones como una propiedad del espacio adjunto. Vea la Figura 5-14. Las tempranas reflexiones, por consiguiente, pueden ser usadas por el cerebro como parte del proceso de decodificación. Mientras, la retrasada reverberación, proporciona un componente estético para muchos tipos de música, tiende a

enmascarar el sonido temprano e interfiere con la inteligibilidad del discurso.

Una característica final del sonido se ignora en todas las ecuaciones normales. La localización de una fuente sonora afecta nuestra valoración subjetiva del campo sonoro. En el diseño de sistemas de refuerzo de sonido, la localización es principalmente desatendida salvo reglas generales. Logra la importancia crítica, sin embargo, en el diseño de monitoreo multi - canal y salas de mezcla en estudios de grabación.

Campos Sonoros Directos y Reverberantes

¿Qué pasa con la ley de cuadrado inverso en una sala? Hasta donde el sonido directo está comprometido (que alcance un oyente directamente de la fuente sin ninguna reflexión) la relación del cuadrado inverso permanece inalterada. Pero en un espacio adjunto ahora tenemos un segundo componente del campo sonoro total. En nuestro modelo estadístico asumimos eso a una distancia suficientemente lejos de la fuente, el sonido directo se enterraría en una "sopa" de reflexiones al azar de todas las direcciones. Este campo sonoro reverberante se asumía que era uniforme a lo largo del espacio adjunto.

La Figura 5-15 ilustra cómo estos dos componentes del campo sonoro total están relacionados en una ubicación típica. Nosotros tenemos una fuente sonora radiando uniformemente a través de un ángulo sólido hemisférico. La energía directa radiada por la fuente se representa por los puntos negros. La densidad de energía relativa es

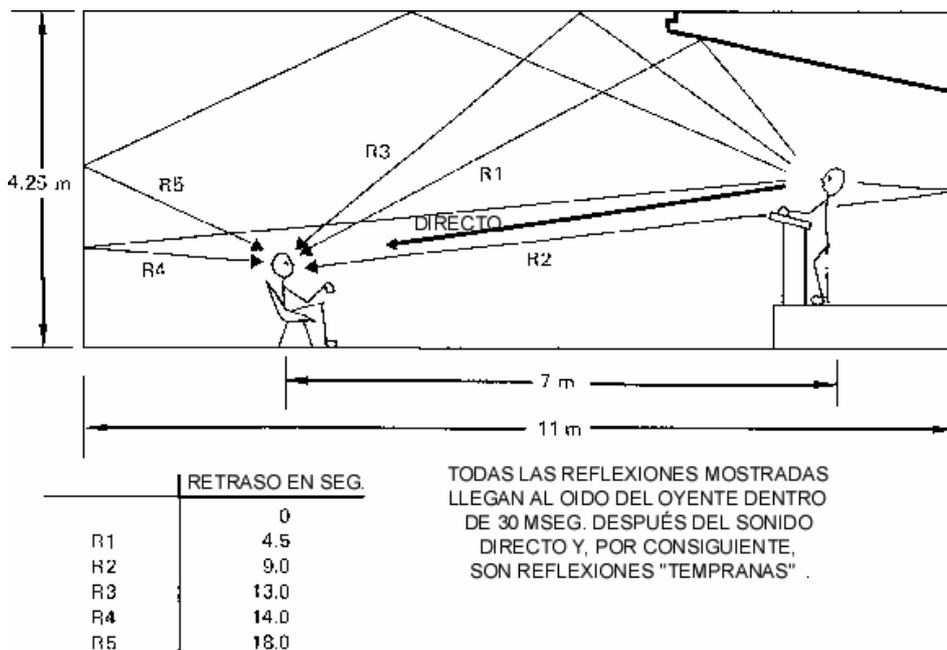


Figura 5-14. Reflexiones tempranas respecto al sonido directo.

indicada por la densidad de los puntos en la página; cerca de la fuente ellos están juntos, muy íntimos y se vuelven cada vez más extendidos a mayores distancias de la fuente.

El campo reverberante se indica por los puntos circulares. Su espacio es uniforme a lo largo del espacio adjunto para representar la uniforme densidad de energía del campo reverberante.

Cerca de la fuente el campo directo predomina.

Cuando uno se marcha más lejos, sin embargo, la relación hasta cambiar de puntos negros a puntos circulares los puntos negros son tan pocos y lejos entre sí, que su presencia puede ignorarse. En esta área uno está bien adentro del campo reverberante de la sala. En alguna distancia particular de la fuente existe una zona donde las densidades de puntos circulares y puntos negros son iguales. En la ilustración, esta zona toma la forma de un semicírculo; en el espacio tridimensional, tomaría la forma de un hemisferio.

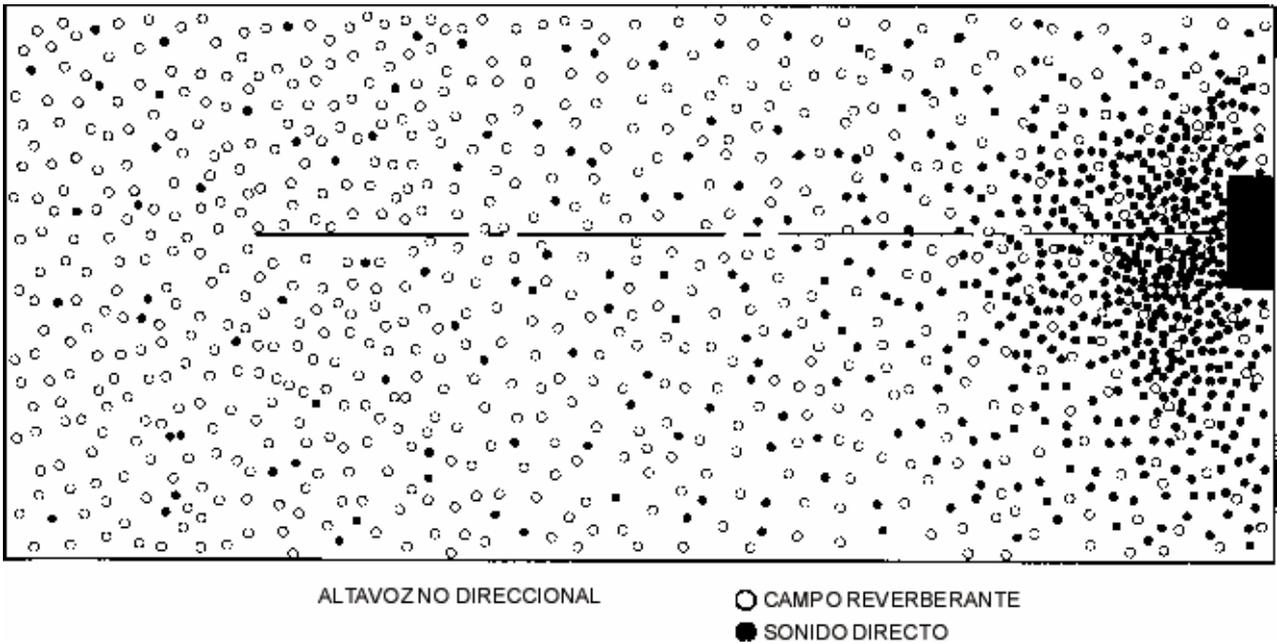


Figura 5-15. Campo directo y reverberante, altavoz no - direccional.

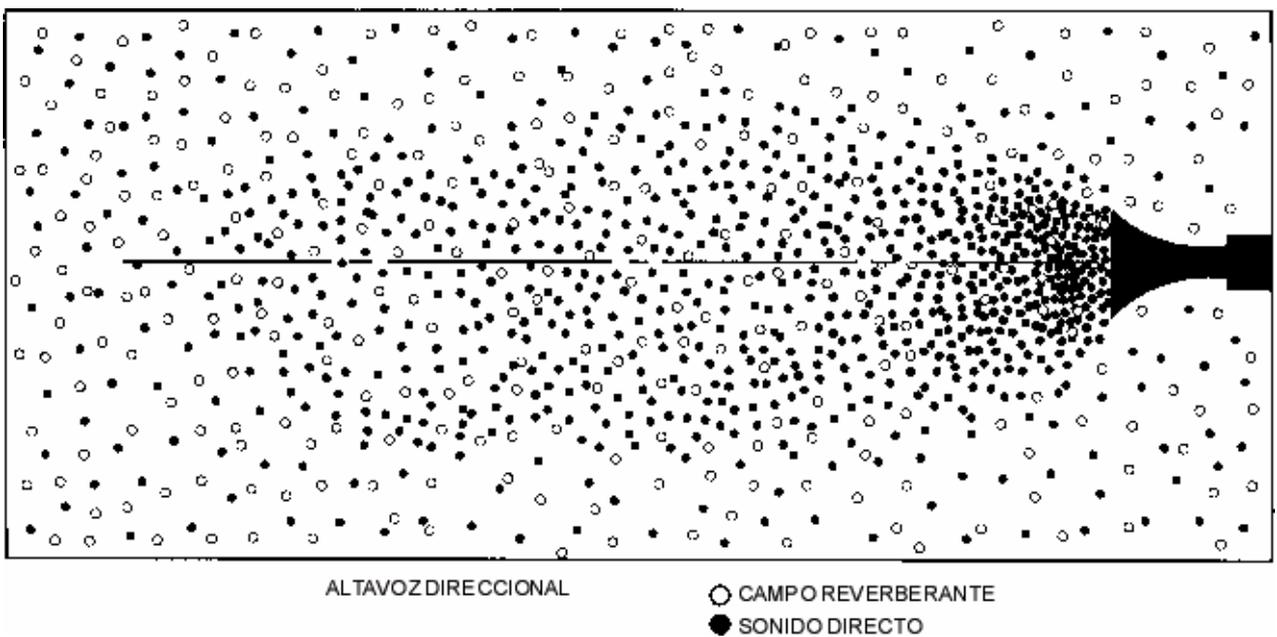


Figura 5-16. Campo directo y reverberante, altavoz direccional.

Distancia crítica (D_c)

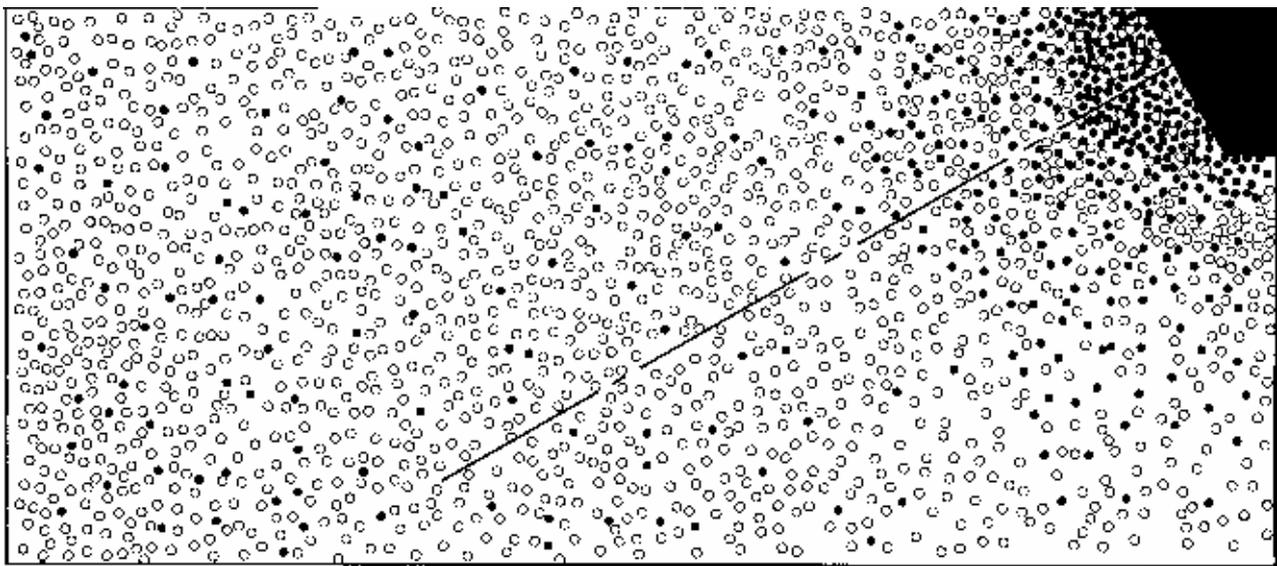
La distancia del centro acústico al límite de círculo - negro se llama *distancia crítica*.

La distancia crítica es la distancia del centro acústico de una fuente sonora, a lo largo de un eje especificado, a un punto en que las densidades de los campos sonoros directo y reverberante son iguales.

La distancia crítica es afectada por las características direccionales de la fuente sonora. La Figura 5-16 ilustra la misma sala como en la Figura 5-15, pero con un altavoz más direccional.

En este caso el límite de círculo - negro ya no describe un semicírculo. Los puntos negros se concentran a lo largo del eje mayor del altavoz y mantiene su dominación sobre los puntos circulares para una distancia substancialmente mayor que en el ejemplo precedente.

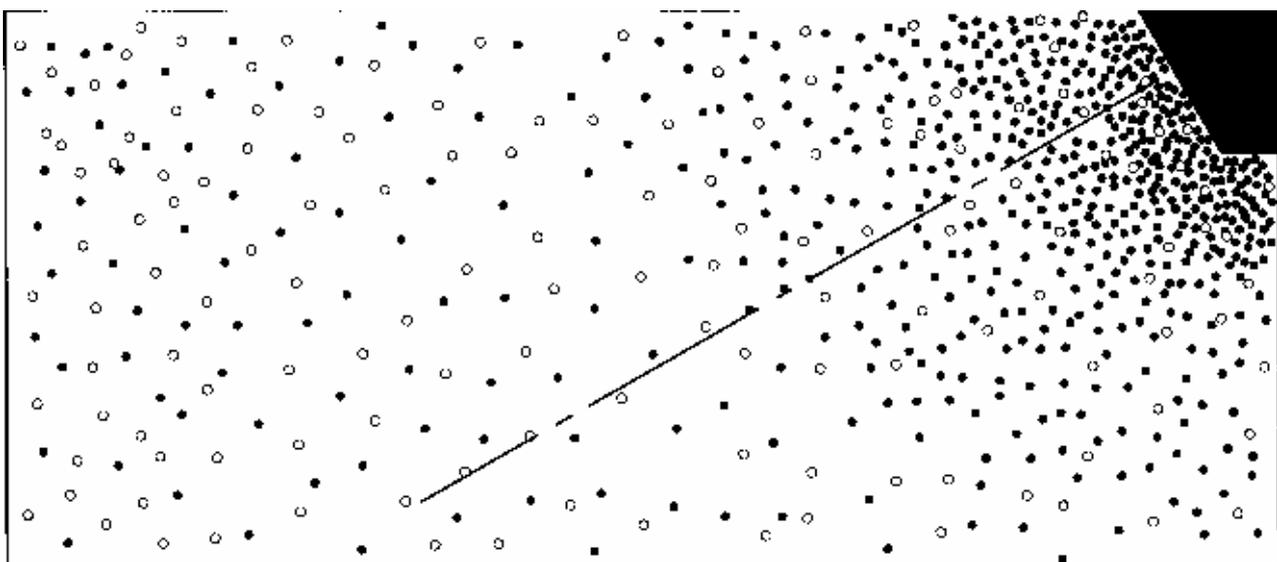
Sin embargo, a 45° o mayor fuera del eje mayor, los puntos negros se mueren más rápidamente y el límite de círculo - negro esta mucho más cerca a la fuente.



ALTAVOZEN SALA "VIVA"

○ CAMPO REVERBERANTE
● SONIDO DIRECTO

Figura 5-17. Campo directo y reverberante, sala viva.



ALTAVOZEN SALA "MUERTA"

○ CAMPO REVERBERANTE
● SONIDO DIRECTO

Figura 5-18. Campo directo y reverberante sala muerta.

La distancia crítica también es afectada por los coeficientes de absorción de superficies límite de la sala.

Las figuras 5-17 y 5-18 ilustran la misma fuente sonora en el mismo tamaño de sala. La diferencia en la primera ilustración es que las superficies de la sala son muy reflexivas, mientras en la segunda, ellas son más absorbentes. La densidad de puntos negros representando el campo directo es la misma en ambas ilustraciones. En la sala viva, porque la energía disipa bastante despacio, el campo reverberante es relativamente pronunciado. Como resultado, el límite de círculo - negro se empuja cerca de la fuente sonora. En el segundo ejemplo la energía sonora es absorbida más rápidamente, y el campo reverberante no es tan pronunciado.

Por consiguiente, el límite de círculo - negro está más lejos de la fuente.

Aunque el campo directo y el campo reverberante se produce por la misma fuente sonora, el sonido corre así bien por las reflexiones múltiples que los dos componentes son no - coherentes. Esto es para que, el rms total de presión sonora medido a distancia crítica debe ser 3 dB mayor que el producido por el

campo directo o campo reverberante exclusivamente.

Dentro de las variaciones normales de promediar estadístico, tal es el caso en salas reales. El comportamiento de altavoces en las salas se describió en el gran detalle en 1948 por Hopkins y Stryker (6). Los cálculos de nivel de presión de sonido promedio contra la distancia se ilustra en la Figura 5-19. Mucha información útil se ha condensado en este simple gráfico. La presión sonora se da en términos de nivel producido por una fuente puntual que radia un watt acústico. La línea recta diagonal muestra la disminución en la presión del sonido con la distancia que se mediría en el aire libre.

Constante de la Sala (R)

Las varias curvas inclinadas se etiquetan con números que indican una nueva cantidad, la *constante de la sala*. Esto se definirá en los párrafos subsecuentes. Esencialmente, R es un valor modificado de la absorción total en la sala [$R = Sa/(1 - \alpha)$]. Una pequeña constante de la sala indica una sala muy viva, y una gran constante de la sala describe una sala que tiene un gran trato de absorción.

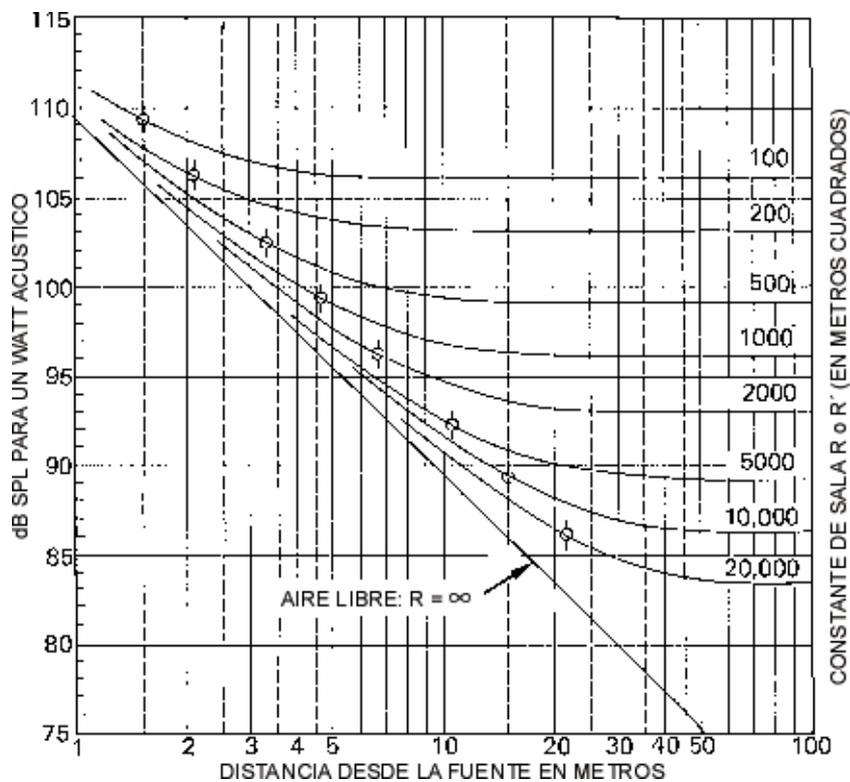


Figura 5-19. SPL (fuente puntual que radia un watt acústico) contra R y distancia de la fuente.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Suponga que ponemos una pequeña fuente sonora no - direccional en una sala que tiene $R = 200 \text{ m}^2$. Si nosotros medimos el nivel sonoro a una distancia de 0.25 metro del centro acústico y entonces caminamos en una línea recta fuera de la fuente, el nivel disminuirá al principio como el cuadrado de la distancia. Sin embargo, cerca de 1 metro de la fuente, la relación cuadrada inversa ya no se aplica. A distancias de 6 metros o más de la fuente, no hay ningún cambio sustancial en absoluto en la presión del sonido porque nosotros estamos bien en el campo reverberante y el sonido directo ya no tiene un efecto perceptible en nuestra lectura. Si nosotros invertimos nuestro camino y paseamos hacia la fuente desde una distancia de 12 o 15 metros, la presión del sonido permanece inalterada al principio y después gradualmente empieza a subir hasta que, a una distancia aproximadamente de 2 metros de la fuente, la lectura ha aumentado 3 dB sobre el campo reverberante. Esta posición, indicada por la marca en la curva, es la distancia crítica.

El gráfico de la Figura 5-20 es una relación universal en que se usa la distancia crítica como la vara de medición. Puede verse que la zona de transición eficaz del campo reverberante al campo directo existe por encima de un rango de aproximadamente la mitad de la distancia crítica a casi dos veces la distancia crítica. A la mitad de la distancia crítica, el campo del sonido total es 1 dB mayor que el campo directo solo; en dos veces la distancia crítica, el campo del sonido total es 1 dB mayor que el campo reverberante solo. La relación de sonido directo al de reverberante

puede ser calculada de la ecuación simple mostrada debajo del mapa, o estimado directamente del propio gráfico. Por ejemplo, en cuatro veces D_C el campo del sonido directo está 12 dB menos que el campo de sonido reverberante. A la mitad de D_C , el campo sonoro directo es 6 dB mayor que el campo sonoro reverberante.

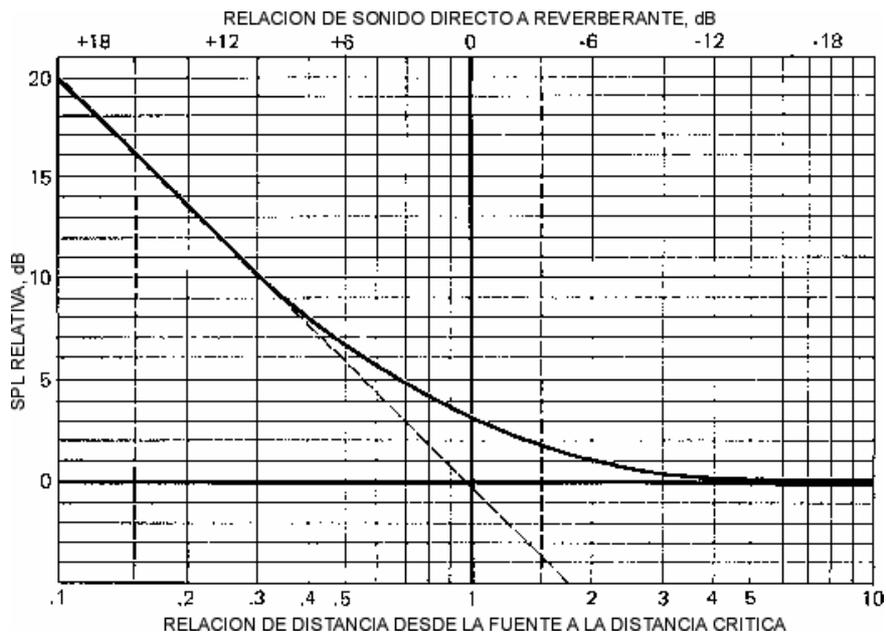
Recuerde que, aunque la distancia crítica dependa de la directividad de la fuente y de las características de absorción de la sala, las relaciones expresadas en la Figura 5-19 permanecen inalteradas. Una vez que D_C es conocido, todos los otros factores pueden calcularse sin tener en cuenta las características de la sala.

Con una fuente de sonido direccional, sin embargo, un juego dado de cálculos puede usarse sólo a lo largo de un eje especificado. En cualquier otro eje la distancia crítica cambiará y debe ser re-calculada.

Permítanos investigar estos dos factores en un poco de detalle: primero la constante de sala R , y después el factor de directividad Q .

Nosotros ya hemos mencionado que la constante de la sala se relaciona a la absorción total de un espacio adjunto, pero que es diferente de absorción total representada por $S\alpha$.

Una manera de entender la constante de la sala es primero considerar que la densidad media de energía total en una sala es directamente proporcional a la potencia de la fuente de sonido e inversamente proporcional a la absorción total de las superficies límite. Esta



CALCULADO POR: $10 \log (1+1/x^2)$ DONDE x ES LA RELACION DE DISTANCIA DESDE LA FUENTE A LA DISTANCIA CRITICA.

Figura 5-20. SPL relativo contra la distancia de la fuente respecto a la distancia crítica.

relación se indica a menudo por la simple expresión: $4W/cS\alpha$. W representa la salida de la fuente sonora, y la expresión familiar $S\alpha$ indica la absorción total de las superficies límite.

Recordando a nuestro modelo estadístico de la sala, nosotros sabemos que los viajes del sonido afuera de una fuente puntual, siguiendo la ley cuadrada inversa para una distancia igual al camino libre medio, después de lo cual encuentra una superficie límite que tiene un coeficiente de absorción α .

Este sonido directo no tiene ningún papel estableciendo el campo de sonido reverberante. El campo reverberante procede a construir sólo después de la primera reflexión.

Pero la primera reflexión absorbe parte de la energía total. Por ejemplo, si α es 0.2, sólo el 80% de la energía original está disponible para establecer el campo reverberante. En otros términos, separar fuera la energía sonora directa y realizar cálculos que tienen que hacer exclusivamente con el campo reverberante, nosotros debemos multiplicar W por el factor $(1 - \alpha)$.

Esto produce la ecuación:

$$E_{rev} = 4W/cR \quad *$$

Esto da la densidad media de energía del campo reverberante solo. Si nosotros permitiéramos $R=S\alpha/(1 - \alpha)$, la ecuación se vuelve:

$$E_{rev} = 4W(1 - \alpha)/cS\alpha$$

Note que la ecuación no tiene nada que realizar con la directividad de la fuente sonora. De los ejemplos anteriores, nosotros sabemos que la directividad de la fuente afecta la distancia crítica y el contorno de la zona límite entre el campo directo y reverberante. Pero la potencia es la potencia, y parecería dar lo mismo si un vatio acústico se radia en todas las direcciones desde una fuente puntual o concentrada por una bocina muy direccional. ¿Esto es realmente verdad? La ecuación asume que la proporción de energía se va después de que la primera reflexión es equivalente a $W(1 - \alpha)$. Suponga que nosotros tenemos una sala en que parte de la absorción se proporciona por una ventana abierta. Nuestra fuente sonora es una bocina muy direccional localizada cerca de la ventana. ¡Según la ecuación, la densidad de energía del campo reverberante será exactamente la misma si la bocina es apuntada dentro de la sala o fuera de la ventana! Esto es obviamente engañoso, y es un ejemplo bueno de la importancia de entender la base con respecto a las ecuaciones acústicas en lugar de caer meramente en los números.

* Con las medidas de la sala en metros y la potencia acústica en watts, el nivel del campo reverberante en dB es:

$$L_{REV} = 10 \log W/R + 126 \text{ dB. Ver Figura 5-21.}$$

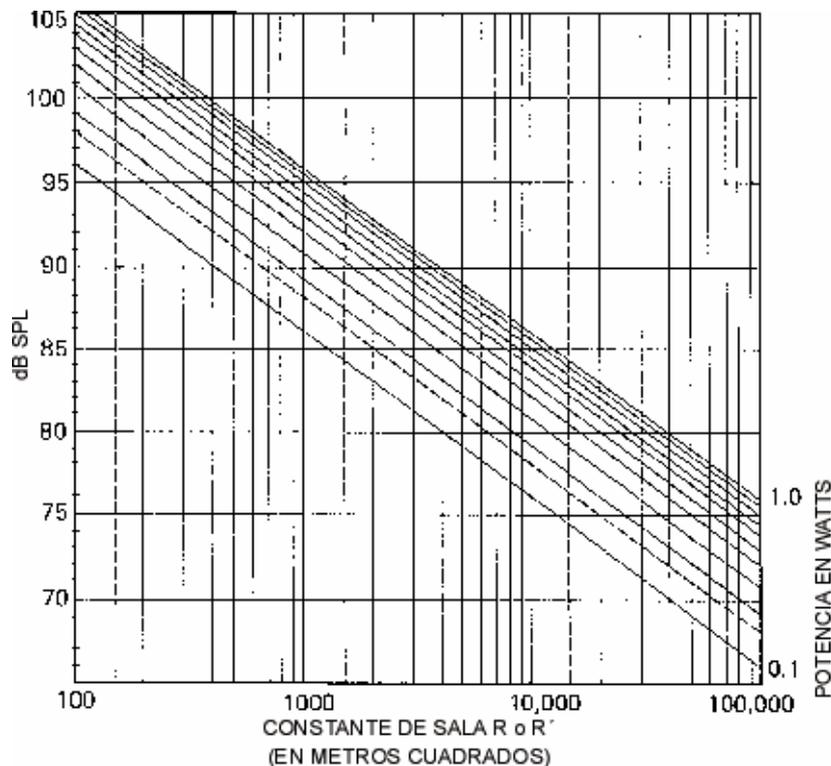


Figura 5-21. Sostener - estado del campo reverberante SPL vs. la potencia acústica y constante de sala.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Nosotros podemos estar de acuerdo que si la fuente de sonido en una sala dada es no - direccional, la ecuación para R es probablemente exacta para todos los propósitos prácticos. También parecería que la ecuación pudiera usarse para una sala en que la absorción es uniformemente distribuida en todas las superficies del límite, sin tener en cuenta la directividad de la fuente. Donde nosotros nos encontramos con el problema de tener la situación de una fuente direccional y absorción concentrada en las áreas restringidas. La descripción es exactamente aquella de una sala clásica de concierto en que casi toda la absorción se proporciona en el área del público y en que el diseñador del sistema de sonido hace el empeño para concentrar la potencia de los altavoces directamente en el público. Uno podría pasar por los cálculos laboriosos para llegar a la intensidad del campo reverberante tomando las reflexiones una por una. En la práctica, sin embargo, es normalmente suficiente hacer una suposición educada acerca de la cantidad de energía absorbida en la primera reflexión.

Nosotros podemos denotar el coeficiente de absorción de esta primera reflexión como α' . La energía que permanece después de la primera reflexión debe ser entonces proporcional a $(1 - \alpha')$. Esto nos permite escribir una expresión para la constante eficaz de la sala designada por el símbolo R' :

$$R' = S\alpha/(1 - \alpha')$$

La importancia de determinar la constante de la sala con tanta precisión como sea posible, no sólo nos permite calcular el nivel máximo de un sistema de sonido dado en una sala, sino también entra en nuestros cálculos de distancia crítica y la proporción del sonido directo - a - reverberante.

Aunque no explícitamente declarada, R' puede usarse en cualquiera de las ecuaciones y mapas en que la constante de la sala aparece, Figura 5-19, 21, y 22, por ejemplo. En la mayoría de las ubicaciones, la ecuación normal para R parecerá ser una aproximación razonable de la condición que existe. En cada caso, sin embargo, debe hacerse una inspección de la geometría de la sala y directividad de la fuente, y el diseñador debe intentar estimar lo que realmente pasará con la energía del sonido después de la primera reflexión. Las figuras 5-21 y 5-22 presentan algunas relaciones de campo reverberante en forma gráfica. Por ejemplo, si nosotros sabemos la eficacia de una fuente de sonido, y de su rendimiento de potencia acústica en vatios, podemos medir el nivel de presión de sonido en el campo reverberante y podemos determinar la constante de la sala directamente. O, si la sala no es accesible a nosotros, y una descripción de la sala nos permite que estimemos la

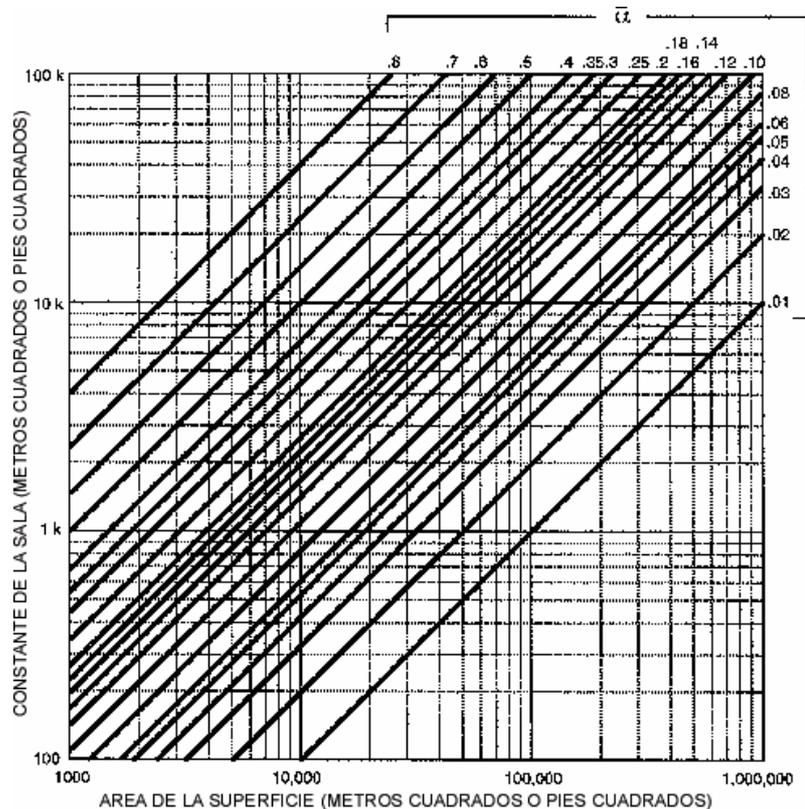


Figura 5-22 Constante de la sala contra el área de la superficie y α .

constante de la sala con un poco de confianza, entonces nosotros podemos estimar el nivel de presión sonora que será producido en el campo reverberante de la sala para una salida de potencia acústica dada.

La Figura 5-22 nos permite que determinemos por inspección la constante de la sala si nosotros conocemos α y el área de la superficie total. Este mapa puede usarse con unidades SI o inglesas.

Si la constante de la sala y el factor de directividad de un radiador son conocidos, la distancia crítica puede resolverse directamente de la siguiente ecuación:

$$D_c = .14\sqrt{QR}$$

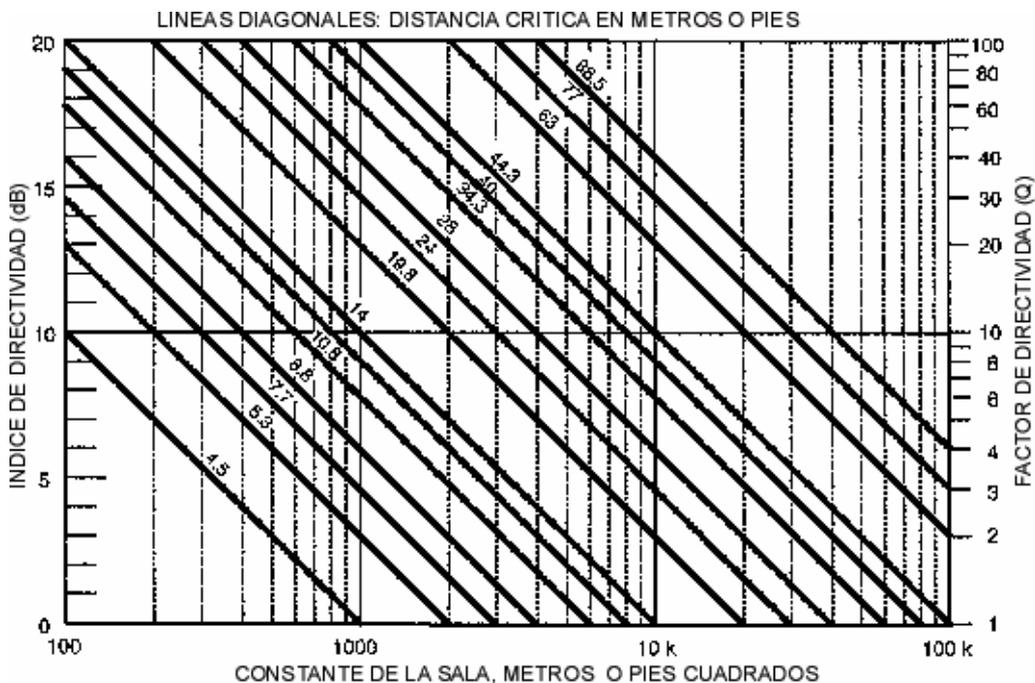
Esta ecuación puede usarse con unidades SI o inglés, y una solución gráfica para ella se muestra en la Figura 5-23. Es útil recordar que la relación entre el índice de directividad y la distancia crítica es en cierto modo muy similar a la ley cuadrada inversa: un aumento de 6 dB en la directividad (o "cuatro veces" el aumento en Q) corresponde a duplicar la distancia crítica. Uno podría pensar en esto como la "ley cuadrada directa."

Un segundo factor útil para tener presente es el índice de directividad de una persona hablando, asumiendo que el rango de 1 kHz a lo largo del eje mayor, es aproximadamente 3 dB.

Nosotros normalmente asumimos que el Q del hablador es 2 para la conveniencia en los cálculos del sistema sonoro.

Estos dos hechos pueden usarse para hacer estudios acústicos bastante exactos de salas existentes sin equipo. Todo lo que se necesita es la cooperación de una segunda persona—y un poco de experiencia. Haga a su ayudante repetir una palabra o contar despacio en un nivel tan similar como sea posible. Mientras él está haciendo esto, camine directamente fuera de él mientras escuche cuidadosamente la intensidad y calidad de su voz. Con un poco de práctica, es fácil descubrir la zona de transición del campo directo al campo reverberante. Repita el experimento empezando a una distancia considerable fuera del hablador, bien en el campo reverberante, y caminando hacia él. De nuevo, intente poner a cero en la zona de transición.

Tras dos o tres pruebas semejantes, usted puede decidir, por ejemplo, que la distancia crítica del hablador en esa sala particular es aproximadamente 4 metros. Usted sabe que un altavoz que tiene un índice de directividad de 3 dB también exhibirá una distancia crítica de 4 metros a lo largo de su eje mayor en esa sala. Para extender la distancia crítica a 8 metros, el altavoz debe tener un índice de directividad de 9 dB.



ECUACIONES: DISTANCIA CRITICA = $0.14\sqrt{QR}$ INDICE DE DIRECTIVIDAD (dB) = $10 \log Q$

NOTA: LAS ECUACIONES Y GRÁFICO PUEDEN USARSE CON UNIDADES INGLESAS O SI. PARA CONVERTIR LAS ESCALAS DEL GRÁFICO A VALORES MÁS CONVENIENTES PARA LOS CÁLCULOS EN SI, DIVIDA LAS DISTANCIAS CRÍTICAS POR 10 Y CONSTANTES DE LA SALA POR 100.

Figura 5-23. La distancia crítica como una función de la constante de la sala e índice de directividad o factor de directividad.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Cuando la distancia crítica es conocida, la proporción de sonido directo a reverberante a cualquier distancia a lo largo de ese eje puede calcularse. Por ejemplo, si la distancia crítica para un hablador es 4 metros, la relación de sonido directo a reverberante a esa distancia es la unidad.

A una distancia de 8 metros del hablador, el campo del sonido directo disminuirá en 6 dB en virtud de la ley del cuadrado inverso, considerando que el campo reverberante estará inalterado. A dos veces la distancia crítica, por consiguiente, nosotros sabemos que la proporción de sonido directo a reverberante debe ser -6 dB. A cuatro veces D_C , la proporción directo - a - reverberante será obviamente -12 dB.

Los Modelos estadísticos vs. el Mundo Real

Nosotros declaramos antes que un nivel de confianza de aproximadamente 10% nos permitió simplificar significativamente nuestros cálculos de la sala. Por la mayor parte, esto es verdad; sin embargo, hay ciertos ambientes en que los errores pueden ser bastante grandes, si el modelo estadístico se usa. Éstas son típicamente salas que están acústicamente muertas y tienen los techos bajos respecto a su longitud y ancho. Los salones de baile de un hotel y las salas grandes de reunión son ejemplos de esto. Incluso un estudio grande de grabación Pop de dimensiones más regulares puede estar bastante muerto para que el conjunto de reflexiones tenga necesidad de establecer un campo reverberante difuso simplemente no puede existir. En general, si el coeficiente de absorción promedio en una

sala es aproximadamente 0.2, entonces un campo reverberante difuso no existirá.

Lo que normalmente se observa en tales salas es la información así mostrada en la Figura 5-24.

Peutz (9) ha desarrollado una ecuación empírica que le permitirá a un diseñador estimar la pendiente aproximada de la curva de atenuación más allá de D_C en las salas con techos relativamente bajos y los tiempos de reverberación bajos:

$$\Delta = \frac{0.4\sqrt{V}}{h T_{60}} \text{ dB}$$

En esta ecuación, D representa el adicional caer - fuera de nivel en dB por duplicar la distancia más allá de D_C . V es el volumen en metros³, h es la altura del techo en metros, y T_{60} es el tiempo de reverberación en segundos.

En unidades inglesas (V en pie³ y h en pies), la ecuación es:

$$\Delta = \frac{0.22\sqrt{V}}{h T_{60}} \text{ dB}$$

Como un ejemplo, asumimos que tenemos una sala cuya altura es 3 metros y cuya longitud y ancho son 15 y 10 metros. Permítanos asumir que el tiempo de reverberación es un segundo. Entonces:

$$\Delta = \frac{0.4\sqrt{450}}{3 (1)} = 2.8 \text{ dB}$$

Así, más allá de D_C nosotros observaríamos un adicional caer - fuera de nivel de aproximadamente 3 dB por duplicar la distancia.

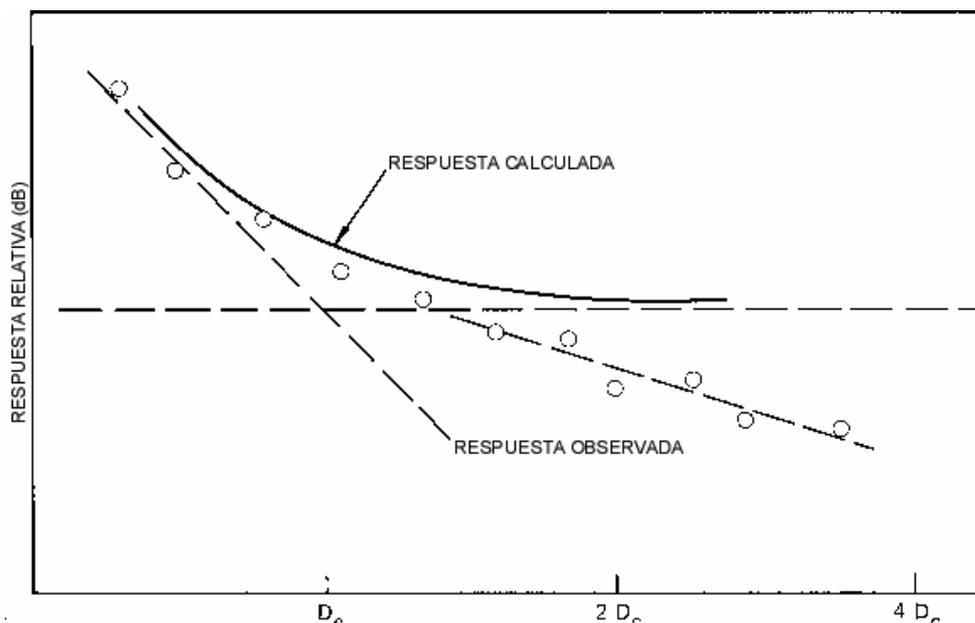


Figura 5-24. Atenuación con la distancia en una sala relativamente muerta.

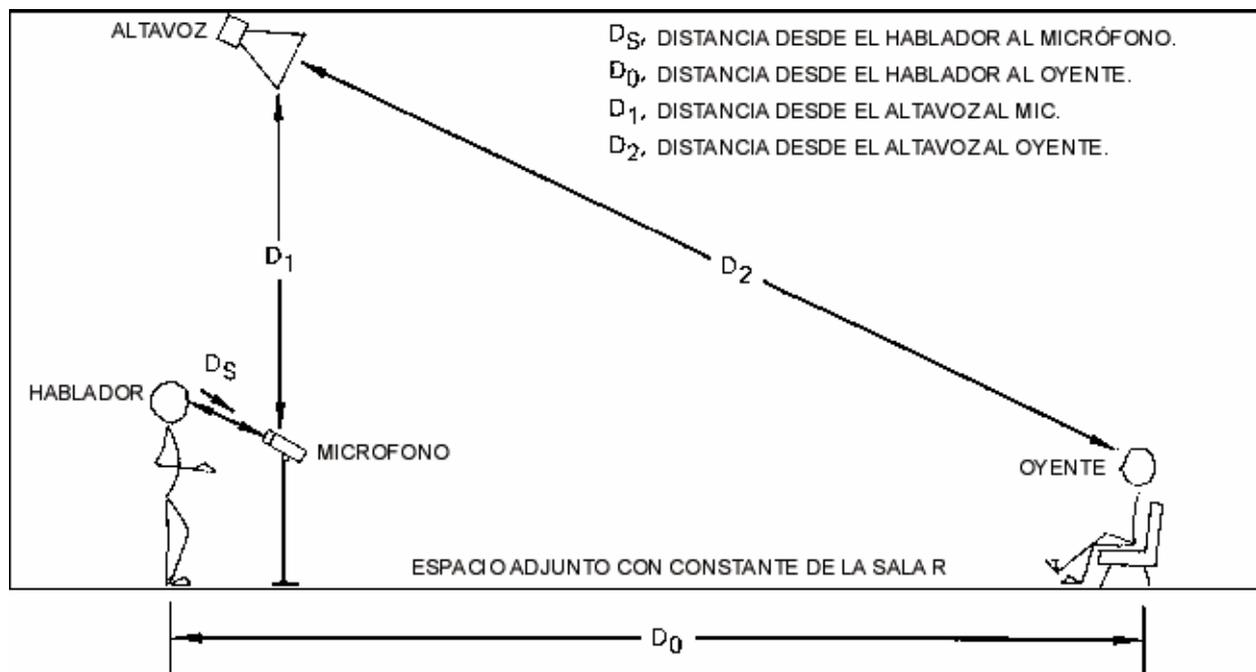
Capítulo 6: La conducta de Sistemas de Sonido Dentro de un edificio

Introducción

Los cinco capítulos precedentes han proporcionado el fundamento con el cual se construye este capítulo. El "arte fino y ciencia" del refuerzo de sonido ahora empieza a tomar forma, y muchos lectores que han trabajado pacientemente a través de los primeros capítulos empezarán a apreciar pronto las disciplinas que se han enfatizado.

La fecha en que el refuerzo del sonido creció de "dirigirse al público por conjetura" a un proceso metódico en que la característica técnicas de ejecución se trabaja de antemano fue marcado por la publicación en 1969 de un papel

titulado "La Ganancia de un Sistema de Sonido", por C. P. y R. E. Boner (4). Describe un método de calcular la ganancia potencial de un sistema de sonido, y ese método se ha vuelto una parte fundamental de diseño del sistema de sonido moderno. La discusión siguiente esta basada en el papel de Boner. Se extienden ciertos puntos, y se dan ejemplos que requiere cálculos más complicados que aquéllos en el estudio original. También discutida es la relación entre la ganancia teóricamente del sistema lograble y los parámetros prácticos de operación de sistemas de sonido típicos de interiores.



EL SISTEMA "DELTA" ES DIFERENTE EN EL NIVEL DE SONIDO ENTRE LA POSICIÓN DEL MICRÓFONO CON EL SISTEMA APAGADO Y LA POSICIÓN DEL OYENTE CON SISTEMA ENCENDIDO. EL DELTA ES INDEPENDIENTE DE D_s .

LA "GANANCIA DEL SISTEMA" EN LA POSICIÓN DEL OYENTE ES DIFERENTE EN EL NIVEL DE SONIDO ENTRE EL SISTEMA ENCENDIDO Y EL SISTEMA APAGADO, NOTE QUE ESA GANANCIA VARÍA CON LOS CAMBIOS EN D_s .

Figura 6-1. Un sistema de sonido interior.

La Realimentación acústica y Ganancia Potencial de un Sistema

Así como en el caso al aire libre estudiado antes, si nosotros tenemos una combinación de micrófono / amplificador / altavoz en la misma sala y gradualmente se pone la ganancia del amplificador a un punto próximo a la realimentación sostenida, la respuesta de frecuencia eléctrica del sistema cambia con la puesta de ganancia. El efecto es el resultado de un camino de realimentación acústica entre el altavoz y el micrófono.

Cuando una persona habla en el micrófono, el micrófono no sólo tiene noticias del sonido directo del hablador, sino también del campo reverberante producido por el altavoz.

El propósito de usar los altavoces de calidad superior y micrófonos que tienen las características de respuesta plana, y ecualización del sistema de sonido (aparte de lograr la respuesta tonal deseada) es aplanar todo los puntos de realimentación potencial es para que ellos sean uniformemente distribuidos por el rango de frecuencia audible. Cuando esto se ha hecho, debe haber tantos puntos de realimentación negativos como puntos de realimentación positivos, y los puntos de realimentación positivos deben alcanzar el nivel de inestabilidad en casi la misma ganancia del sistema.

Nosotros podríamos esperar este promedio de semejante manera que el nivel producido por el altavoz que alcanza el micrófono nunca puede ser mayor que el producido por el hablador sin causar realimentación sostenida. En otros términos, asumimos que la ganancia extra proporcionadas por todas los picos de realimentación positiva, simplemente está equilibrada por la pérdida causada por todas las pendientes de realimentación negativas.

Si el criterio de Boner para la geometría del sistema óptimo se sigue, el micrófono estará cerca del hablador para que tenga noticias del sonido principalmente directo del hablador. Será bastante lejos del altavoz para estar bien en el campo reverberante del altavoz, para que el sonido directo del altavoz no sea un factor apreciable activando la realimentación del sistema. Asumiendo que los oyentes también están en el campo reverberante del altavoz, se sigue que el nivel del sonido en el área de escucha con el sistema encendido no puede ser mayor que el del hablador solo en la posición del micrófono con el sistema apagado. Usando el concepto delta del sistema de Boner, la posición a ganancia máxima corresponde a un delta de unidad. (El delta se define como la diferencia en

decibelios entre el nivel del sonido al micrófono del sistema con el sistema apagado y el nivel en el área del público con el sistema encendido. Vea Figura 6-1).

Aunque nosotros hemos descrito éstos como las condiciones de ganancia potencial máxima del sistema, es posible en la práctica lograr un delta mayor que la unidad. Por ejemplo, si un micrófono direccional se usa puede discriminar contra el campo reverberante y puede permitir otros 3 a 4 dB de ganancia del sistema. Otra posibilidad es poner al oyente en el campo directo del altavoz, permitiendo un extenso aumento en la ganancia del sistema. Si el nivel del campo reverberante es más bajo en el área de ejecución que en el área de escucha, resulta también una ganancia adicional del sistema. Esta situación se describe por Boner como una constante de la sala en el área del micrófono diferente que en el área de asientos. Pueden notarse los resultados similares en salas que tienen áreas grandes de suelo, techos relativamente bajos, y sustancial absorción del sonido. En las tales salas, como nosotros hemos visto, el sonido de una fuente puntual tiende a disminuirse más allá de D_c en una proporción de 2 o 3 dB por cada duplicación de distancia, permaneciendo constante en el nivel.

Aún otra manera de aumentar la ganancia es suprimir eléctricamente las frecuencias individuales de realimentación positiva con filtros del ancho de banda muy estrechos. ¡Si uno pudiera encauzar toda la energía en las frecuencias de realimentación negativa, la ganancia potencial del sistema se pondría teóricamente infinita! Desgraciadamente, el camino de realimentación acústica no es bastante estable para permitir este grado de ecualización de banda - estrecha.

En otras situaciones, una puesta de ganancia se alcanza cuando la oscilación sostenida ocurre. Por definición, se alcanza la ganancia máxima del sistema simplemente debajo de este punto. Sin embargo, el sistema no puede operarse satisfactoriamente justo a un punto debajo de la oscilación debido a su respuesta molesta del filtro - peine y el zumbido prolongado causado por los picos positivos de realimentación. Para volver a la respuesta eléctrica bastante plana y libertad del zumbido audible, normalmente se recomienda que un sistema propiamente ecualizado se opere aproximadamente 6 dB debajo de su punto de ganancia máxima. Incluso un sistema detalladamente puesto a punto que usa filtros de banda - estrecha raramente puede operarse a ganancias mayores que 3 dB debajo de la oscilación sostenida.

Los Cálculos de Campo de sonido para una Sala Pequeña

Considere la sala mostrada en la Figura 6-2. Ésta es una típica sala pequeña de reunión o aula que tiene un volumen menor de 80 m^3 . El coeficiente de absorción promedio α es 0.2. El área total de la superficie es 111 m^2 . Por consiguiente, la constante de la sala es 28 m^2 .

Del capítulo anterior, nosotros sabemos calcular la distancia crítica para una persona que habla (el índice de directividad nominal de 3 dB).

En el ejemplo dado, D_c para una fuente que tiene un índice de directividad de 3 dB es 1 metro.

La figura también muestra las relaciones geométricas entre un hablador, un oyente, el micrófono del hablador, y un altavoz simple montado en la pared que tiene un índice de directividad de 6 dB a lo largo del eje apuntado al oyente. Se asume que el micrófono es omnidireccional.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Paso 1: Cálculos de niveles relativos de sonido producidos por el hablador al micrófono y oyente.

Nosotros empezamos con el sistema del sonido apagado. Aunque los cálculos que usan sólo niveles relativos pueden realizarse, nosotros insertaremos los números típicos para conseguir una percepción mejor para el proceso involucrado.

El micrófono está .6 metros del hablador, y a esta distancia, el sonido directo produce un nivel de aproximadamente 70 dB. Ya que D_c para el hablador es solamente 1 metro, la distancia del micrófono de .6 metro queda en la zona de transición entre el campo directo y el campo reverberante del hablador. Refiriéndose a la Figura 6-3, nosotros notamos que los niveles combinados de sonido del campo reverberante y el campo directo a una distancia de .6 metro deben ser aproximadamente 1 dB mayor que el campo directo exclusivamente. Por consiguiente, ya que nosotros sólo hemos asumido un nivel de 70 dB para el campo directo, el nivel del sonido total al micrófono debe ser 71 dB.

Luego, nosotros usamos un procedimiento similar para calcular el nivel del sonido en la posición del oyente producido por un solo hablador:

El oyente se localiza 4.2 metros del hablador, más de 3 veces la distancia crítica de 1 metro, y por consiguiente, bien en el campo reverberante del hablador. Nosotros sabemos que el nivel del sonido en cualquier parte del campo reverberante es igual al producido exclusivamente por el campo directo a la distancia crítica. Si el

nivel producido por el sonido directo es 70 dB a una distancia de .6 metros, debe ser 4.6 dB menos en una distancia de 1 metro, o 65.4 dB, y el nivel del campo reverberante también debe ser 65.4 dB. El nivel del sonido producido por el hablador, en la posición del oyente, es por consiguiente 65.4 dB.

A estas alturas, permítanos considerar dos cosas sobre el proceso que nosotros estamos usando. Primero, la definición de distancia crítica implica que el nivel del sonido será medido con un micrófono de incidencia al azar. (Por ejemplo, nosotros hemos escogido un micrófono de sistema no - direccional para que "oiga" el mismo campo del sonido como el indicado por nuestros cálculos).

Segundo, nosotros hemos trabajado con fragmentos de decibelios para evitar confusión, pero es importante recordar que los límites de confianza de nuestras ecuaciones no se extienden más allá de valores de decibelio entero, y que nosotros debemos redondear la respuesta al final de nuestros cálculos.

Paso 2: El campo del sonido producido exclusivamente por el altavoz.

Ahora permítanos regresar a nuestro ejemplo y calcular el campo de sonido producido por el altavoz. Nuestro micrófono del sistema todavía esta apagado y nosotros estamos usando una señal de prueba imaginaria para los cálculos. Podemos ahorrar tiempo asumiendo que la señal de prueba produce un nivel de sonido al micrófono de 71 dB—el mismo previamente asumido para el hablador.

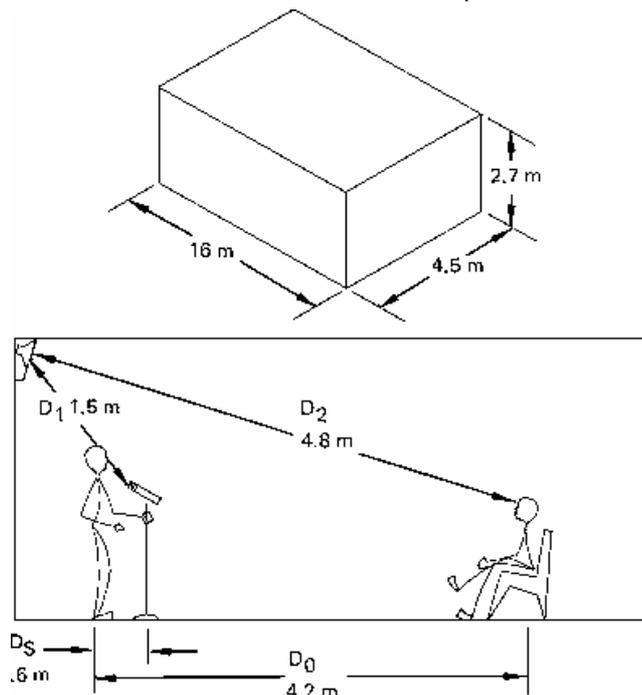


Figura 6-2. Cálculos de ganancia de sistemas interiores de sonido.

El altavoz está montado en la intersección de pared y techo. Por consiguiente, se asume que su índice de directividad es 6 dB. En esta sala, la distancia crítica para el altavoz es 1.4 metros. Esto casi es igual que la distancia del altavoz al micrófono. Ya que el micrófono se localiza a la distancia crítica del altavoz, y ya que nosotros hemos asumido un nivel de 71 dB para el campo del sonido total, el campo directo al micrófono debe igualar 71 dB menos 3 dB, o 68 dB.

El oyente está 4.8 metros del altavoz (más de 3 veces la distancia crítica) y por consiguiente, bien en el campo reverberante del altavoz. Nosotros sabemos que el nivel en el campo reverberante debe igualar el nivel del campo directo solo en la distancia crítica. El nivel del sonido en la posición del oyente producida por el altavoz debe, por consiguiente, ser 68 dB.

Paso 3: La ganancia acústica potencial es ahora considerada.

Ya que nosotros preparamos el ejemplo deliberadamente para representar la condición de ganancia teórica máxima para un sistema propiamente ecualizado, nosotros podemos usar estas mismas figuras para calcular la diferencia en el nivel en la posición del oyente entre el hablador solo y el hablador que opera con el sistema encendido. Hemos calculado que el hablador solo produce un nivel en la posición del oyente de 65.4 dB. También hemos calculado que el nivel producido por el altavoz en la posición del oyente es 68 dB. La ganancia acústica del sistema para este juego específico de condiciones debe ser la diferencia entre los dos, o sólo 2.6 dB. Obviamente semejante sistema de refuerzo de sonido no vale la pena.

Note que el sistema de ganancia acústica es dependiente en la distancia del micrófono al hablador.

Un concepto más general es eso del delta del sistema.

Según el papel de Boner, el Δ teórico máximo de un sistema propiamente ecualizado es la unidad. En nuestro ejemplo, Δ trabaja para ser -3 dB. ¿Por qué?

Boners enfatiza que para la ganancia máxima del sistema el micrófono debe estar en el campo directo del hablador y en el campo reverberante del altavoz. ¡Pero en nuestro ejemplo, el micrófono no está realmente en el campo directo del hablador y se localiza en la distancia crítica del altavoz! Nosotros podríamos mover el micrófono a una distancia .3 metros del hablador para lograr más ganancia, y podríamos usar un altavoz más direccional. Esto produciría un aumento de 3dB en Δ y una ganancia acústica potencial en la posición del oyente de aproximadamente 9 dB.

En la práctica, sin embargo, nosotros no podemos operar el sistema a un punto sólo debajo de la realimentación sostenida.

Aun cuando modificamos el sistema como se describe anteriormente, nuestra ganancia práctica activa será sólo de aproximadamente 3 dB.

Nuestros cálculos demuestran lo que podríamos meramente suponer de antemano: en una sala pequeña, dónde un hablador solo, puede producir fácilmente un nivel de 65 dB a lo largo de la sala, un sistema de sonido es innecesario y de ningún beneficio práctico.

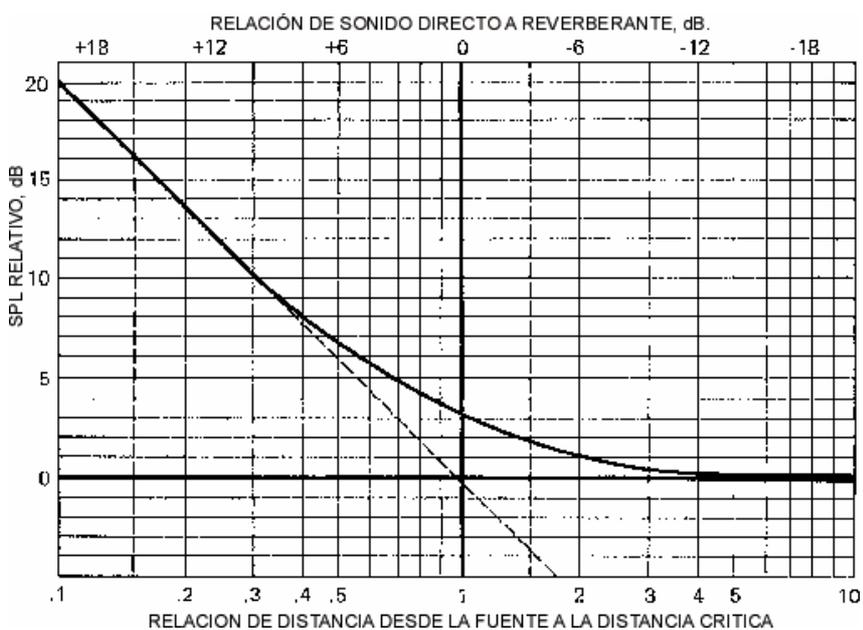


Figura 6-3. SPL relativo contra la distancia de la fuente respecto a la distancia crítica.

Cálculos para una sala Mediana

Considere una situación más típica (y más complicada) en que el sistema de sonido se usa en una sala más grande y en que un micrófono direccional es empleado. Las figuras 6-4 y 6-5 muestran una sala que tiene un volumen de 918 m^3 , una área de la superficie total de 630 m^2 y $\alpha = 0.15$.

El primer paso es calcular la constante de la sala, y nosotros haríamos bien para examinar la distribución real de material absorbente en la sala.

El capítulo 5 explica por qué la constante eficaz de la sala R' en una ubicación particular

puede variar substancialmente de la figura dada por la ecuación $R = S \alpha / (1 - \alpha)$.

Bastante que complica el ejemplo, sin embargo, asume que la ecuación realmente trabaja y que la constante de la sala es aproximadamente 110 m^2 .

El próximo paso es calcular las distancias críticas para el hablador y el altavoz. Ya que el altavoz no tiene un modelo de radiación uniforme, debemos calcular su distancia crítica al ángulo particular en que nosotros estamos interesados. La Figura 6-5 muestra las distancias involucradas y las relaciones geométricas entre el hablador, micrófono, altavoz y oyente.

- $V = 918 \text{ m}^3$
- $S = 630 \text{ m}^2$
- $mfp = 6 \text{ m}$
- $T = 1.5 \text{ seg.}$
- $\alpha = 0.15$
- $S\alpha = 94.5 \text{ m}^2$
- $R = 111 \text{ m}^2$

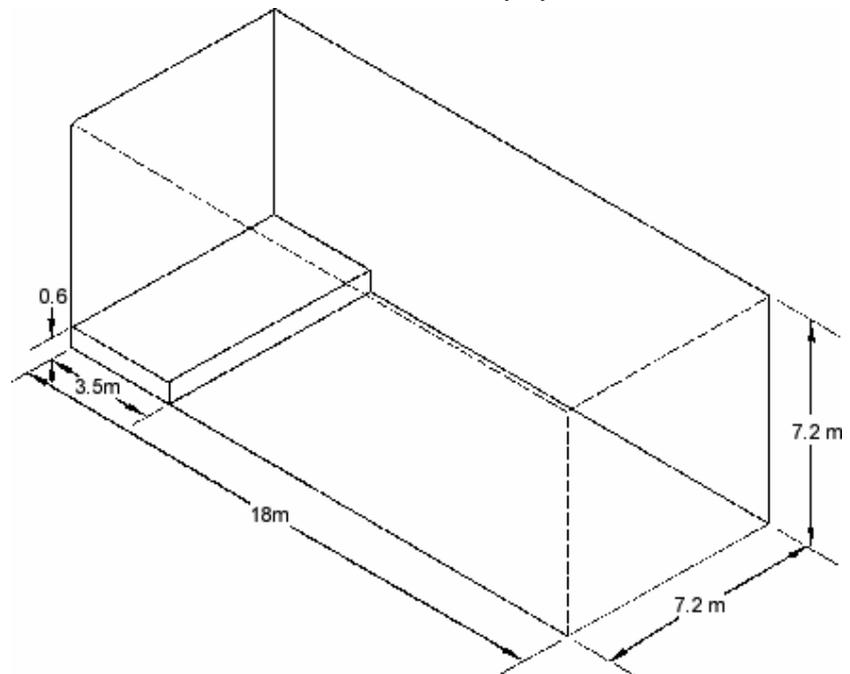


Figura 6-4. Un sistema de sonido en una sala mediana.

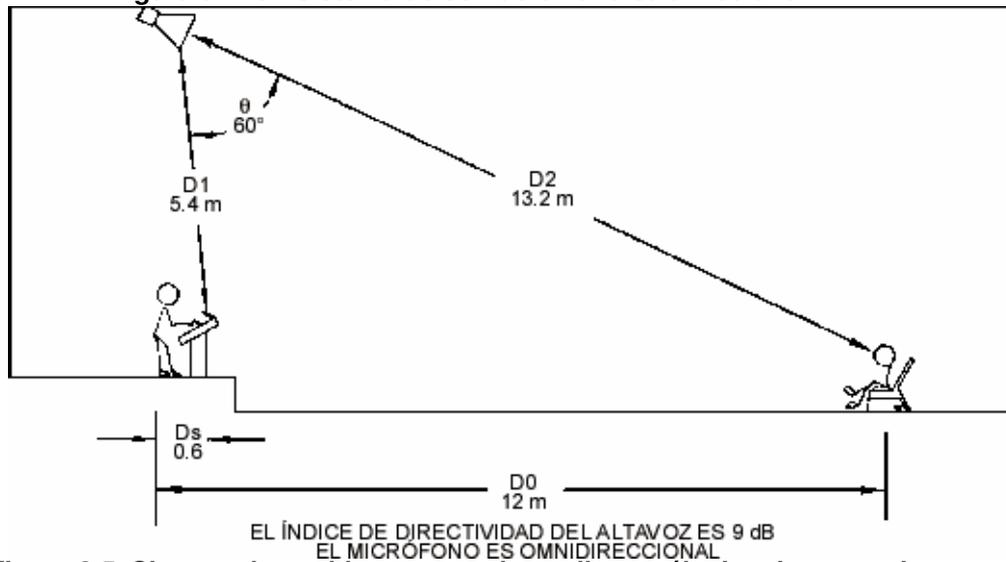


Figura 6-5. Sistema de sonido en una sala mediana, cálculos de ganancia.

Se asume que el altavoz tiene un índice de directividad a lo largo de su eje primario de 9 dB en el rango de frecuencia de interés. De la Figura 6-6 encontramos la distancia crítica correspondiente de 4.2 metros.

Se asume que el índice de directividad del altavoz a un ángulo vertical de 60° es -3 dB, con una distancia crítica correspondiente de 1 metro. El hablador solo tiene que un índice de directividad de 3 dB y su distancia crítica debe ser por consiguiente 2 metros.

Nuestro próximo paso calculando la ganancia del sistema es encontrar la diferencia en el nivel producido por un hablador solo en la posición del oyente como contrastado con la posición del micrófono. En este ejemplo el oyente está 12 metros del hablador y el micrófono está de nuevo a .6 metros.

La distancia crítica del hablador de 2 metros es más de 3 veces la distancia del micrófono. Por consiguiente, el micrófono está bien en el campo directo del hablador. El oyente está más de 3 veces la distancia crítica y está bien en el campo reverberante del hablador solo. Poniendo el nivel producido por el hablador solo a 70 dB para una distancia de .6 metros, nosotros calculamos que el campo directo a D_C debe ser 60 dB, y ya que el campo reverberante también

debe igualar 60 dB, el nivel producido por el hablador solo en la posición del oyente es 60 dB.

El tercer paso es hacer los cálculos similares exclusivamente para el altavoz. El oyente se localiza en el eje principal del altavoz y está más de 3 veces la distancia crítica de 4.2 metros. El micrófono se localiza en un ángulo vertical de 60 grados del eje principal del altavoz, y también está más de 3 veces la distancia crítica (a este ángulo) de 1 metro. Se localizan el oyente y el micrófono en el campo reverberante del altavoz.

Si el nivel del sonido producido por el altavoz al micrófono puede ser no mayor que 70 dB (el mismo nivel como el hablador) entonces el nivel producido por el altavoz en la posición del oyente también debe ser 70 dB, ya que los dos están en el campo de reverberante.

Habiendo establecido estas relaciones nosotros sabemos que el hablador produce un nivel en la posición del oyente de 60 dB con el sistema del sonido apagado y 70 dB con el sistema del sonido encendido, o una ganancia potencial máxima de 10 dB. Permitiendo 6 dB de headroom en un sistema propiamente ecualizado, nosotros todavía vemos 4 dB de ganancia en la posición del oyente, y puede decirse que el sistema del sonido proporciona un aumento pequeño pero perceptible en el nivel del sonido.

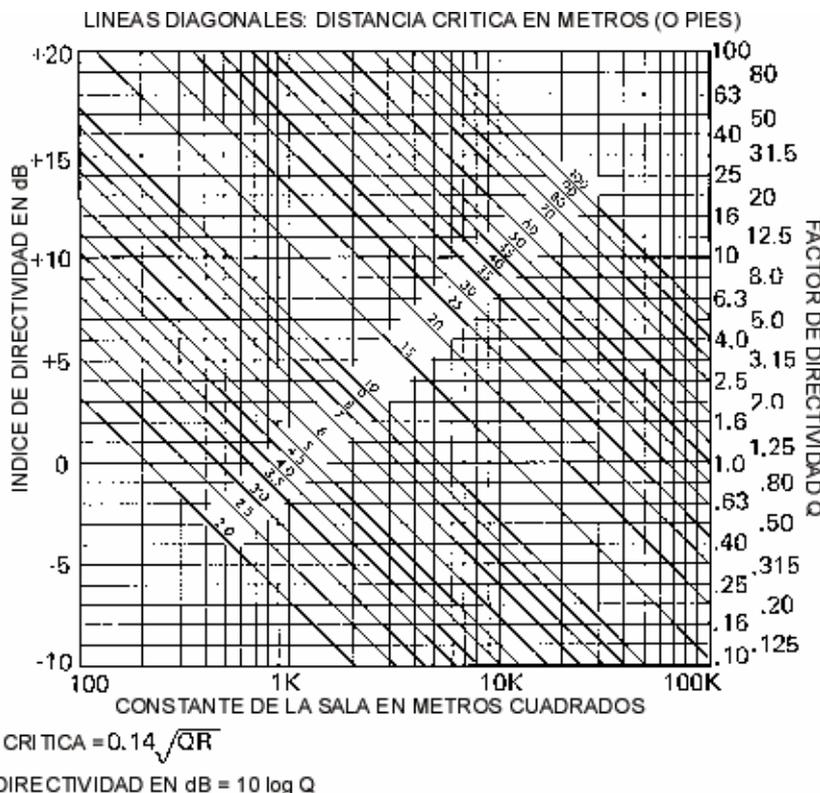


Figura 6-6. La distancia crítica como una función de la constante de la sala y el índice de directividad o factor de directividad.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Sin embargo, todos los cálculos precedentes han asumido que el micrófono es una unidad omnidireccional. ¿Qué pasa si nosotros lo reemplazamos por un micrófono direccional? La figura 6-7 muestra las relaciones geométricas adicionales necesitadas para calcular el aumento en la ganancia producida por un micrófono direccional.

Note que la distancia del hablador al micrófono todavía es .6 metros y que se asume que el hablador está localizado a lo largo del eje principal del micrófono. El altavoz se localiza 5.4 metros del micrófono a lo largo de un ángulo de 75° del eje principal.

La Figura 6-7 también muestra un modelo típico cardioide para un micrófono direccional. El índice de directividad de tal micrófono a lo largo de su eje principal es aproximadamente 5 dB.

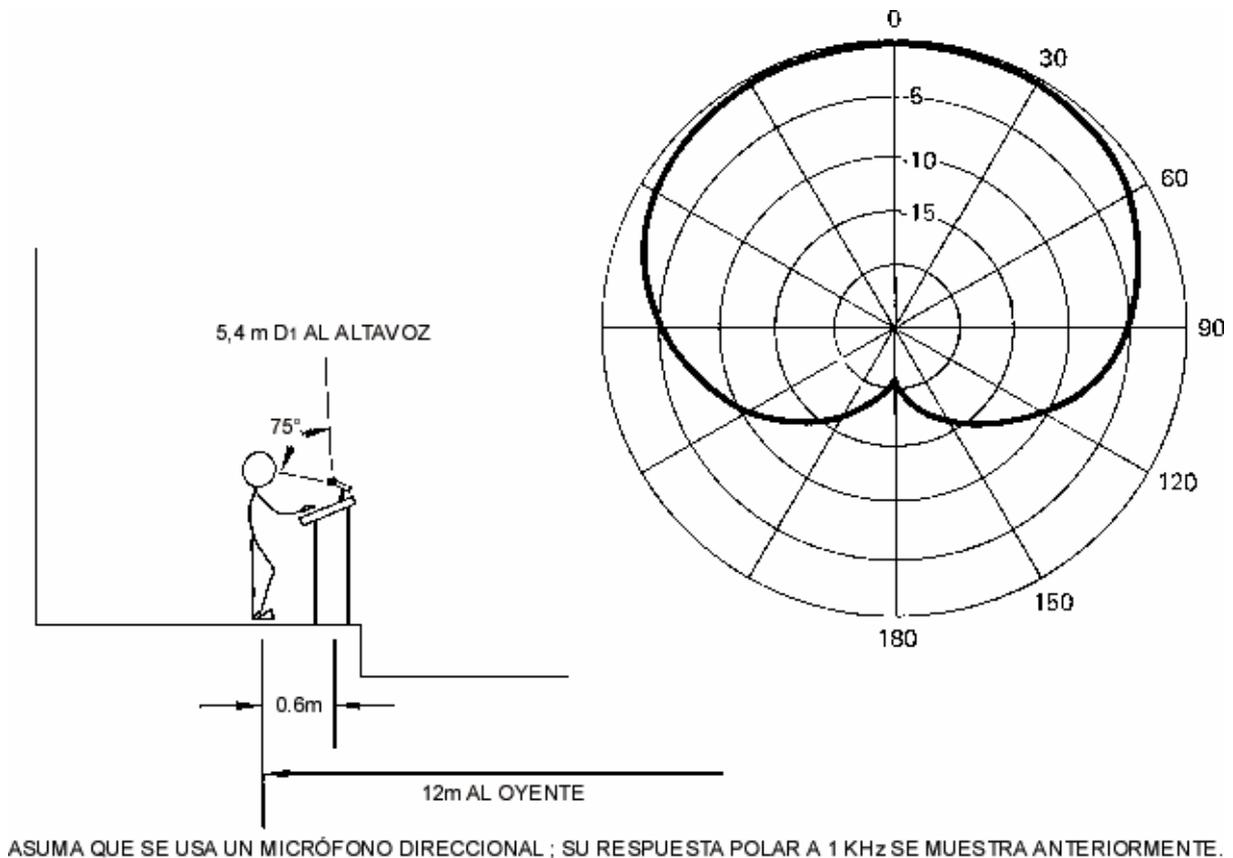
Ya que el hablador se localiza en el eje principal del micrófono, él "oye" su señal 5 dB más ruidosamente que la incidencia al azar del campo reverberante. En teoría esto debe aumentar la ganancia potencial del sistema por un factor de 5 dB.

Pero nosotros también debemos considerar las características direccionales del micrófono con relación al altavoz. Si el índice de directividad del

micrófono a 0° es 5 dB, el modelo polar indica que su índice de directividad a 75° debe ser aproximadamente 3 dB. Esto nos dice que aunque el altavoz está 75° fuera del eje principal del micrófono, todavía proporciona 3 dB de discriminación a favor del sonido directo del altavoz.

Nosotros sabemos que el índice de directividad del altavoz es -3 dB a lo largo del eje entre el altavoz y el micrófono. También sabemos que el índice de directividad del micrófono a lo largo de este eje es +3 dB. Los índices de directividad combinados a lo largo de este eje deben por consiguiente, ser 0 dB y podemos encontrar la distancia crítica equivalente de la Figura 6-6.

La distancia crítica combinada de altavoz y micrófono a lo largo de su eje común es aproximadamente 1.3 metros. Ya que la distancia entre los dos es más de 3 veces esta figura, el micrófono todavía queda dentro del campo reverberante del altavoz. Usando el micrófono direccional debe permitir por consiguiente un aumento en la ganancia potencial del sistema de aproximadamente 5 dB antes de la realimentación. (En la práctica, poco más de 3 o 4 dB pueden lograrse de ganancia adicional.)



ASUMA QUE SE USA UN MICRÓFONO DIRECCIONAL ; SU RESPUESTA POLAR A 1 KHz SE MUESTRA ANTERIORMENTE.

Figura 6-7. Características de un micrófono cardioide.

Cálculos para un Sistema de Altavoz Distribuido

La figura 6-8 muestra una sala de reunión de moderado - tamaño o sala de conferencia. Su volumen es 485 m^3 , el área de la superficie es aproximadamente 440 m^2 , y α es 0.2 cuando la sala está vacía. Para un hablador solo en la sala vacía, R es 110 m^2 . Sin embargo, cuando la sala está totalmente ocupada, α aumenta a 0.4 y la constante de la sala correspondiente es 293 m^2 . Nosotros calculamos la distancia crítica para el hablador solo (el índice de directividad de 3 dB) para 2 metros en una sala vacía y 3.4 metros cuando la sala está llena.

La sala proporciona un diagrama de sistema de sonido en la Figura 6-9. Cuarenta altavoces están montados en el techo centrados a 1.5 metro para dar un modelo uniforme arriba de la región de 4 kHz.

La cobertura a nivel de la oreja varía sólo 2 o 3 dB a través del área del suelo.

Las definiciones usuales de distancia crítica y la proporción directo - a - reverberante es ambigua para este tipo de formación de altavoces. Aquí, sin embargo, nosotros sólo

estamos interesados en la ganancia acústica potencial, y las ambigüedades pueden ignorarse. Nosotros ya hemos declarado que la formación de altavoces extiende un uniforme manto de sonido por la sala. Los componentes direccionales y temporales relativos del campo de sonido no entran en los cálculos de ganancia.

Un micrófono omnidireccional se localiza .6 metros del hablador, menos de $1/3 D_C$. No importa cuántas personas están presentes, el micrófono está en el campo directo del hablador.

El oyente más lejano está 9 metros del hablador, más de tres veces D_C cuando la sala está vacía, y casi tres veces D_C cuando la sala está llena.

Si el hablador solo produce 70 dB de nivel de sonido al micrófono con el sistema apagado, y si el nivel del sonido amplificado puede no ser mayor que 70 dB al micrófono con el sistema encendido, entonces el nivel máximo es en todas partes de la sala es 70 dB.

$$V = 485 \text{ m}^3$$

$$S = 440 \text{ m}^2$$

$$\bar{\alpha} = 0.2$$

$$R = 110 \text{ m}^2$$

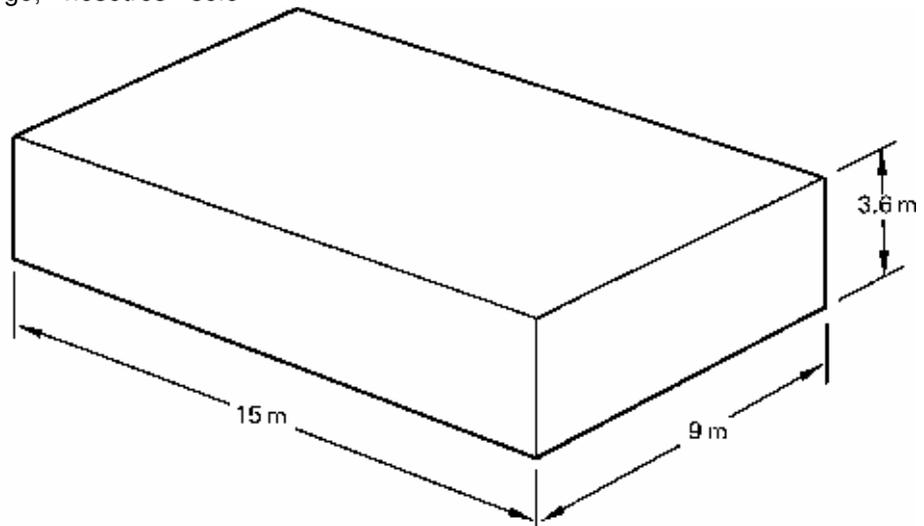
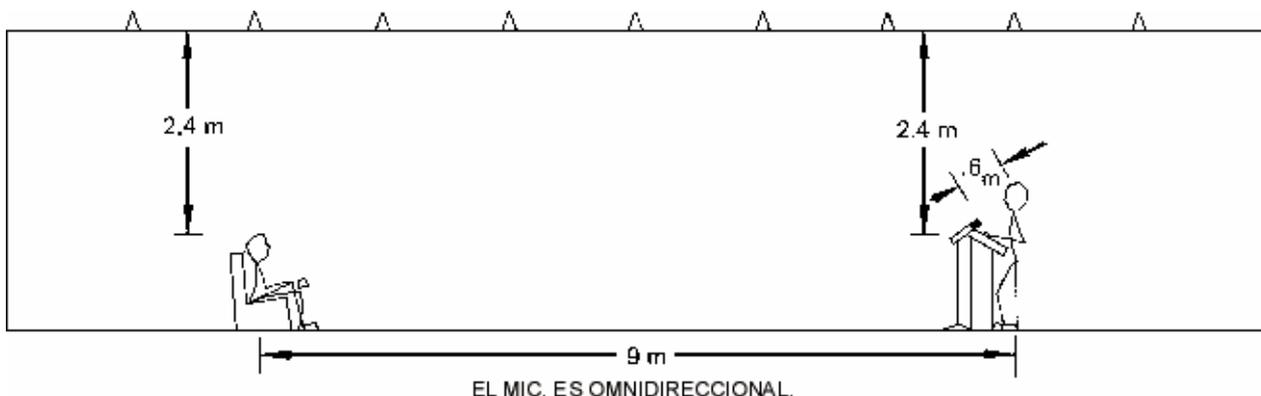


Figura 6-8. Una sala de conferencia de moderado tamaño.



EL MIC. ES OMNIDIRECCIONAL.
EL ALTAVOZ PRODUCE CAMPO DE SONIDO UNIFORME AL NIVEL DE LA OREJA.

Figura 6-9. El sistema de sonido en una sala mediana de conferencia.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

De nuestros cálculos de distancias críticas, vemos que el hablador solo producirá un nivel de sonido al oyente de 59 dB en una sala vacía y aproximadamente 55 dB con un auditorio lleno. Para un delta activo utilizable de -6 dB, la ganancia acústica calculada en la posición del oyente es aproximadamente 5 dB en una sala vacía y aproximadamente 9 dB, llena.

¿Nosotros podemos conseguir más ganancia directamente apagando el altavoz sobre el micrófono? No en una serie densamente comprimida como esta. Los altavoces están montados juntos para producir un campo de sonido uniforme al nivel de la oreja. Como resultado, la contribución de un altavoz es relativamente pequeña. Sin embargo, apagando *todos* los altavoces en el área de ejecución y cubriendo solamente al público, un poco de aumento en la ganancia del sistema puede ser obtenida.

En el ejemplo dado, se asume que cada altavoz tiene un índice de directividad en la región de frecuencia de habla de +6 dB a 0°, +3 dB a 45°, y 0 dB a 60°. Suponga que usamos sólo los 25 altavoces sobre el público y apagamos los 15 altavoces en el frente de la sala. En teoría, el aumento en la ganancia potencial es sólo 1 dB con un solo oyente o 2 dB cuando el área del público está llena.

Aun cuando nosotros permitimos la probabilidad que la mayoría del sonido directo se absorba por el público, es improbable que el aumento de ganancia será más de 3 dB.

Los cálculos exigidos para llegar a estas conclusiones son tediosos pero no difíciles. La contribución del sonido directo relativo de cada uno de los altavoces al micrófono y las ubicaciones del oyente son calculadas del conocimiento de modelos polares y distancias. Poniendo un rendimiento acústico arbitrario por altavoz, es entonces posible estimar el nivel de sonido producido a lo largo de la sala por el sonido generalmente reflejado (campo reverberante) y aquel producido por el sonido casi - directo.

Ganancia del sistema contra Respuesta de Frecuencia

En los ejemplos precedentes nosotros no hemos definido el rango de frecuencia en que los cálculos de ganancia serán efectuados. En muchos sistemas de sonido la razón principal para preocuparse por la ganancia del sistema es asegurarse que la voz de un persona puede amplificarse suficientemente para alcanzar un nivel cómodo en todas las partes del área. Por consiguiente, la banda de frecuencia más importante para calcular la ganancia es aquella

que contribuye principalmente a la inteligibilidad del discurso: la región entre 500 y 4000 Hz.

Debajo de 500 Hz la respuesta del sistema puede salvarse gradualmente, o atenuarse, sin degradar gravemente la calidad del discurso. Por encima de 4 kHz los sistemas de sonido de tienden a cuidarse de ellos mismos, debido al aumento en la absorción del sonido acústico global. A frecuencias muy altas, la mayoría de los ambientes son substancialmente absorbentes, el propio aire contribuye a la considerable absorción acústica y los sistemas de altavoces tienden a ponerse direccionales. Estos factores hacen muy raro encontrar frecuencias de realimentación muy por encima de 2500 Hz.

Para asegurarse que un sistema de refuerzo de sonido amplificará el discurso con éxito, es una buena idea hacer los cálculos de ganancia en por lo menos dos bandas de frecuencia. En un sistema bien - diseñado, si los cálculos son hecho para las regiones centradas en 1 kHz y 4 kHz, las oportunidades son, que no se encontrarán problemas imprevistos logrando la ganancia deseada del sistema.

Sin embargo, la región debajo de 500 Hz simplemente no puede ignorarse. La constante de la sala, la directividad del sistema de altavoz y el micrófono deben verificarse en el rango de 200 - 500 Hz para asegurarse que no hay desviaciones sustanciales de los cálculos hechos a 1 y 4 kHz. Si la sala tiene una absorción muy pequeña debajo de 1 kHz, y si el sistema de altavoz se vuelve no - direccional en esta región, puede ser imposible lograr la ganancia satisfactoria del sistema sin atenuarse severamente la región del medio - bajo. El resultado es un sistema que proporciona la inteligibilidad del discurso, pero que parece como un teléfono amplificado.

La Ecuación de Ganancia Interior

De las discusiones anteriores, nosotros podemos apreciar la complejidad del análisis de ganancia de sistema interior y la necesidad por calcular la atenuación de sonido con precisión a lo largo de un camino dado, de hablador o altavoz, notando cuando dejamos el campo directo y hacemos la transición en el campo reverberante. Si fuéramos a intentar establecer una ecuación de ganancia de sistema general, tendríamos una tarea muy difícil. Sin embargo, en el caso especial dónde el micrófono está en el campo directo del hablador, y el micrófono y el oyente están en el campo reverberante del altavoz, entonces la ecuación de ganancia del sistema se simplifica considerablemente.

Permítanos considerar tal sistema interior, primero con el sistema apagado, como muestra la Figura 6-10. Si el hablador produce un nivel L al micrófono, entonces el nivel producido al oyente será:

Nivel al oyente = $L - 20 \log (D_{ct}/D_s)$, dónde D_{ct} es la distancia crítica del hablador. La suposición hecha aquí es que el nivel al oyente esta completamente arriba del campo reverberante del hablador y que ese nivel quiere ser igual al cuadrado inverso para la componente D_{ct} .

Ahora, el sistema esta encendido, y la ganancia avanzada hasta el altavoz produce un nivel L al micrófono. Al mismo tiempo, el altavoz producirá el mismo nivel L al oyente, ya que micrófono y oyente están en el campo reverberante del altavoz.

Substrayendo los niveles al oyente entre el sistema encendido y el sistema apagado, nosotros tenemos:

$$\text{Diferencia} = L - [L - 20 \log (D_{ct}/D_s)]$$

o:

$$\text{Ganancia} = 20 \log D_{ct} - D_s$$

Finalmente, agregando un factor de seguridad de 6 dB:

$$\text{Ganancia} = 20 \log D_{ct} - 20 \log D_s - 6$$

Note que hay una sola variable, D_s , en esta ecuación; D_{ct} se fija más o menos por la directividad del hablador y las propiedades acústicas de la sala.

Hay muchos sistemas en que el micrófono puede ponerse en la zona de transición entre los campos directo y reverberante del hablador, o donde el oyente se localiza en la región de transición entre los campos directo y reverberante del altavoz. En éstos casos más complicados, la ecuación anterior no se aplica, y el diseñador debe analizar el sistema, encendido y apagado, bastante cuando pasamos por los tres ejemplos en el principio de este capítulo.

Midiendo la Ganancia del Sistema de Sonido

Midiendo la ganancia de un sistema de sonido en un campo normalmente se hace sobre una sola banda de frecuencias. Normalmente se especifica que se medirá la ganancia del sistema sobre la banda de ancho de una octava centrada a 1 kHz. Otra técnica común es usar ruido rosa que es entonces medido con la escala A. Una especificación típica para la ganancia del sistema de sonido podría leerse como sigue:

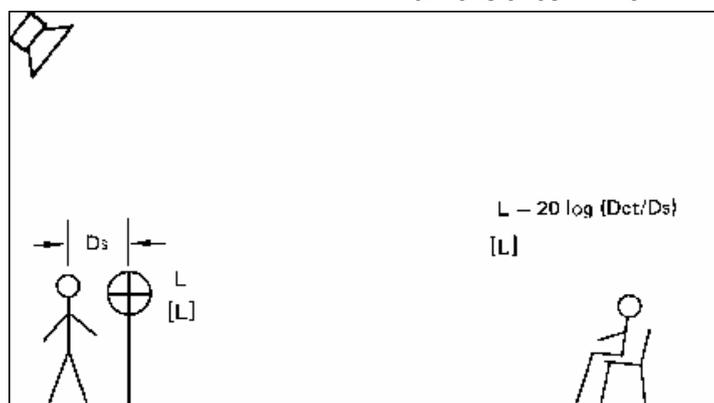
“El micrófono del facistol se usará en su posición normal. Un altavoz pequeño se montará en un soporte para simular a una persona que habla aproximadamente .6 metros del micrófono. La respuesta de este altavoz de prueba será bastante plana sobre el rango de 250 - 4000 Hz.”

“Con el sistema apagado, el altavoz de prueba se manejará con una señal de ruido rosa para producir un nivel de sonido de aproximadamente 80 dB(A) al micrófono del sistema. Este nivel se medirá con una medida de precisión, usando la escala “A”, con su micrófono inmediatamente adyacente al micrófono de sistema de sonido.”

“Después de notar el nivel de sonido al micrófono del sistema con el sistema de sonido apagado, el sistema de sonido se encenderá y su ganancia se adelantará a un punto sólo debajo de la oscilación sostenida. El nivel de sonido amplificado se medirá con la mismo medida de nivel de sonido en la parte central de la sala de conferencias.

“El Δ del sistema de sonido se calculará substrayendo el SPL medido al micrófono (sistema apagado) del SPL medido en la sala de conferencias (sistema encendido).”

Se mide la ganancia del sistema en algún punto en la sala de conferencias y es la diferencia de nivel a ese punto producido por el altavoz de prueba antes y después de que el sistema se ha encendido. Se muestran detalles de las dimensiones en la Figura 6-11.



LOS CORCHETES INDICAN LOS NIVELES CON EL SISTEMA ENCENDIDO.

Figura 6-10. Condiciones para la ecuación de ganancia del sistema interior.

Requisitos generales para la Inteligibilidad del Discurso.

Los requisitos para la inteligibilidad del discurso son básicamente los mismos para uno no amplificado en cuanto al discurso amplificado. Los factores más importantes son:

1. Nivel del discurso contra el nivel del ruido ambiente. Debe hacerse todo esfuerzo para minimizar el ruido debido al manejo de aire de los sistemas y las interferencias. En general, el nivel del ruido debe ser 25 dB o debajo de los niveles del discurso más bajo que se espera. Sin embargo, para los niveles bastante altos de discurso reforzado, como puede encontrarse al aire libre, puede tolerarse un nivel de ruido de 10 a 15 dB debajo de los niveles del discurso.
2. Tiempo de reverberación. Las sílabas del discurso ocurren tres o cuatro veces por segundo. Durante tiempos de reverberación de 1.5 segundos o menos, el efecto de proyección reverberante en la claridad del discurso será mínimo.
3. La proporción directo - a - reverberante. Durante tiempos de reverberación de más de 1.5 segundos, la claridad de discurso es una función de tiempo de reverberación y proporción de sonido directo - a - reverberante.

En un papel importante (8), Peutz fijo un método de estimar inteligibilidad del discurso que ha encontrado una aplicación considerable en el diseño de sistema de sonido. Los resultados de Peutz se compilaron en base a datos recogidos durante un periodo de años.

Las conclusiones pueden resumirse como sigue:

1. En la práctica, la pérdida de articulación de consonantes puede usarse como un indicador de inteligibilidad. Aunque la investigación original de Peutz estaba en el discurso holandés, los resultados parecen ser igualmente aplicables al inglés.
2. Como se esperaba, los investigadores encontraron amplias variaciones en habladores y oyentes.
3. Sin embargo, un 15% de pérdida de articulación de consonantes parece ser el máximo admitido para la inteligibilidad del discurso aceptable. En otros términos, si la pérdida de articulación de consonantes excede el 15% para la mayoría de los oyentes, la mayoría de esas personas encontrará la inteligibilidad del discurso inaceptable.
4. La pérdida de articulación de consonantes puede estimarse para salas típicas. La pérdida de articulación de consonantes es una función de tiempo de reverberación y una proporción de sonido directo - a - reverberante.
5. Como un oyente se mueve más lejos desde un hablador (disminuyendo la proporción de sonido directo - a - reverberante) la pérdida de articulación de consonantes aumenta. Es decir, la inteligibilidad se vuelve menor como la proporción directo - a - reverberante disminuye. Sin embargo, esta relación sólo se mantiene a una cierta distancia, más allá de la cuál ningún cambio extenso tiene lugar. El límite corresponde a una proporción directo - a - reverberante de -10 dB.

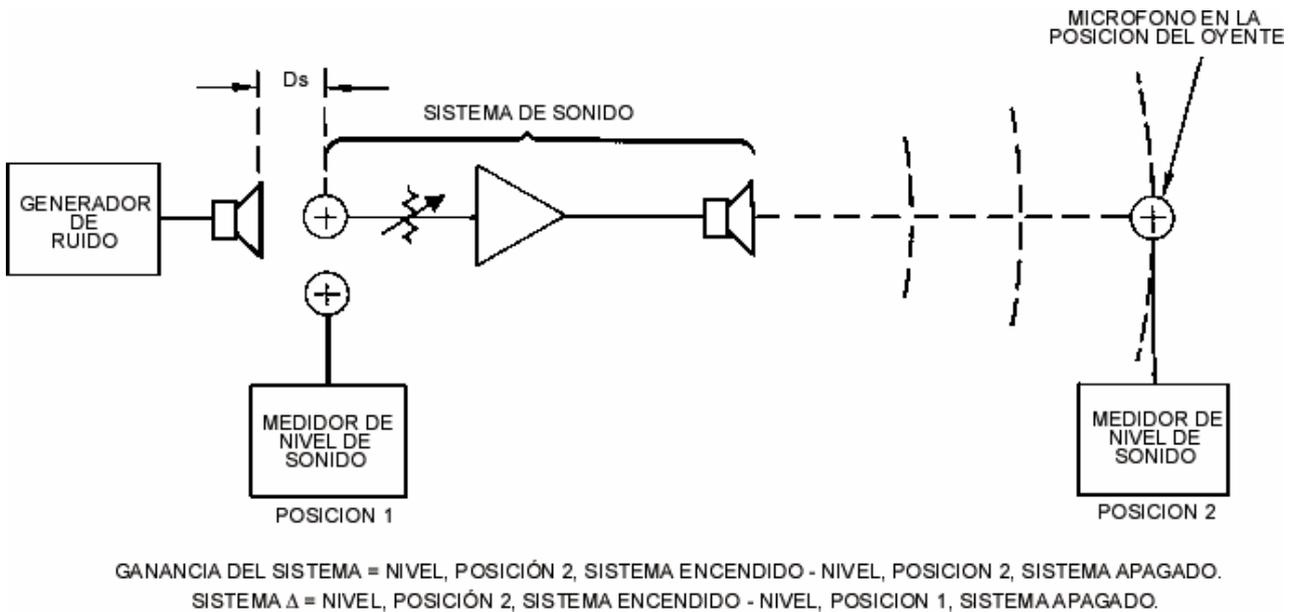


Figura 6-11. Medida de ganancia del sistema sonoro y delta (Δ).

El último punto se ilustra gráficamente en la Figura 6-12, adaptada del papel de Peutz. Cada una de las líneas diagonales corresponde a un tiempo de reverberación particular. Cada estante en un punto que corresponde a una proporción del sonido directo - a - reverberante de -10 dB. Note que el estante puede mentir por encima o debajo de 15% que depende en el tiempo de reverberación de la sala. Esto está de acuerdo con otra información publicada sobre la inteligibilidad. Por ejemplo, Rettinger señala que en salas que tienen un tiempo de reverberación de 1.25 segundos o menos, siempre el sonido directo y reflexiones tempranas constituyen la porción mayor del campo de sonido total. La inteligibilidad en tales salas es buena sin tener en cuenta la proporción de sonido directo - a - reverberante en cualquier posición dada. Recíprocamente, cualquiera que ha trabajado en espacios reverberantes extremadamente grandes como las piscinas de natación o los gimnasios saben que la inteligibilidad se deteriora rápidamente más allá de la distancia crítica. Según la gráfica, un 15% de pérdida de articulación de consonantes en una sala que tiene un tiempo de reverberación de 5 segundos corresponde a una proporción de sonido directo - a - reverberante de sólo - 5.5 dB.

Problemas asociados con la inteligibilidad del discurso en los espacios adjuntos han recibido mucha atención previa a la publicación del papel de Peutz.

La virtud del método de Peutz para estimar la inteligibilidad del discurso es su simplicidad.

Debe recordarse, sin embargo, que se ignoran varios factores contribuyendo en este, un cálculo simple. La gráfica asume que la intensidad satisfactoria puede lograrse y que no hay ningún problema con la interferencia del ruido ambiente. También postula una sola fuente de sonido y un buen comportamiento, campo de sonido reverberante difuso.

Los datos del papel de Peutz han sido transcritos en una forma más conveniente para el contratista de sonido en la Figura 6-13. Aquí nosotros hemos etiquetado la inteligibilidad estimada de un hablador o un sistema de sonido arbitrariamente como "satisfactorio", "bueno", o "excelente", dependiendo en la pérdida de articulación de consonantes calculada.

Hay a menudo una diferencia dramática en las propiedades acústicas de una sala que depende en el tamaño del público. Los cálculos deben hacerse en base a la "peor" condición. En algunas iglesias, particularmente puede resultar que no hay ninguna manera práctica de lograr la buena inteligibilidad a través del área de asientos cuando la iglesia está casi vacía. La solución puede involucrar el tratamiento acústico para disminuir la diferencia entre una iglesia llena y vacía, o puede involucrar un diseño del sistema de sonido bastante sofisticado en que el refuerzo de sonido sólo se entregue a los bancos delanteros cuando la congregación es pequeña (presumiendo que una congregación pequeña puede halagarse en los bancos delanteros).

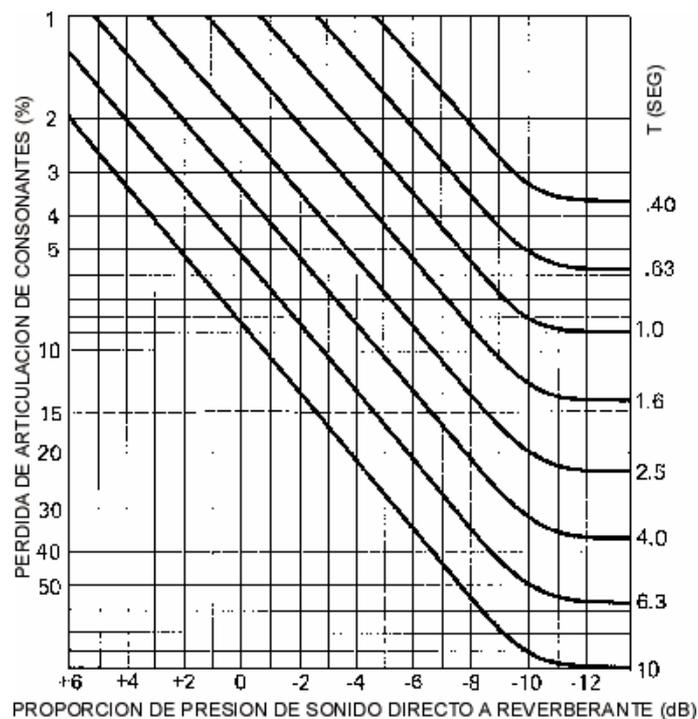


Figura 6-12. Pérdida probable de articulación de consonantes vs. tiempo de reverberación & proporción de sonido directo - a - reverberante.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

También, las condiciones acústicas locales pueden existir, las cuales no se tienen en cuenta por la teoría estadística y, por consiguiente, no cubiertas por los resultados de Peutz o cualquiera de las otras ecuaciones que nosotros hemos estudiado. No pueden descubrirse tales lugares muertos o zonas de interferencia hasta que el sistema de sonido se instale.

En los espacios reverberantes grandes, debe establecerse siempre la flexibilidad suficiente en el diseño del sistema de sonido para permitir tales sorpresas.

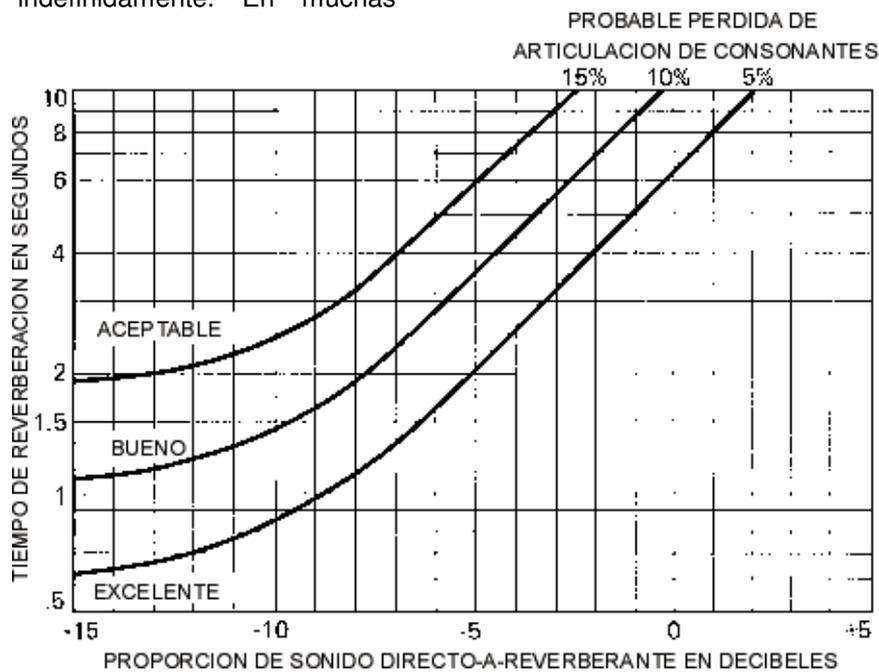
El efecto de enmascarar por el ruido de fondo no deseado, sólo se ha mencionado brevemente en esta sección. Tal ruido no deseado puede producirse por el sonido del ambiente externo, por el equipo mecánico ruidoso del telón o por el propio público. Para las condiciones de escucha buenas, el nivel de ruido ambiente como moderado en la escala "A" debe ser por lo menos 10 dB debajo de la señal deseada. Ya que el nivel óptimo para el discurso reproducido en la ausencia de ruido de fondo fuerte es 65 - 70 dB(A) esto significa que el ruido de fondo con un auditorio lleno no debe exceder 55 dB(A). En las salas de conferencias y salas de espectáculos de concierto, los diseñadores acústicos intentan normalmente reducir el ruido de fondo a un nivel que no excede 25 dB(A). En una iglesia o sala de reunión, el ruido de fondo tolerable máximo para una sala vacía es aproximadamente 40 dB(A).

Un sistema de refuerzo de sonido no puede ponerse arriba indefinidamente. En muchas

situaciones es bastante difícil lograr un nivel útil de 60 - 65 dB(A) sin la realimentación. Por consiguiente, es fácil ver que la presencia de ruido de fondo excesivo puede dar por otra parte un sistema de refuerzo de sonido bueno poco satisfactorio.

Como un ejemplo de cómo el análisis de Peutz puede dictar el tipo de sistema de sonido a ser usado, permítanos considerar un sistema de refuerzo a ser usado en una iglesia reverberante grande. Se muestran los detalles en la Figura 6-14.

Permítanos asumir que el tiempo de reverberación es 4 segundos en las frecuencias medias y que la primera opción del diseñador es una serie de altavoz de solo - punto a ser colocada alto sobre el presbiterio. Los requisitos de la cobertura y las características direccionales de la serie, nos permitió asumir que la serie consistirá en dos bocinas Bi - radiales JBL: 20° por 40° para la cobertura lejana, y 90° por 40° para la cobertura cercana. Lo que nosotros deseamos calcular es la proporción directo - a - reverberante en los puntos seleccionados en el área del público para determinar si el criterio de Peutz para la inteligibilidad aceptable puede encontrarse. La manera más directa de hacer esto es calcular el nivel reverberante total en la sala para una potencia de entrada dada a cada bocina y compararlo con la cobertura del sonido directo proporcionado por cada bocina encima de su ángulo de cobertura.



Gráfica desarrollada de datos publicado por V.M.A. Peutz
en el Periódico de AES, Vol. 19, diciembre, 1971.

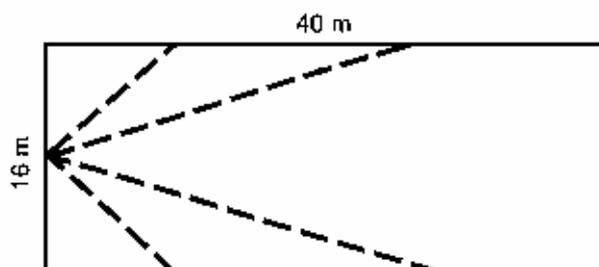
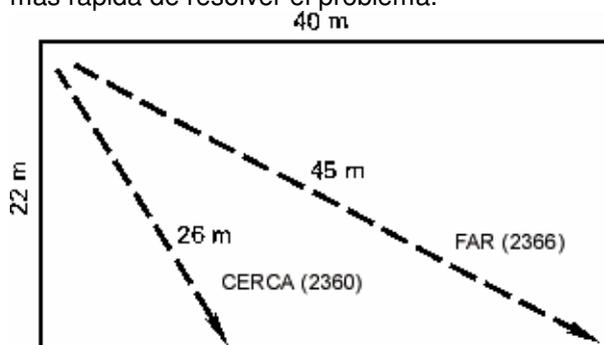
Figura 6-13. Inteligibilidad probable como una función de tiempo de reverberación y relación de sonido directo - a - reverberante.

El análisis mostrado en la Figura 6-14 indica que cuando cada una de las dos bocinas se impulsa por un watt, el campo reverberante en la sala (lea directamente de la Figura 5-21) es 94 dB-SPL. El nivel del campo directo proporcionado por cada bocina encima de su ángulo de cobertura es aproximadamente 85 dB-SPL. Esto produce una proporción directo a reverberante de -9 dB, y una inspección de la Figura 6-13 nos dice que el sistema tendrá inteligibilidad marginal. Note que durante 4 segundos de tiempo de reverberación, la proporción directo - a - reverberante debe ser menor de -7 dB si es esperada una inteligibilidad aceptable. Este análisis simple nos ha dicho que, en el papel, nosotros hemos diseñado un sistema de sonido que probablemente no satisfará al cliente.

Si el sistema hubiera consistido en una sola bocina, el conocimiento de su DI en - eje y Q podrían llevar rápidamente a una determinación de distancia crítica, y la proporción directo - a - reverberante podría pesarse de D_C . Sin embargo, para la serie compuesta analizada aquí, no hay un solo valor de DI o Q que pueden usarse, y un cálculo directo del nivel reverberante global, usando lo que nosotros sabemos sobre la eficiencia de los transductores, y haciendo una comparación con el campo directo, basado en las sensibilidades de los transductores, es la manera más rápida de resolver el problema.

Pero la pregunta queda: ¿Qué tipo de sistema trabajará en esta sala resonante grande? Claramente, un sistema distribuido se requiere. En tal sistema, se ponen varios altavoces de baja - potencia en las columnas en cada lateral de la iglesia, cada altavoz cubre una distancia de no más de 5 o 6 metros. De esta manera, la proporción directo - a - reverberante puede mantenerse alta. Si tal sistema además es dividido en zonas con apropiados retrasos de tiempo, el efecto será bastante natural, con localización de la fuente subjetiva que permanece hacia el frente del espacio de escucha. Se muestran detalles de esto en la Figura 6-15.

De nuevo, nosotros calculamos el nivel reverberante total y lo comparamos con el tiro más largo que cada altavoz anuncia para manejar. Hay 14 altavoces, 7 en cada lado. Permítanos asumir que la eficiencia de estos altavoces es 1.2% y que su sensibilidad es 95 dB, 1 watt a 1 metro. Alimentando un watt en cada altavoz produce una potencia acústica total de $14 \times .012$, o 0.17 watt. Usando la Figura 5-21 de nuevo, nosotros observamos que el nivel reverberante será 92 dB-SPL. El tiro más largo que cada altavoz tiene que cubrir es 4 metros. Ya que 1-watt, 1-metro la sensibilidad es 95 dB, el campo directo para cada altavoz será 12 dB más bajo, o 83 dB.



$V = 14000 \text{ m}^3$
 $S = 3740 \text{ m}^2$
 $RT = 4 \text{ seg}$
 $\alpha = 0.14$
 $R = 610 \text{ m}^2$
 $HF \text{ ef. } (\%) = 20\%$

$$\text{SPL REVERBERANTE} = 10 \log\left(\frac{2 \text{ watts} \times .2}{610}\right) + 126$$

$$= \underline{94 \text{ dB - SPL}}$$

DATOS CAMPO DIRECTO:

2366 en 45 m: 1 watt produce 85 dB-SPL
 2360 en 26 m: 1 watt produce 85 dB-SPL

$$\therefore \text{Proporción directo - a - reverberante} = 85-94 = 9 \text{ dB}$$

Figura 6-14. Análisis de criterio de inteligibilidad.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Así, la proporción directo - a - reverberante será 83-92, o -9 dB. Esto todavía no es bastante bueno, pero nosotros debemos recordar que más de la mitad de los oyentes estarán más cerca a un altavoz que 4 metros. Otro punto muy importante que nosotros no hemos considerado todavía es el hecho de que los altavoces distribuidos apuntan totalmente en el público, con su coeficiente de absorción considerablemente mayor que 0.12. Éste es el tiempo apropiado para usar R' en lugar de R en nuestros cálculos.

Calculando R' basado en un a' de .95 para el área del público en la banda de 1 kHz:

$$R' = S\alpha / (1 - \alpha') = 375 / .05 = 7500 \text{ M}^2.$$

Re-calculando el nivel reverberante de la Figura 5-21, nosotros conseguimos 80 dB-SPL. La nueva proporción directo - a - reverberante es 83 - 80, o +3 dB, y el sistema será bastante laborable.

¿El nivel reverberante realmente será sólo 80 dB?

En realidad, nosotros podríamos observar algo un poco superior que 80 dB, pero no

bastante para alterar nuestro análisis significativamente.

Nosotros también podemos hacer la pregunta de si nuestro análisis que usa R' habría afectado físicamente el funcionamiento del sistema de la serie central. Un análisis riguroso sería un poco tedioso, pero nosotros podemos hacer una asunción simplificando. Permítanos asumir que la mitad del sonido directo de la serie central era incidente en el público con su coeficiente de absorción 0.95.

Permítanos redondear esto y llámelo 1.0, produciendo ningún sonido reflejándose en absoluto del público.

Esto bajaría sólo el nivel reverberante en la sala por 3 dB, apenas bastante para hacer la proporción directo - a - reverberante laborable.

Más que ningún otro, nosotros hemos llevado a cabo en este capítulo, el análisis de multi - complejidad dimensional de diseño del sistema de sonido. De nuevo, nosotros declaramos que no hay soluciones fáciles o ecuaciones simples.

En cambio hay sólo análisis racional y pensativo de muchos factores.

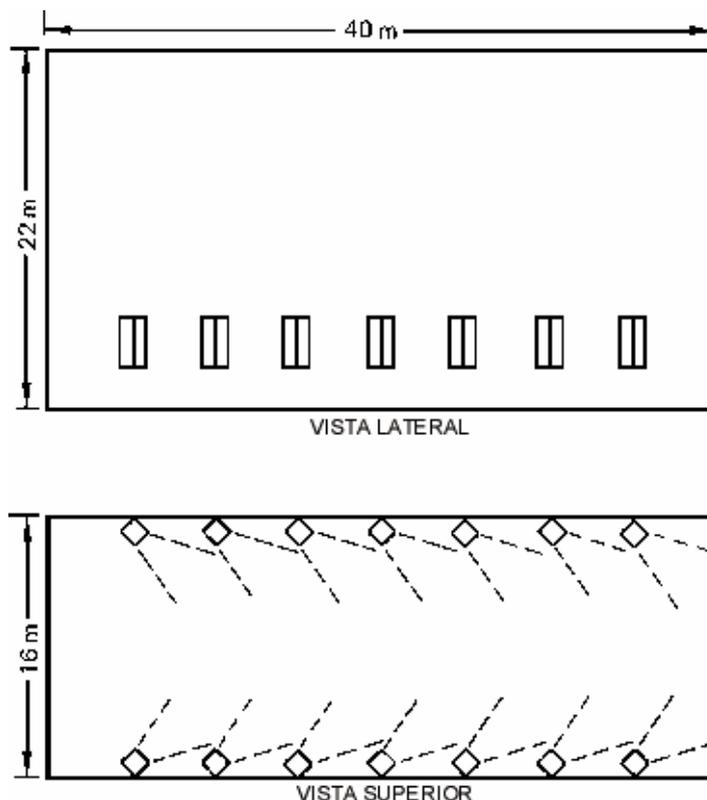


Figura 6-15. Un sistema distribuido en una iglesia grande.

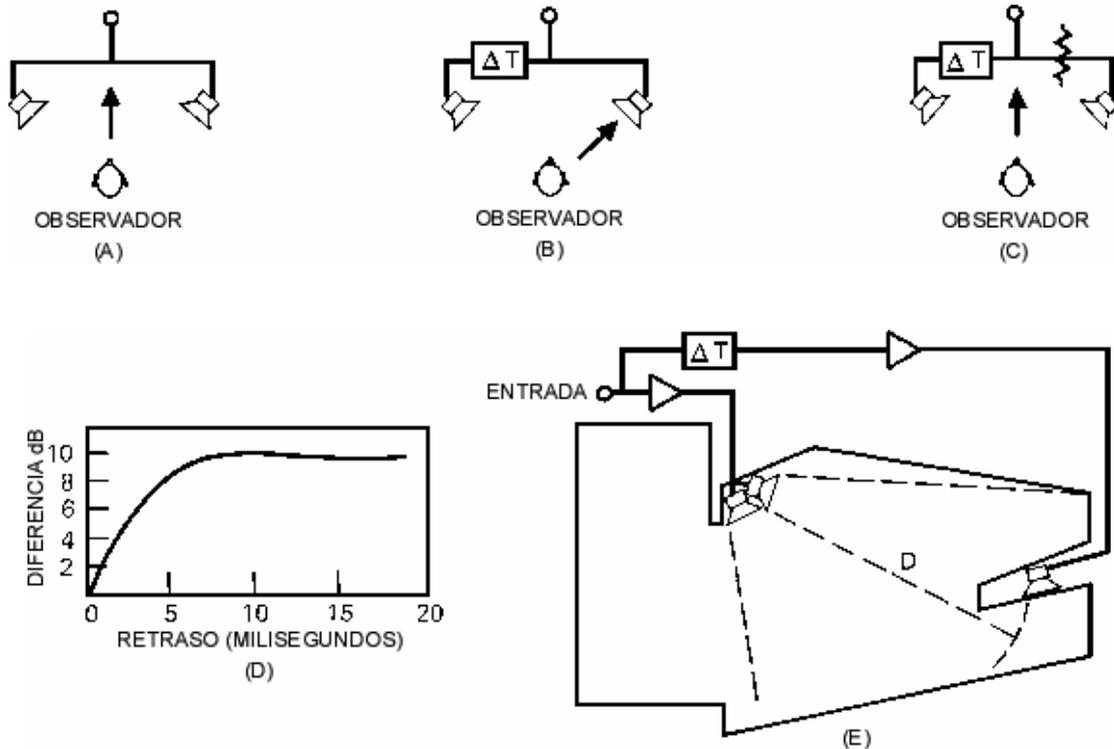
El Papel del Retraso de Tiempo en el Refuerzo del Sonido

El ejemplo precedente menciona el retraso de tiempo como un recurso para conservar la naturalidad en un sistema distribuido. Esto ocurre por vía del efecto Haas (5) (o anterioridad) que se ilustra en la Figura 6-16. Si se alimentan dos altavoces con la misma señal, la fuente de sonido se localizará directamente delante del oyente (A). En B, nosotros hemos introducido un retraso en los canales idénticos, y el oyente está claramente localizado hacia el primer altavoz. En C, la señal principal ha estado reducida en nivel, produciendo un efecto de intensidad igual a ambos altavoces.

Figura 6-16E muestra cómo el retraso es típicamente llevado a cabo en el refuerzo de sonido. Aquí, esa porción del público sentada bajo el balcón no recibe la cobertura adecuada de

la serie central. Altavoces pequeños puestos en el balcón sólo pueden proporcionar la cobertura apropiada si ellos se tardan para que el sonido llegue a los oyentes con el de la serie central. De esta manera, el oyente tiende a localizar la fuente de sonido en la serie central—no en los altavoces del balcón. Si los altavoces del balcón no se tardan, los oyentes bajo el balcón localizarían el sonido directamente sobre la cabeza, y esos oyentes sólo delante del balcón se perturbaría por el sonido no tardado. En la práctica, el retraso es normalmente fijado para 20 mseg. adicionales para minimizar la filtración peine en la zona de solape entre los campos de sonido directo y tardado.

La disponibilidad de unidades de retraso digitales han hecho un elemento indispensable al retraso de tiempo en el diseño de sistema de sonido.



$$\text{TIEMPO DE RETRASO} = D/344 \text{ segundos}$$

(D MEDIDA EN METROS)

Figura 6-16. El efecto Haas, o anterioridad.

La Ecuación del sistema y Respuesta de Potencia de Altavoces

Es de costumbre ecualizar todos los sistemas de refuerzo de sonido profesionales por dos razones: respuesta global que forma y controla de realimentación.

La respuesta global puede hacerse más uniforme para un efecto más natural a través del uso de ecualización de banda ancha. Donde la ganancia del sistema se requiere alta, los filtros de muesca de banda - estrecha pueden eliminar con éxito la tendencia del sistema a "zumar" en ciertas frecuencias. Nosotros examinaremos los requisitos de ecualización de la banda ancha primero.

Un sistema de sonido se ecualiza alimentando ruido rosa (potencia igual por octava)

en el sistema y ajustando la respuesta del sistema para encajar un contorno preferido a algún punto en el medio de la casa. Este procedimiento se muestra en Figura 6-17A. El contorno de respuesta más usado hoy se muestra en B.

Al punto en la casa dónde la medida es hecha, el campo reverberante predomina, y lo que nosotros estamos formando con el ecualizador realmente es la respuesta de potencia del altavoz influenciado por la absorción del límite en la sala. Si la respuesta de potencia del altavoz es uniforme, entonces está todo bien. Sin embargo, si, como en algunos diseños más viejos, la respuesta de potencia del sistema es irregular, entonces la ecualización normalmente hará las cosas peor, como se muestra en la Figura 6-18.

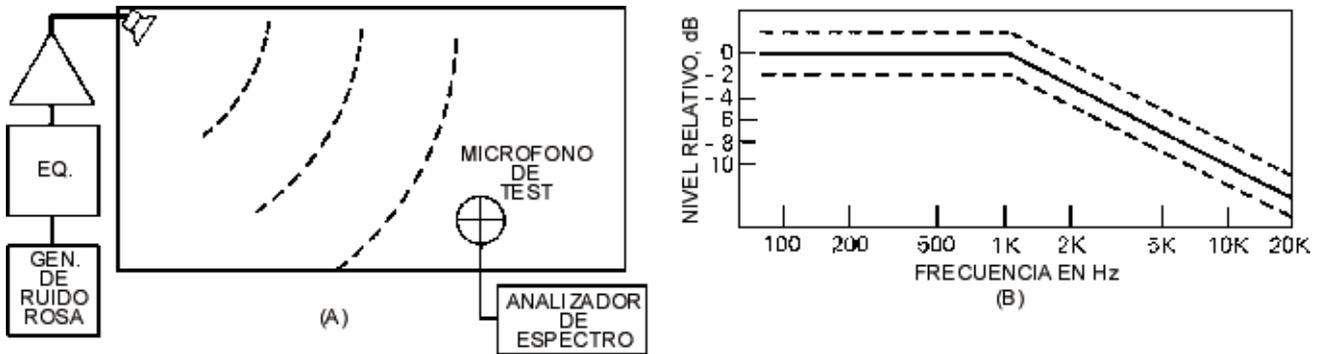


Figura 6-17. Procedimiento de ecualización del sistema de sonido.

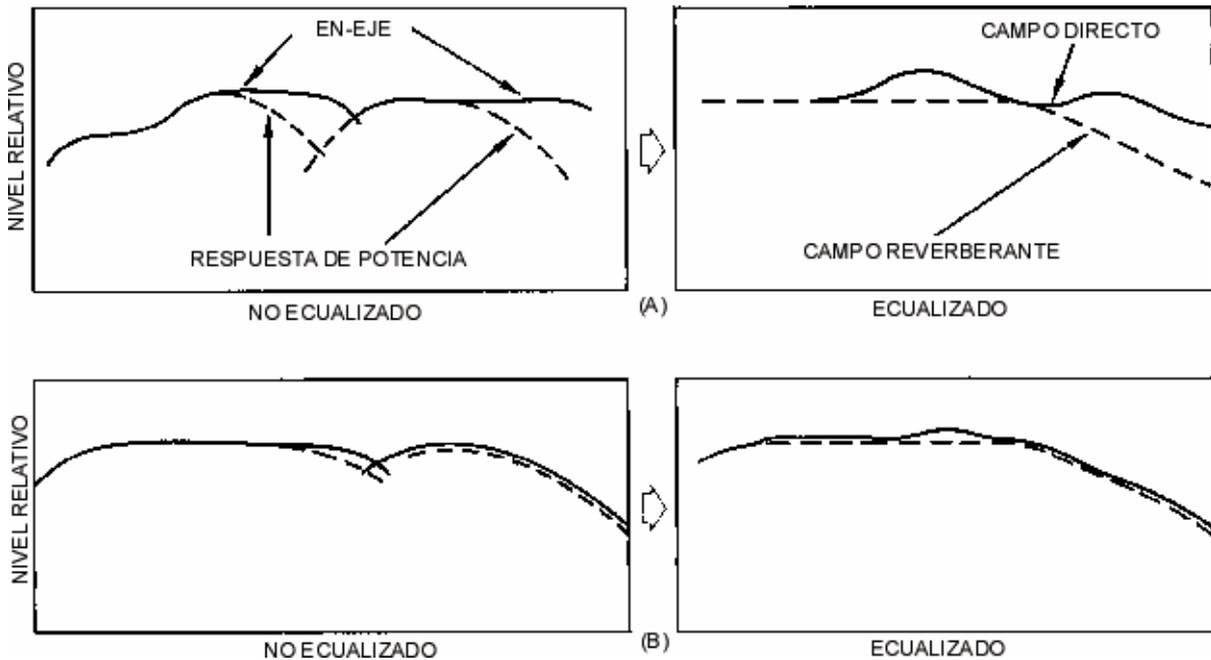


Figura 6-18. La ecualización del sistema.

En A, nosotros vemos la respuesta en - eje (curva sólida) y potencia (curva punteada) de un sistema de 2-vías que hace uso de una bocina de LF y un tipo más viejo de bocina HF radial. Cuando semejante sistema se ecualiza para respuesta de potencia uniforme, como en el caso del procedimiento de ecualización de medio - casa normal, entonces la respuesta en - eje, o la respuesta del campo directo del sistema tendrá un par de “choques” en su respuesta.

Esto tendrá el efecto de discurso y música antinatural.

Ahora permítanos examinar el caso en B. Aquí, la parte de LF del sistema consiste en un solo 380 mm (15”) en un gabinete, y la bocina de HF es una JBL 2360 Bi - radial. Note que la respuesta de potencia y respuesta en - eje es casi mentira sobre nosotros.

Así, el ajuste del sistema producirá respuesta del campo reverberante (respuesta de potencia) y respuesta del campo directo (respuesta en - eje). Semejante sistema puede ecualizarse su ancho de banda a menudo a través de la selección apropiada de componentes, dividiendo en red y manejando los niveles del transductor, requiriendo poca ecualización electrónica.

El gráfico mostrado en la Figura 6-19 muestra esto claramente. Aquí, nosotros hemos trazado la variación en R sobre el rango de frecuencia para una sala de conciertos grande. La sala que nosotros hemos escogido tiene las características siguientes:

$$V = 13500 \text{ m}^3$$

$$S = 3538 \text{ m}^2$$

$$RT_{125 \text{ Hz}} = 1.5 \text{ seg. m}^2$$

$$R_{125 \text{ Hz}} = 1774$$

$$RT_{1 \text{ kHz}} = 1.2 \text{ seg.}$$

$$R_{1 \text{ kHz}} = 2358 \text{ m}^2$$

$$RT_{4 \text{ kHz}} = 0.8 \text{ seg.}$$

$$R_{4 \text{ kHz}} = 3989 \text{ m}^2$$

Este cobertor entre tiempos de reverberación en frecuencias bajas, medias, y altas es típico de una sala de conciertos buena. Cuando nosotros calculamos la constante de la sala como una función de frecuencia y lo trazamos, junto con el nivel de sonido que se produciría por un watt acústico en la sala, nosotros vemos que la variación total en SPL es sólo aproximadamente 3 dB. La importancia de esta observación es que, si nosotros tuviéramos un sistema del altavoz que exhibe respuesta de potencia plana, entonces produciría un SPL reverberante en esta sala de conciertos que no variaría más del la inversa de la curva mostrada en la Figura 6-19. Obviamente, más uniforme es la respuesta de potencia de un altavoz, menos ecualización requerirá y más natural parecerá en todos los tipos de programa.

Otro uso de ecualización es controlar la realimentación. Cuando nosotros hemos declarado muchas veces, que un sistema de refuerzo de sonido debe operarse 6 dB por lo menos debajo del punto de realimentación si se quiere que sea estable.

A través del uso cuidadoso y selectivo de filtros de muesca de banda - estrecha, los primeros zumbidos pueden minimizarse de un sistema de sonido, y la ganancia del sistema global puede aumentarse 3 o 4 dB quizás. La práctica de ecualización de banda - estrecha es compleja, y se deja a aquéllos que han estado especializado en él.

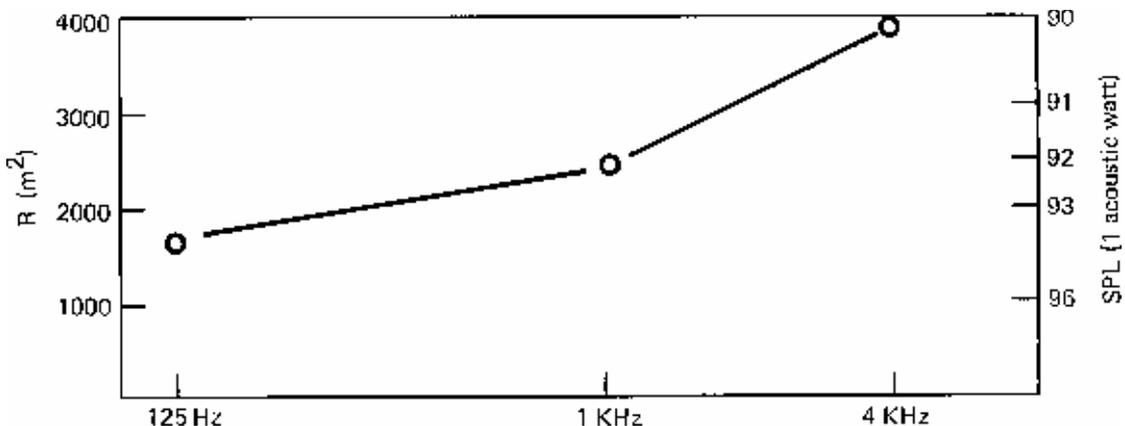


Figura 6-19. Variación en R y nivel reverberante con la frecuencia.

La apreciación global de Diseño del Sistema

Hay un acercamiento racional al diseño del sistema de refuerzo de sonido interior, y puede estropearse en los pasos siguientes:

1. Poner los requisitos de cobertura, generalmente empezando con una serie central. Determinar el manejo de los requisitos para cada elemento en la serie.

2. Calcular los niveles del campo directo y del campo reverberante en varias partes del área del público, y entonces determinar si sus proporciones, en combinación con el tiempo de reverberación de la sala, producirán la inteligibilidad adecuada. Estos cálculos son muy importantes en el rango de 1 kHz, pero también deben hacerse en los rangos de 125 Hz y 4 kHz. Determinar los requisitos para la ganancia adecuada, notando el valor de D_s que se requerirá en el funcionamiento normal.

3. Si el criterio de inteligibilidad se reúne, entonces el sistema puede completarse. Si el criterio de inteligibilidad indica un inadecuada proporción directo - a - reverberante, considere la posibilidad de aumentar R a través de la suma de absorción acústica en la sala. En las salas existentes, esto no puede ser posible; sin embargo, para las salas en fase de diseño, puede ser posible aumentar la cantidad de absorción.

4. Si el re - cálculo de los parámetros de la sala indica que una serie central trabajará, entonces el diseño puede completarse. Si no, el próximo paso es determinar la naturaleza de un sistema distribuido que satisfará los requisitos de inteligibilidad. Una serie central puede diseñarse a menudo para cubrir simplemente la parte delantera de una sala, con altavoces tardados que cubren la parte posterior de la sala. En los casos marginales, esto es más satisfactorio que un sistema distribuido extremo.

El proceso entero descrito anteriormente se ha reducido al diagrama de flujo mostrado en la Figura 6-20.

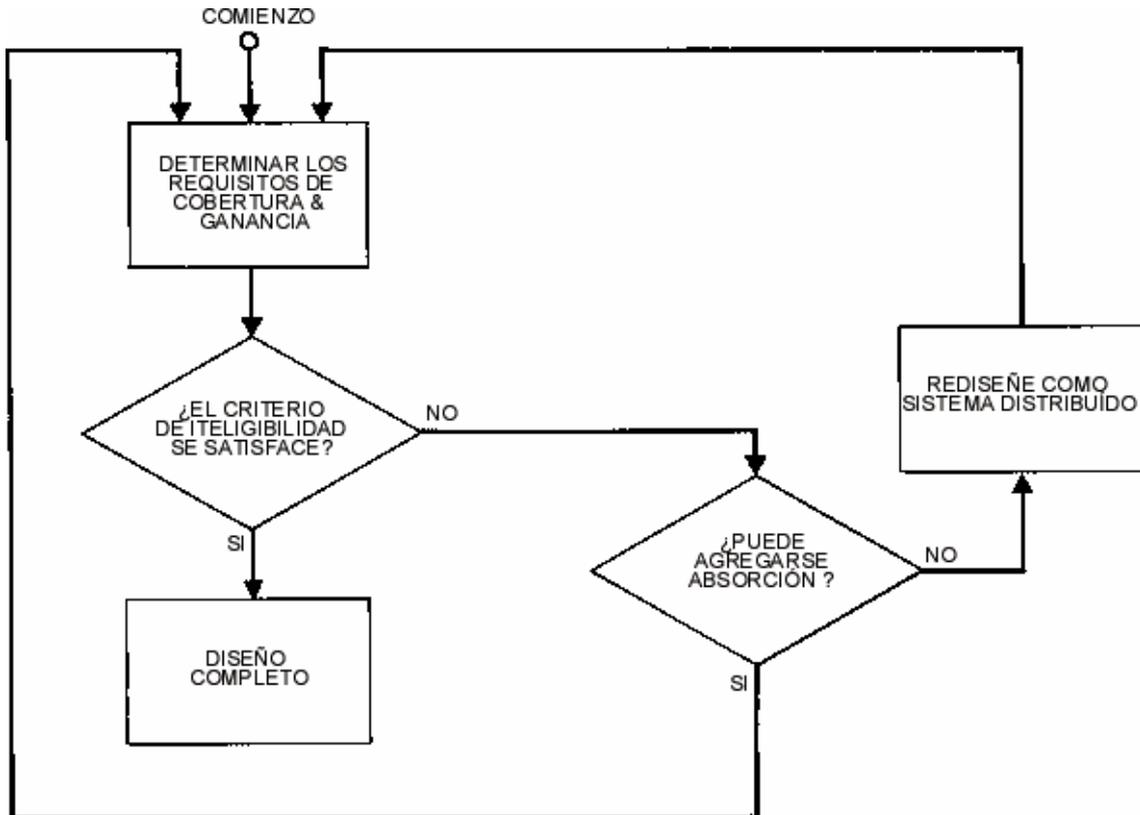


Figura 6-20. Diagrama de flujo para el diseño del sistema.

Capítulo 7: La Arquitectura del sistema y Disposición

Introducción

Así como el arquitecto del edificio interpreta un juego de requisitos en los espacios vivientes flexibles y eficaces o activos, el diseñador de un sistema de refuerzo de sonido interpreta un juego de requisitos semejantemente, poniendo todos los aspectos del sistema en una forma ordenada. Una especificación de sistema de sonido completa detallará *casi todo*, incluso las opciones de todo los equipos y alternativas, rack de requisitos espaciales, medidas del cable y marcas, y la señal nominal que operan los niveles. Además, los aspectos electroacústicos del sistema, para que no haya algunas sorpresas cuando el sistema se enciende por primera vez.

El consultor o ingeniero del diseño pone los parámetros del sistema extensos, pero es el contratista de sonido quien es responsable para toda la disposición de componentes y la terminación ordenada del sistema, junto con la documentación para el uso, así como el mantenimiento. La arquitectura del sistema también se dirige al flujo de señal y los niveles nominales, consistente con los requisitos del sistema. Los diseños más buenos normalmente son más simples y más francos.

En este capítulo cubriremos algunos proyectos de diseño, empezando con los objetivos básicos de diseño y las especificaciones de ejecución fundamentales. Nosotros seguiremos entonces, las descripciones del sistema y disposición, sugiriendo vías para reunir la especificación.

Nos concentraremos en los problemas electroacústicos, que son fundamental a cada caso de estudio.

Por vía de la revisión, discutiremos primero unos temas básicos de audio ingeniería, empezando con un diagrama de flujo abreviado de señal para un sistema de refuerzo de discurso relativamente simple.

Diagrama de Flujo típico de Señal

Asuma que nosotros tenemos los siguientes requisitos:

1. Arriba de diez micrófonos pueden necesitarse en ubicaciones diferentes.

2. El sistema será usado principalmente para el refuerzo del discurso.

3. El sistema podrá producir niveles máximos de 85 dB-SPL en todas las partes de la casa bajo todas las condiciones de entrada del discurso, incluyendo a los habladores débiles. El nivel de ruido de la sala es aproximadamente 25 dB(A).

La interpretación más básica de estos requisitos nos dice lo siguiente:

1. Una pequeña consola Soundcraft o Spirit debe bastar para todas las configuraciones de entrada y control de asignación de ruta.

2. Una sola serie central es el tipo de sistema preferido, basado en el deseo de reproducción más natural del discurso. La serie que usa componentes HF y LF individuales puede especificarse; alternativamente, un sistema apropiado de rango - completo con la capacidad de equipo integral puede especificarse, como nosotros mostraremos aquí.

3. Se recomiendan sistemas de bi - amplificación y ecualización de respuesta, y esto sugiere que se use un controlador digital de altavoz para la división de frecuencia, alineación de tiempo, y ecualización de respuesta del sistema.

Note que hay muchos puntos en el sistema dónde nosotros podemos poner o cambiar la ganancia. Hay siempre considerable ganancia solapada en los dispositivos electrónicos usados en el trabajo de sistema de sonido. El propósito de esto es permitir una gran variedad de condiciones de entrada, para permitir configurar el equipo de diferentes maneras, como se requiere. Es crítico que el diseñador especifica una escena nominal de cada control de ganancia, bloqueando, cuando es posible, esos controles que no quiere—o no deben—ser alterados durante el uso normal del sistema. Esta escena importante de relaciones de ganancia debe estar basada en el requisito absoluto que el ruido piso de entrada del sistema no debe degradarse en la cadena, y que ninguna primera etapa de amplificación debe sobrecargarse antes del sobrecargar el amplificador de potencia.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

En nuestro ejercicio, simplificaremos las cosas considerando solamente un solo camino del micrófono a través del sistema a un solo altavoz.

Para el momento, permítanos considerar sólo el diagrama de flujo abreviado de consola mostrado en la parte superior de la Figura 7-1A. El nivel del discurso normal a una distancia de 0.5 metros es aproximadamente 72 dB SPL; Si nosotros estamos usando un micrófono con una sensibilidad de 10 mV/Pa, la salida de voltaje nominal del micrófono en el campo de sonido de 72 dB será:

$$E = 10^{22/20} \times 10 \text{ mV} = 0.8 \text{ mVrms}$$

Paso Uno:

Ponga una entrada de referencia de .8 mVrms a 1000 Hz en una de las entradas de micrófono en la consola. Con los faders de entrada y de salida en sus marcas de "ceros" nominal, ponga el control trim de entrada de micrófono para una salida de consola de 0.4 Vrms. (Alternativamente, un nivel de presión estable de sonido de 72 dB puede generarse al micrófono, y ajustando el trim de micrófono para una salida de 0.4 Vrms.) haciendo esta puesta, el marcador del potenciómetro de trim estará normalmente en alguna parte entre las 10 Hs y

las 2 Hs. Esta escena representa un punto nominal para la combinación micrófono / consola, y hay amplia flexibilidad para operar el sistema sobre o debajo de esta escena, como puede requerirse por los habladores débiles o fuertes. El sistema de división de frecuencia y ecualización serán llevadas a cabo por un controlador digital, el modelo DSC260 de JBL. El altavoz a ser usado es el modelo SR4726A de JBL, y el amplificador recomendado es el modelo MPX600 de JBL. Los niveles típicos son como se muestra en la porción más baja de la Figura 7-1A.

El diagrama de nivel mostrado en la Figura 7-1B muestra que, en la salida del amplificador de potencia, el nivel de ruido del micrófono es aproximadamente 3 dB mayor que el ruido contribuido por el amplificador de potencia. Ambas fuentes de ruido serán, sin embargo, abrumadas por el nivel de ruido acústico en el espacio acústico. El ruido eléctrico piso se transforma a un nivel de ruido equivalente de -2 dB(A) a una distancia de 20 metros, unos 25 dB más bajo que el ruido acústico piso de un espacio típico. Con este procedimiento de calibración, el nivel de salida máximo posible en la casa está limitado por el rango dinámico y el punto nominal establecido por el DSC260. Si se desea más nivel de salida, los puntos nominales deben restablecerse.

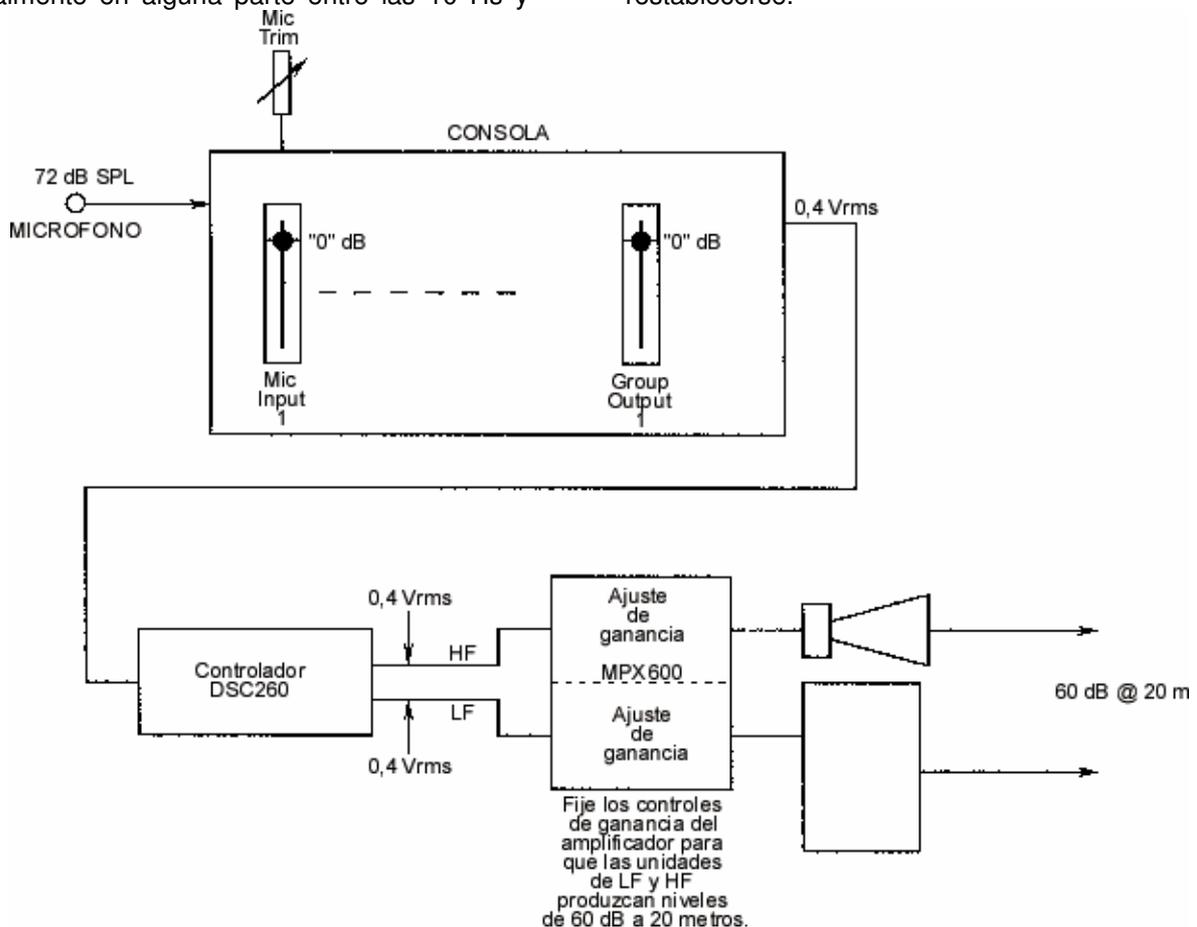


Figura 7-1A. Diagrama de flujo de señal para un sistema del refuerzo simple.

Diagrama de nivel para un Sistema Simple de Refuerzo de Discurso

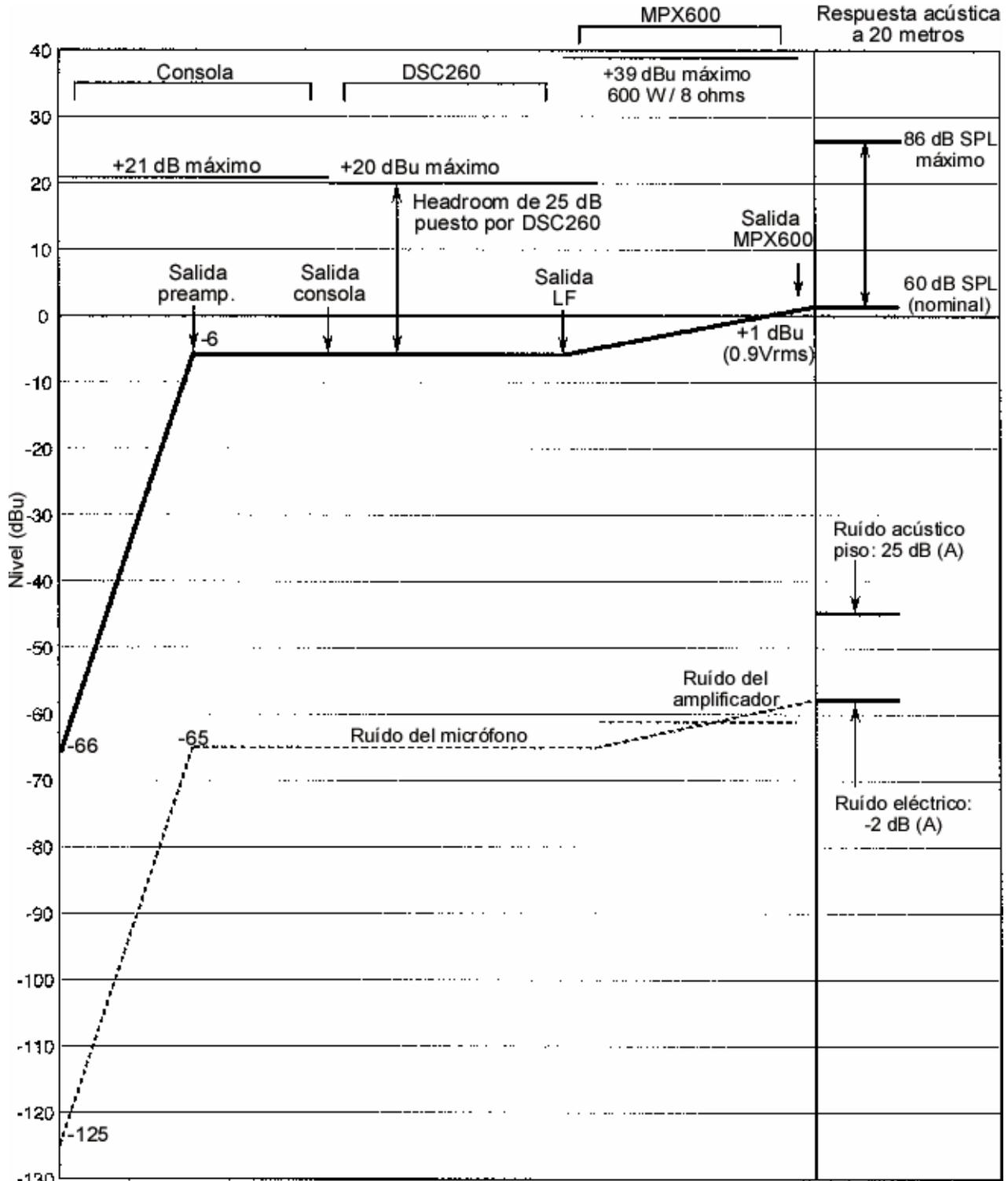


Figura 7-1B. Diagrama detallado de nivel que muestra los niveles de ruido, niveles nominales, y los niveles máximos de salida de cada dispositivo.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Paso Dos:

Nosotros tenemos que determinar el nivel nominal del sistema para los oyentes más lejanos, que nosotros asumiremos ahora unos 20 metros desde el altavoz. Permítanos asumir que el tiempo de reverberación en la sala es no mayor que 1.5 segundos en el rango de 250 Hz a 2 kHz y que el nivel de ruido promedio de la sala está en el rango de 25 dB(A). Refiriéndose a la Figura 7-2, nosotros podemos ver que para un nivel de ruido ambiente en el rango de 25 dB(A),

el EAD para una voz baja sería aproximadamente 2 metros, o un nivel de discurso de aproximadamente 60 dB SPL.

Para un nivel de campo directo de 60 dB a una distancia de 20 metros, la sección de LF del altavoz requerirá una entrada de señal de 0.1 vatios (en 8 ohms). En el modo de bi - amplificación la sección de HF requerirá considerablemente menos de 0.1 vatio de entrada para alcanzar el nivel deseado a una distancia de 20 metros.

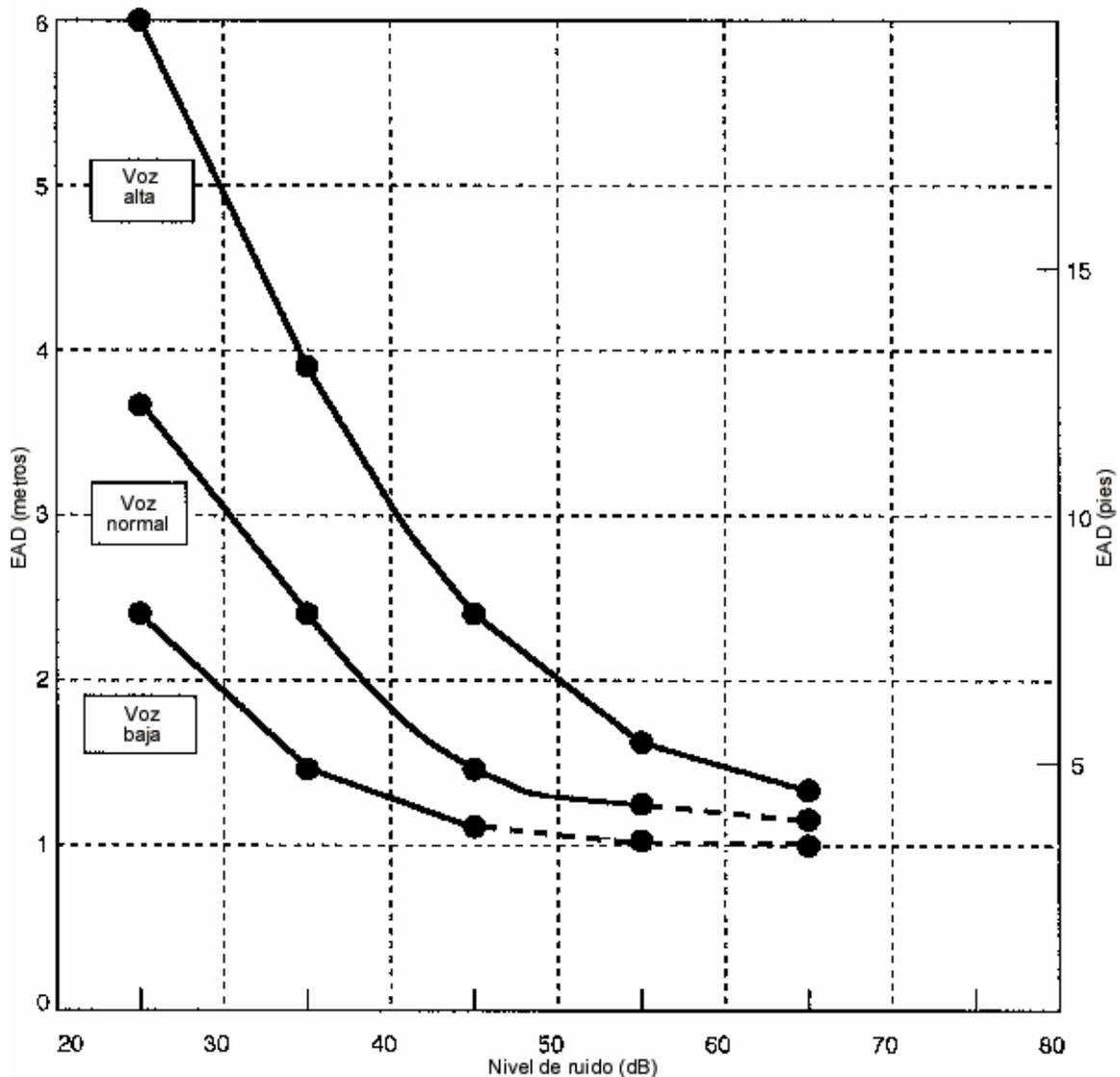
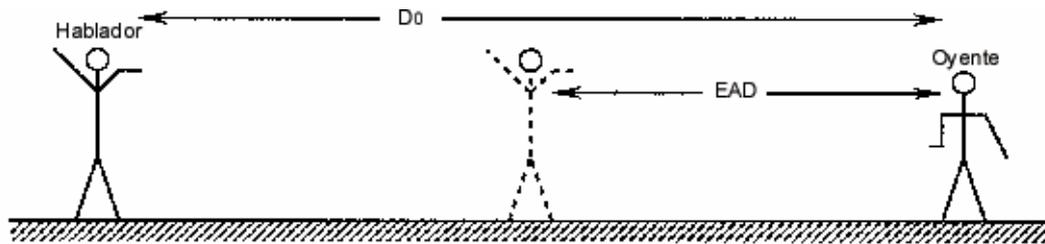


Figura 7-2. EAD vs. niveles de ruido.

Paso Tres:

Para una entrada de micrófono simulada de 72 dB SPL, ajuste las salidas de HF y de LF del DSC260 para niveles nominales de 0.4 Vrms. Entonces, avance control de ganancia de LF en el amplificador MPX600 hasta que un nivel de referencia de 60 dB SPL sea alcanzado a una distancia de 20 metros. Siguiendo esto, aumente el nivel de la sección de HF para alcanzar el mismo valor.

Se muestran detalles aquí en Figura 7-1.

Poniendo de esta manera, habrá headroom adecuado, en la consola, controlador, y amplificador de potencia para manejar niveles nominales de discurso superior a 25 dB, esto debe considerarse necesario en la vida.

Valuación de potencia del Amplificador y del Altavoz

Una pregunta constante es: ¿qué valuación de potencia de amplificador yo elijo para el uso con un altavoz de una valuación de potencia dada? La respuesta detallada se dirige en la Nota Técnica de JBL Volumen 1, Numere 16A; aquí, nosotros resumiremos sólo esas recomendaciones:

1. Para sistemas que se enfatizarán con la salida completa del amplificador para periodos largos de tiempo, nosotros recomendamos que la valuación de salida continua del amplificador se escoja igual a la valuación de potencia de entrada del altavoz. Las situaciones de esta clase ocurren principalmente en el refuerzo de música dónde una constante, la señal de banda - ancha predomina.
2. Para aplicaciones como el refuerzo del discurso dónde hay un operador que controla los niveles cuidadosamente, nosotros podemos recomendar un amplificador confiadamente con capacidad de salida que es el doble, (3 dB mayor) de la valuación continua del altavoz. Lo razonable aquí es que la potencia pico, sea ligeramente mayor que la valuación continua del altavoz, puede manejarse sin problema, y tiene sentido para proporcionar la amplificación adecuadamente.
3. Para aplicaciones críticas de monitoreo, como en estudios de grabación o ambientes de post producción de película, pueden escogerse los amplificadores que pueden entregar cuatro veces (6 dB mayor) la potencia que el altavoz puede resistir en una base continua a largo plazo. Lo razonable aquí es que los altavoces ordinariamente pueden manejar picos de frecuencias medias y altas de duración corta que son mucho más alto en la potencia instantánea que la valuación continua a largo plazo del altavoz.

En más aplicaciones de refuerzo de discurso, la condición 2 se aplicará. Note sin embargo que no hay necesidad absoluta para usar el amplificador más grande a menos que se anticipen altos los niveles picos acústicos.

Medidas del cable y Pérdidas de la Línea

En el diseño moderno del sistema de sonido, la práctica normal es localizar los amplificadores de potencia tan cerca de las cargas del altavoz como sea posible para que las pérdidas de la línea sean despreciables. Sin embargo, en algunas aplicaciones esto no es posible, y el diseñador debe considerar las pérdidas de la línea, escogiendo medidas del cable que mantendrán un mínimo aceptable. La Figura 7-3 muestra los cálculos fundamentales.

Note que hay realmente *dos* fuentes de pérdida: la pérdida en el cable y la pérdida debido a la desigualdad de impedancia que la carrera larga del cable puede causar. Por ejemplo, permítanos asumir una señal de entrada de 8 voltios en una carga nominal de 8 ohms. Sin las pérdidas de la línea, la potencia disipada en la carga sería 8 watts (E^2/R_L).

Permítanos asumir que la carrera del cable es 80 metros y el cable AWG #10 se usa. Usando la tabla, podemos ver que la resistencia del cable en cada pata será:

$$R = 80/300 = 2.6 \text{ ohms}$$

y la resistencia total alrededor del viaje en la carrera del cable será dos veces ese valor.

El voltaje por 8-ohm de carga será entonces:

$$E_L = 8/[8 + (2 \times .26)] \times 8 = 7.5 \text{ volts,}$$

y la potencia disipada en la carga será:

$$P_L = (7.5)^2/8 = 7 \text{ watts}$$

La pérdida de potencia es entonces:

$$\text{Pérdida (dB)} = 10 \log (7/8) = 0.58 \text{ dB}$$

La ecuación general para la pérdida en dB es:

$$\text{Pérdida dB} = 20 \log R_L/(R_L+2R_1)$$

donde R_1 es la resistencia en cada uno de las dos patas del cable, y R_L es la resistencia de la carga.

Tal como se da aquí, la pérdida consiste en dos condiciones: la pérdida real generada en la carrera del cable y la pérdida agregada contraída debido a la desigualdad de impedancia entre la carga proyectada y la carga real.

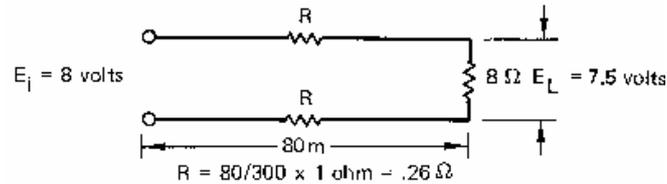
La práctica buena de diseño dicta que las pérdidas en la carga se sostengan a 0.5 dB o menos.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

MEDIDA DE CABLE AMERICANO (AWG)	RESISTENCIA POR 100m (1000 pies). COBRE
10	1 ohm
12	1.6
14	2.5
16	4
18	6.3
20	10

PRUEBE EL CÁLCULO:

ENCUENTRE LA PÉRDIDA DE POTENCIA EN UNA CARRERA DE 80m DE CABLE AWG N° 10 PARA UNA CARGA DE 8-ohm.



$$E_L = \frac{8}{8 + (2 \times .26)} \times 8 = 7.5 \text{ volts}$$

$$P_L = (7.5)^2 / 8 = 7 \text{ watts}$$

$$\text{PERDIDA dB} = 10 \log (7/8) = .58 \text{ dB}$$

Figura 7-3. Cálculo de resistencia en las carreras del cable.

Sistemas de Distribución de Voltaje constante (70-voltio línea)

Muchos sistemas de distribución en los Estados Unidos hacen uso de 70-volt de línea para impulsar sistemas de multi - altavoz. En Europa 100-volt de línea es común. En cualquier sistema, la potencia de salida completo del amplificador está disponible en un voltaje de línea de 70 Vrms o 100 Vrms, respectivamente.

Poniendo las cargas por la línea, el ingeniero del diseño guarda una cuenta del número de watts de potencia deducida simplemente de la línea. No existe la necesidad de calcular la impedancia de carga agregada en cualquier punto en el proceso. Cuando el número total de watts deducido de la línea es igual a la valuación de potencia del amplificador, entonces la línea está totalmente cargada y propiamente emparejada.

La Figura 7-4 muestra detalles de un sistema de distribución de 70-volt. La carga máxima en el amplificador se transforma para que el voltaje aplicado fuera 70 Vrms. Esto corresponderá entonces a un total de impedancia de carga transformado, Z_L , igual a $5000/P_O$ donde P_O es la salida de potencia máxima del amplificador.

Se ponen las cargas individuales por el amplificador en transformadores paralelos de distribución de línea - a - altavoz usando un

primario de 70-volt y un secundario designado en watts.

El diseñador del sistema (o instalador) meramente tiene que guardar una cuenta de watts deducida de la línea, y cuando el número de watts es igual a la valuación de potencia continua de salida del amplificador, entonces el sistema está totalmente cargado.

Ordinariamente, ninguna carga adicional se pondrá por la línea, pero hay alguna derivación aquí.

La alternativa de distribución de 70-volt es contener vías de impedancias de carga en paralelo combinadas laboriosamente, una tarea grande. Los detalles de un transformador de 70-volt se muestra en la Figura 7-5.

En Europa, un sistema de transmisión de 100-volt, derivado de una manera similar, se usa.

El Aumento de Frecuencia baja—Subwoofers

Si en el cine o en los espacios abiertos, los sistemas de aumento de LF están poniéndose populares para los efectos especiales. Para las aplicaciones interiores muchos ingenieros acústicos calculan el nivel de presión de sonido reverberante que puede producirse por un transductor, o grupo de transductores, operando continuamente sobre una banda de frecuencia baja asignada, normalmente de 25 Hz a aproximadamente 80 Hz. La ecuación para determinar el nivel reverberante es:

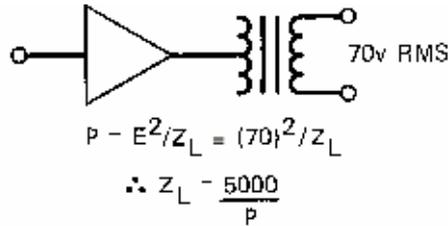
$$L_{REV} = 126 + 10 \log W_A - 10 \log R,$$

donde W_A es la salida de potencia continua acústica del transductor y R es la constante de la sala en m^2 .

Usando esta ecuación, nosotros asumimos que el espacio es bastante reverberante en las frecuencias muy bajas y que el valor del coeficiente de absorción a 125 Hz (el valor más bajo normalmente declarado para los materiales) será adecuado para nuestros propósitos.

Algunos ingenieros de diseño prefieren hacer los cálculos del campo directo real para una o más unidades de subwoofer a una distancia, digamos, de dos tercios la longitud del espacio adjunto. En los espacios grandes de la película, ambos juegos de resultados de rendimiento normalmente están dentro de 5 dB.

El fenómeno de acoplamiento mutuo siempre viene a nuestra ayuda aumentando la salida de potencia de unidades de subwoofer combinadas. La Figura 7-6A muestra el



POTENCIA	IMPEDANCIA DE CARGA
100w	50 Ω
200	25
250	20
300	16.7

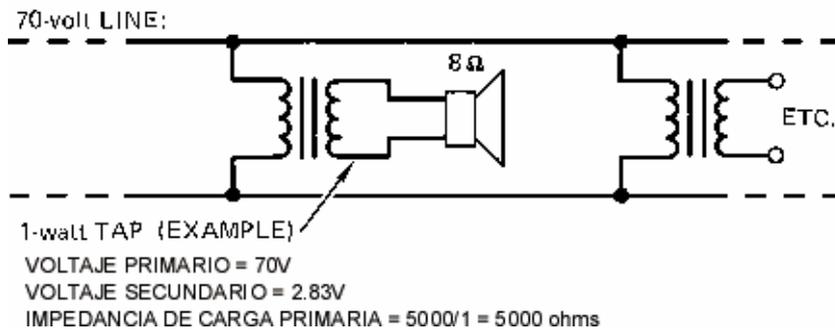


Figura 7-4. Detalles de un sistema de transmisión de 70-volt.

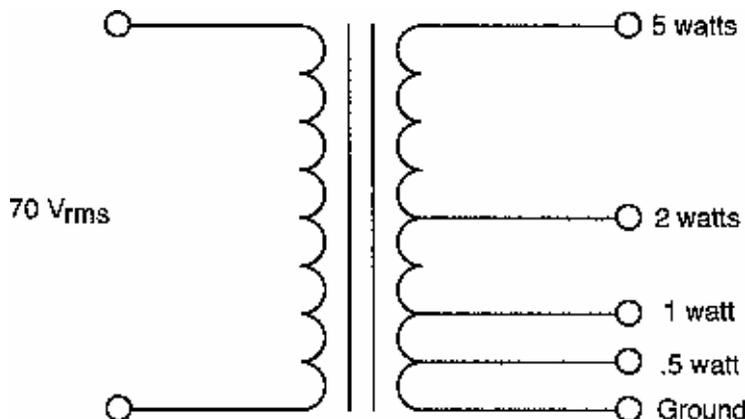


Figura 7-5. Detalles de un transformador típico de 70-volt de distribución.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

coeficiente de transmisión para un radiador directo como una función del diámetro del cono. La curva sólida es para una sola unidad, y la curva punteada es para dos unidades posicionadas muy cerca. Además de la capacidad de manejo doble de potencia producida por las dos unidades, la curva punteada muestra un aumento de 3 dB en el coeficiente de transmisión a frecuencias bajas. Esto es debido básicamente a la tendencia de los dos drivers para comportarse como una sola unidad con un diámetro de cono más grande, y de eficiencia más alta. Así, en B, nosotros vemos la respuesta relativa de un solo woofer (curva sólida) comparada para dos radiadores (curva salpicada). Note que el punto superior de transición de frecuencia para el par es 0.7. Tales unidades que nosotros combinamos, el más bajo y efectivo corte - fuera de frecuencia debajo del acoplamiento mutuo es el operante.

Como un ejemplo, permítanos escoger un cine grande con los siguientes parámetros físicos:

- V = 14,000 m³
- S = 3700 m²
- T₆₀ = 1.2 segundos
- R = 2500 m²

Nosotros usaremos el transductor de LF JBL 2242H.

Teniendo en cuenta su valuación de potencia y su compresión dinámica al potencia completo, nosotros notamos que su salida de potencia en watts acústico será:

$$W_A = (W_E \times \text{eficiencia de referencia}) 10^{-dB/10}$$

donde W_E es la valuación de potencia continua del transductor (watts) y -dB es la compresión de potencia del transductor en la potencia completa.

Sustituyendo los valores de W_E de 800 watts, la eficiencia de referencia de .004, y compresión de potencia de 3.3 dB, nosotros conseguimos el valor de 15 watts acústicos.

El nivel reverberante en un espacio con una constante de la sala de 2500 es entonces:

$$L_{REV} = 126 + 10 \log 15 - 10 \log 2500 = 104 \text{ dB SPL}$$

Nosotros podemos construir la siguiente tabla ahora:

Numero de Unidades	Nivel Máximo	Potencia de Entrada
1	104 dB	800 W
2	110 dB	1600 W
4	116 dB	3200 W

Nosotros no podemos continuar este proceso mucho más allá de lo mostrado aquí. Lo que pasa es que la frecuencia debajo del acoplamiento mutuo se cae debajo de la frecuencia de corte nominal del sistema, y eventualmente lo que nosotros vemos son aumentos de 3 dB por duplicar elementos.

Al aire libre, para subwoofers múltiples es mejor asumir que los niveles caen según la ley del cuadrado inversa.

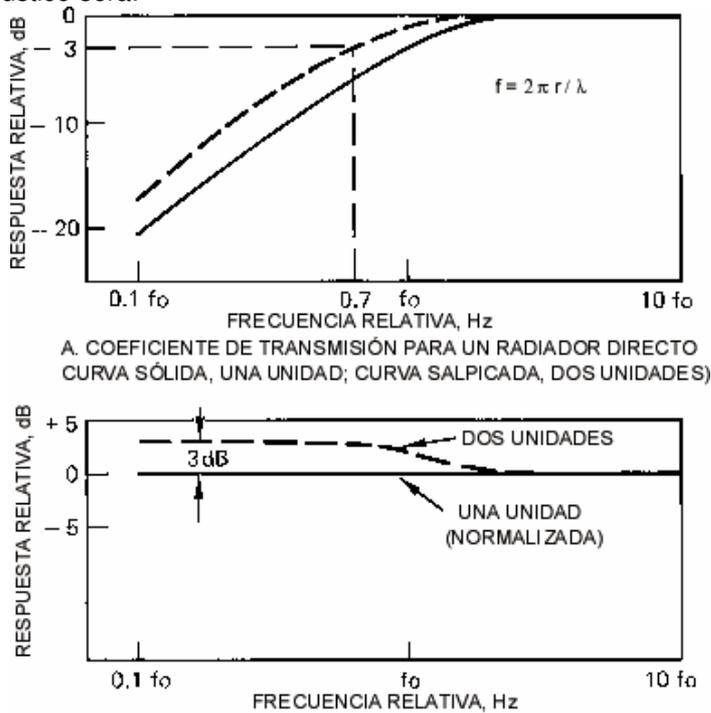


Figura 7-6. Detalles de acoplamiento mutuo.

Caso de Estudio A: Un Sistema de Discurso y Música para una Iglesia Evangélica Grande:

1. Descripción básica y Característica técnicas:

El diseño arquitectónico en forma de abanico mostrado en la Figura 7-7 es común para las iglesias evangélicas modernas. Es probable que el problema acústico mayor sea el frente encorvado del balcón y la pared.

Si no son propiamente tratadas, estas superficies pueden causar reflexiones severas en la parte de atrás de la plataforma. En muchos casos, se diseñan tales espacios con una superabundancia de material absorbente, haciendo la sala bastante muerta. Hay una necesidad entonces por un sistema de refuerzo de discurso - música muy robusto para proporcionar un sentimiento de ambiente y envolvimiento acústico.

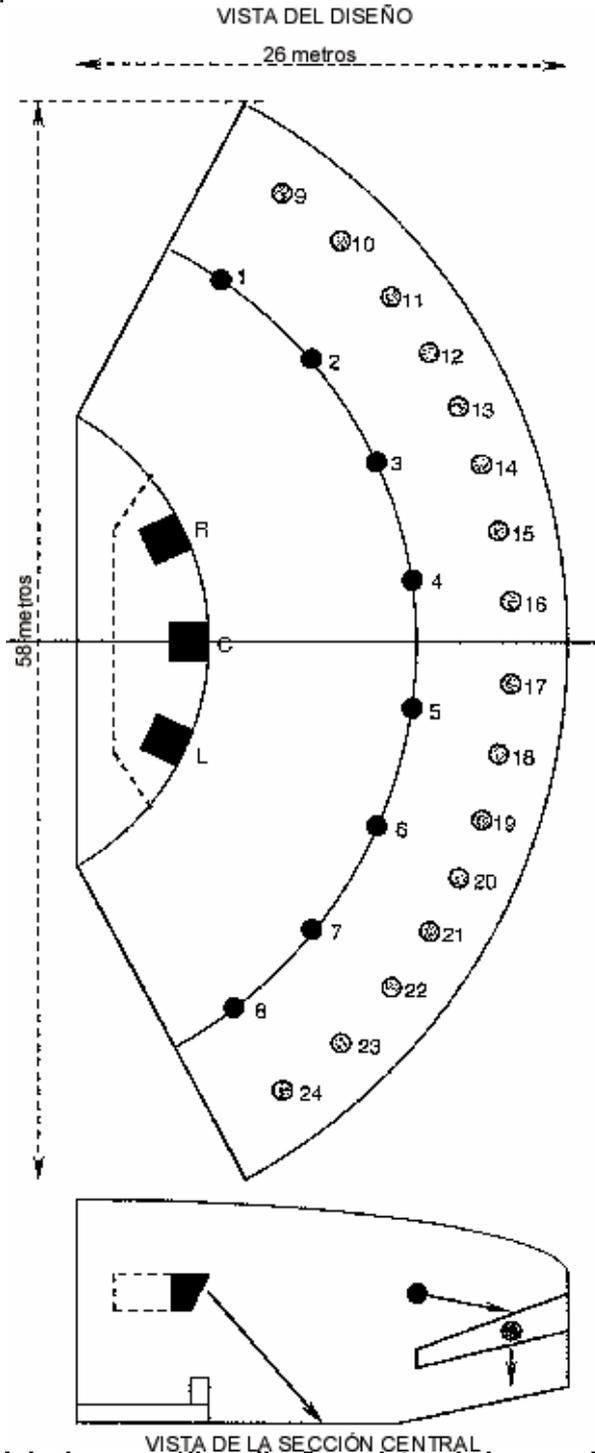


Figura 7-7. Iglesia evangélica, diseño y vistas de las secciones.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

El sistema consiste en una serie de canales de música estereofónica central izquierda, centro, y derecha; el discurso sólo se reforzará sobre el canal del centro. La cobertura tardada para el área del balcón se proporcionará por un anillo de siete altavoces colgados, y la cobertura debajo del balcón se aumentará por un anillo de quince altavoces montados. La serie principal sobre la plataforma debe diseñarse para una cobertura horizontal nominal de 120 grados. Si un análisis de CADP2 muestra que se necesitan, pueden agregarse altavoces delanteros y laterales para aumentar la cobertura en esas áreas del suelo principal.

La serie estereofónica principal es proyectada para cubrir principalmente el suelo principal y las primeras filas bajo el balcón. La cobertura del área del balcón será esencialmente monofónica, con la misma señal alimentada a todos esos altavoces.

Los sistemas de altavoces estereofónicos principales deben ser capaces de extender ancho de banda en las frecuencias bajas y altas. Se esperan niveles de música de 105 dB en el suelo principal.

2. Ejercicios:

2.1 Series principales:

1. Especificar los elementos en cada uno de las tres series principales y determinar la potencia necesitada.

2.2 Primer Anillo de Retraso:

1. Especificar los elementos necesarios, la potencia requerida, y método de distribución.

2.3 Segundo Anillo de Retraso:

1. Especificar los elementos necesarios, la potencia requerida, y método de distribución.

3. Sugerir respuestas a los Ejercicios:

3.1 Series principales.

Hay dos aproximaciones básicas diseñando las series principales. Una de costumbre puede reunirse con gabinetes individualmente fabricados de frecuencias bajas y medias. El beneficio en esta aproximación es que los componentes de HF pueden agruparse firmemente juntos, con un mínimo de interferencia entre ellos. Sin embargo, el coste de aparejar puede hacer esta aproximación irrazonablemente cara.

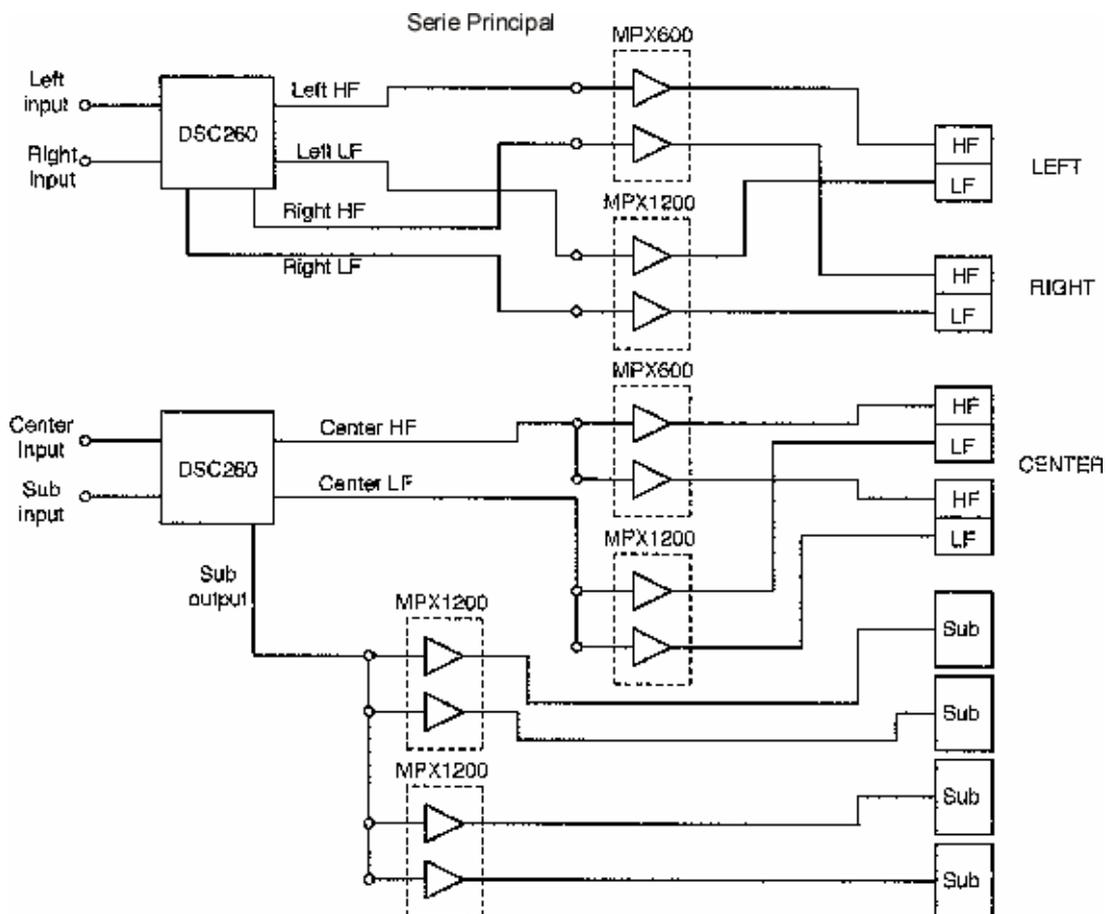


Figura 7-8. Diagrama eléctrico de la serie principal.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

La otra aproximación es usar los bloques preexistentes, como el sistema SP225-9.

Específicamente, pueden formarse cuatro de estos sistemas con el espacio suficiente entre ellos para una buena presentación estereofónica y pueden extenderse para producir un ángulo de cobertura de 135°. Un par central de unidades SP225-9 debe localizarse lado a lado y debe extenderse en su ángulo común para dar 120° de cobertura. Este canal es principalmente para el discurso, pero puede usarse como un canal central estereofónico para música. Las dos unidades SP225-9 restantes se usarán para la presentación estereofónica izquierda y derecha.

Todas las unidades tendrán un ángulo de elevación descendente nominal de

aproximadamente 60°, y el tiro promedio al suelo principal es 10 metros. Los cálculos de nivel son como sigue:

Nivel	Potencia	Distancia
100 dB	1 W	1 metro
131 dB	1200 W	1 m
111 dB	1200 W	10 m

En este caso, nosotros estamos impulsando las dos unidades de LF en cada SP225-9 como un paralelo de carga (4 ohm) para ser manejado por una sección de un amplificador MPX1200.

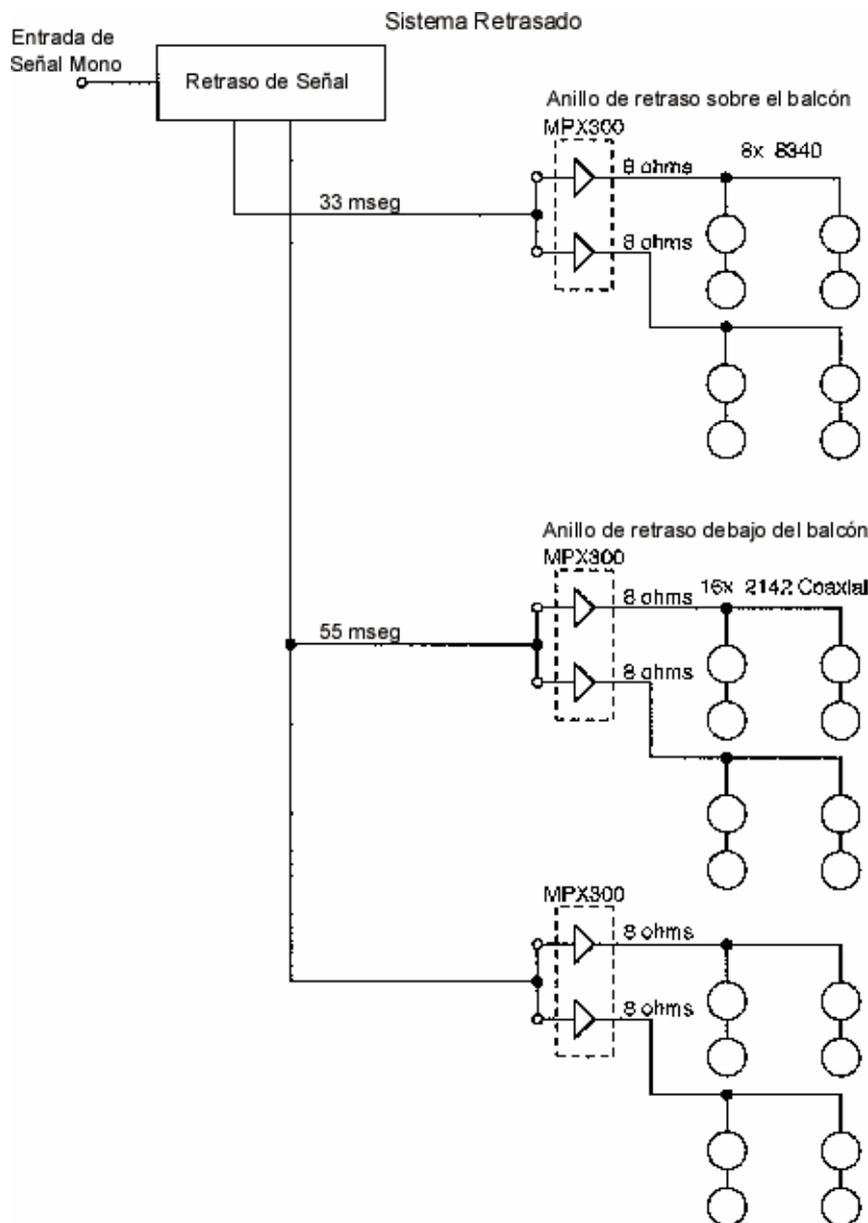


Figura 7-9. Diagrama eléctrico de sistemas retrasados.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Las tres secciones de HF en cada serie principal deben ser impulsadas por una sección de un amplificador MPX600 (200 watts en 16 ohms). Cada una de las cuatro series principales también deben tener un módulo SP128S subwoofer. Éstos se impulsarían de la misma manera como las secciones de LF de las unidades SP128S. Se dan los cálculos de nivel:

Nivel	Potencia	Distancia
102 dB	1 W	1 metro
133 dB	1200 W	1 m
113 dB	1200 W	10 m

El diagrama eléctrico para la serie principal es mostrado en la Figura 7-8.

3.2 Anillos de retraso:

El primer anillo de retraso de altavoces debe componerse de altavoces bastante robustos, como los 8340A. Cada uno de estos ocho altavoces tiene un rango de tiro lejano de aproximadamente 6 metros y puede alojar 150 watts de entrada. Nosotros podemos calcular el nivel de salida de cada uno, como sigue:

Nivel	Potencia	Distancia
96 dB	1 W	1 metro
118 dB	150 W	1 m
102 dB	150 W	6 m

Como un conjunto, estos ocho altavoces proporcionarán una cobertura agregada de frecuencia alta al balcón, asegurando la buena articulación.

El sistema debajo del balcón consiste en 16 transductores localizados 2 metros encima de la altura de la oreja del oyente sentado. El modelo 2142 tiene una sensibilidad de 97 dB y una valuación de potencia de 90 watts.

Un oyente sentado directamente debajo de uno de estos transductores, si se impulsa por 1 watt, oirá un nivel de 91 dB. Un oyente en media vía entre un par de ellos oirá un nivel de aproximadamente 90 dB. 90-watt de valuación media del transductor puede desarrollar niveles máximos de aproximadamente 110 dB bajo el balcón.

Caso de Estudio B: Un Sistema de Refuerzo de Discurso Distribuido para una Iglesia Litúrgica Grande

1 Información general y Básicas especificaciones de funcionamiento:

El sistema a ser estudiado aquí es típico de lo que puede encontrarse en casi cada edificio religioso grande en Europa y en muchas ciudades grandes en U. S.

Se muestran el plano y las vistas de la sección delanteras en la Figura 7-10. El edificio bajo consideración aquí tiene un volumen interior de 12.000 metros cúbicos y el área de la superficie de 4000 metros cuadrados. Un tiempo de reverberación de media - banda de 2.5 segundos indica un valor de 800 metros cuadrados de unidades de absorción ($S\alpha$), como extrapolado en la Figura 5-10.

Nuestras principales preocupaciones con un sistema en semejante espacio como éste son la proporción directo - a - reverberante del discurso neto y el propio tiempo de reverberación.

Cada altavoz contribuirá un nivel reverberante global detrás del discurso amplificado, y nuestro primer paso es determinar el número de altavoces que se requerirán para cubrir el área entera de asiento. Estudiando la vista del plano del edificio, nosotros podemos ver que 8 altavoces cubrirán el **transept**, mientras 10 sistemas cubrirán la nave.

2 Análisis:

El más largo "tiro" que se requerirá de cualquier único altavoz es cubrir a un oyente sentado en el pasillo del centro, una distancia de aproximadamente 7 metros. Permítanos ahora especificar un JBL Control 28 e impúselo para producir un nivel de 85 dB a una distancia en - eje de 7 metros.

Nosotros podemos hacer esto directamente poniendo al familiar mapa de nivel / potencia / distancia como sigue:

Nivel	Potencia	Distancia
92 dB	1 W	1 metro
75 dB	1 W	7 m
85 dB	10 W	7 m

Nosotros queremos hacer una estimación del nivel reverberante que existirá en la sala cuando el sonido directo de un solo altavoz al oyente es 85 dB. Para hacer esto, nosotros debemos determinar la eficiencia del altavoz. Tomando los datos de la hoja de especificaciones del Control 28, y promediando el DI sobre el rango de 200 a 2000 Hz, nosotros usamos la ecuación siguiente:

Sensibilidad(1W @ 1m)=109+DI+10log eficiencia.

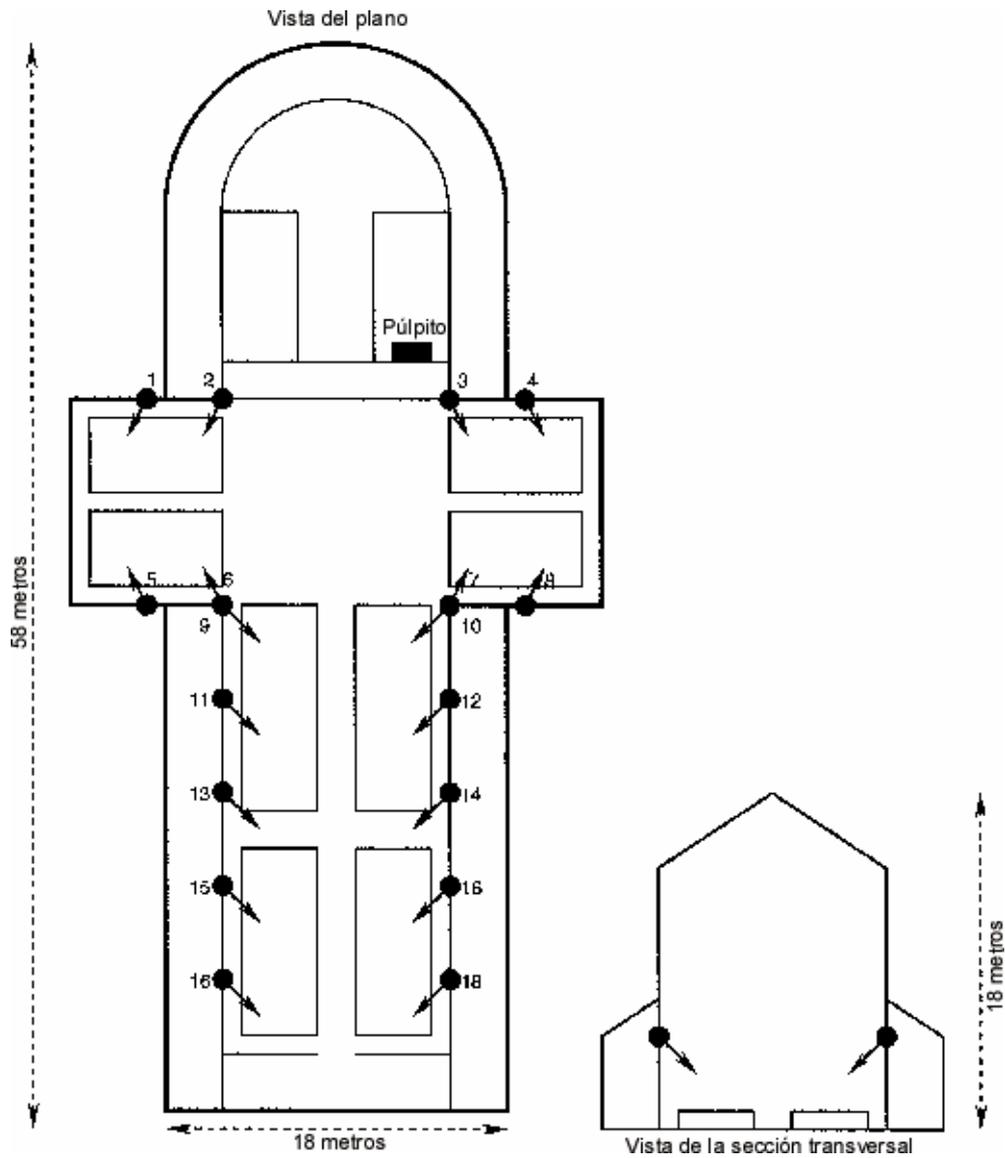


Figura 7-10. Plano y vistas de elevación delanteras de iglesia litúrgica grande.

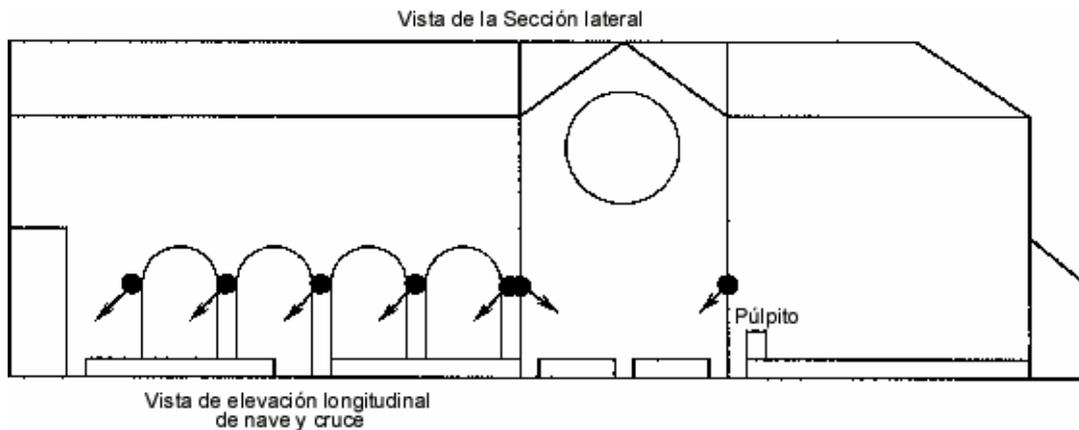


Figura 7-11. Vista de elevación lateral de iglesia litúrgica grande.

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

Introduciendo valores y reorganizando:

$$10 \log \text{Eficacia} = 92 - 109 - 5 = -22$$

La eficacia es entonces $10^{-22/10} = 10^{-2.2} = .63\%$

La contribución total al campo reverberante será de los 18 altavoces que trabajan. Nosotros podemos calcular el potencia acústica radiada como: $18 \times 10 \times 0.0063 = 1.134$ watts acústicos. Aquí, 18 es el número de altavoces individuales, 10 W es la potencia eléctrica aplicada a cada uno de ellos, y 0.0063 es la eficacia.

Para el próximo paso en el análisis nosotros necesitamos determinar el nivel reverberante resultante en la sala.

$$L_{\text{rev}} = 126 + 10 \log W_A - 10 \log R$$

En los espacios relativamente vivos, $S\alpha$ y R son virtualmente idénticos; por consiguiente,

$$L_{\text{rev}} = 126 - 0.6 - 29 = 96 \text{ dB SPL.}$$

Nosotros hemos alcanzado un punto ahora en nuestro análisis dónde podemos estimar la actuación del sistema global con respecto a la inteligibilidad del discurso. Nosotros conocemos lo siguiente:

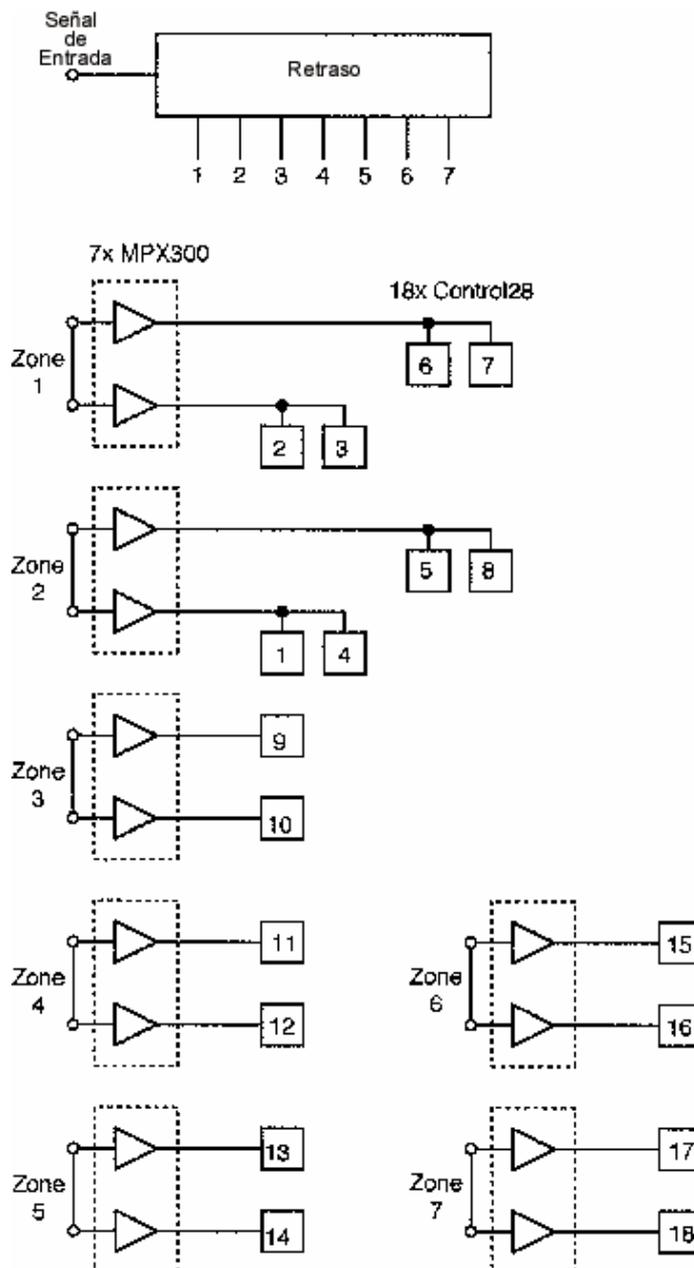


Figura 7-12. Diagrama eléctrico de retraso que divide en zonas el sistema.

1. Que cuando un solo altavoz produce un nivel de 85 dB SPL al oyente más lejano, el nivel reverberante resultante es 96 dB SPL.
2. Que el tiempo de reverberación de banda - media en la sala es 2.5 segundos.

Como nuestro paso final en el análisis, podemos verificar la inteligibilidad probable del discurso, según Peutz la Pérdida de articulación de consonantes (P.a. cons) por medio del plano mostrado en la Figura 6-13.

Localizando la proporción directo - a - reverberante de -11 dB a lo largo del eje del fondo, y subiendo a la línea horizontal que corresponde a un tiempo de reverberación de 2.5 segundos, nosotros vemos que la actuación del sistema está ligeramente por encima del límite de 15% P.a. cons. Esto indica que nosotros apenas hemos tenido éxito en nuestra meta del diseño de actuación aceptable. En otros términos, nuestro análisis ha mostrado que tenemos la aceptabilidad marginal por lo que se refiere a la inteligibilidad del discurso.

En realidad, hay tres factores que trabajarán en nuestro favor:

1. El criterio de Peutz está basado en las relaciones acústicas en 2 kHz. Con la reverberación medio - banda (500 Hz) a 2.5 segundos, nosotros podemos asumir que ese tiempo de reverberación a 2 kHz será aproximadamente 2.2 segundo debido al exceso de atenuación aérea, como puede leerse desde la Figura 5-13.
2. Nosotros no hemos considerado todavía que el área de la superficie (como opuesto al coeficiente de absorción promedio) es más absorbente que el coeficiente de absorción promedio. A 2 kHz, el área del público tendrá un coeficiente de absorción estimado en aproximadamente 0.5, y esto indica que el nivel reverberante real generado por el sistema de refuerzo podría ser 3 dB menos que lo que indican nuestros cálculos. Esto movería fácilmente nuestros datos en el gráfico de la Figura 6-13 muy cerca de "BUENA" zona. Claro, nosotros debemos tener en cuenta el número real de personas presente en el área del público antes de que esta asunción pueda hacerse. En cualquier domingo dado, si pueden halagarse todos los asistentes en los bancos delanteros, los altavoces detrás de ellos son innecesarios y pueden apagarse, reduciendo el nivel del campo reverberante.

3. El factor final que trabaja en nuestro favor sería la reducción de tiempo de reverberación en el espacio debido a la presencia de la congregación. Recuerde que el tiempo de reverberación de 2.5 segundos es para la sala vacía.

3 La División en zonas de retraso:

Las escenas de retraso sugeridas son:

Zona 1. Altavoces 2, 3, 6, y 7	10 mseg
Zona 2. Altavoces 1, 4, 5, y 8	22 mseg
Zona 3. Altavoces 9 y 10	40 mseg
Zona 4. Altavoces 11 y 12	55 mseg
Zona 5. Altavoces 13 y 14	70 mseg
Zona 6. Altavoces 15 y 16	85 mseg
Zona 7. Altavoces 17 y 18	100 mseg

4 Comentarios generales:

El sistema descrito en esta sección acentúa la inter - relación compleja entre la acústica y electroacústica que son inherentes en el diseño de refuerzo de sonido básico en los espacios grandes, vivos. Nosotros instamos fuertemente que todas las relaciones básicas presentadas aquí se estudien cuidadosamente y se entienden. Los principios fundamentales que nos gustaría enfatizar son:

1. Siempre que sea posible, use altavoces distribuidos que cubran el área de asientos, pero ese tiene el corte rápido más allá de sus ángulos de cobertura nominales; en otros términos, guarde el DI en - eje tan alto como sea posible consecuente con la cobertura requerida.
2. Intente minimizar la distancia de tiro más larga dentro de una zona de altavoz dada. Se han puesto los altavoces arriba de los candelabros. Los sistemas de la parte de atrás de los bancos devuelven este acercamiento al límite.
3. Sitúe la congregación hacia el frente de la sala y apague los altavoces innecesarios.
4. Se diseñaron muchos espacios grandes durante un tiempo cuando pocas personas se preocuparon de la inteligibilidad del discurso, y muchos espacios litúrgicos son absolutamente vivos para los requisitos modernos. Una valoración cuidadosa debe hacerse aquí, y ningún espacio litúrgico vivo debe alterarse acústicamente sin el consejo y asesoramiento de un consultor acústico experimentado.

Caso de Estudio C: Especificaciones para un Sistema de sonido distribuido que comprende un salón de baile, espacio de Reunión pequeño, y Area de Social/Bar.

1. Información general y especificaciones de Función Básica:

1.1 Descripción del salón de baile: El tamaño del espacio es 33 metros de largo, 22 metros de ancho, y 8 metros de alto. Un escenario se localiza al centro de un lado corto, y la sala puede usarse para banquetes, exhibiciones, y eventos sociales como bailes.

Un sistema distribuido (techo) se usará para el discurso / música, así como la amplificación de eventos del escenario. Para este propósito el sistema debe dividirse en zonas para el retraso. Se esperará niveles reforzados arriba de 100 dB SPL, y la cobertura debe ser uniforme dentro de 1.5 dB a una frecuencia de 2 kHz. El espacio normalmente se alfombra, salvo para bailar. El tiempo de reverberación es mínimo.

1.2 Descripción Espacial de Reunión: Este espacio es típico de muchos que se encontrarán en convenciones y áreas de reunión. El tamaño es 8 metros por 5 metros y 3 metros de alto. Un sistema del techo distribuido será diseñado,

uniforme dentro de 1.5 dB a 2 kHz. Se esperan niveles máximos normales de 85 dB SPL.

1.3 Área social: Este espacio es de forma irregular, como se muestra en el diagrama. En primer plano el sistema de música estereofónico será especificado para este espacio. El sistema debe ser capaz de producir niveles de 85 dB SPL. También hay un piso disco/dance, y cuatro altavoces de instalación deben proporcionar niveles de 105 dB al centro del piso de baile.

2. Ejercicios:

Estudie las figuras vinculadas que detallan el esquema de sistemas distribuidos en general, y escoja el esquema cuadrado o hexagonal.

2.1 Sistema del salón de baile:

1. Determine la cantidad y colocación de altavoces del techo que se encontrarán en la especificación.
2. Determine la asignación de potencia para cada altavoz y describa el sistema de distribución de potencia (70-volt o bajo - Z).
3. Determine el número mínimo de zonas laborables para el retraso de la señal para los eventos de escenario.

2.2 Sistema de Espacio de reunión:

1. Determine el modelo de altavoz requerido y la densidad del espacio en el techo.

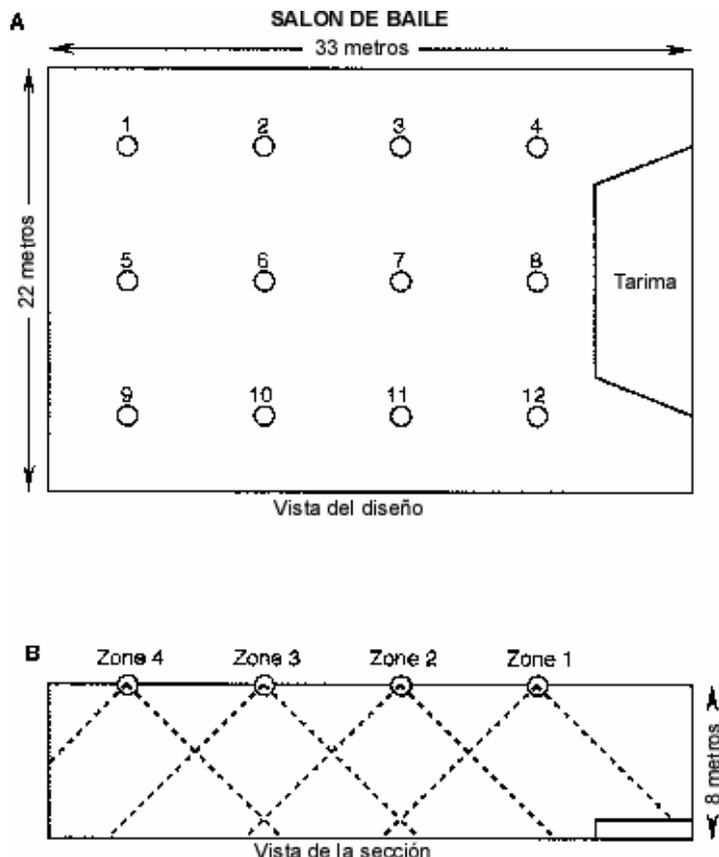


Figura 7-13. Esquema del salón de baile. vista del diseño (A); vista de la sección lateral (B).

- Determine la asignación de potencia para cada altavoz.

2.3 Sistema del Área social:

- Sugiera un esquema estereofónico de altavoces que les proporcionarán el sonido satisfactorio a todos los patrocinadores.
- Determine requisitos de potencia y método de distribución.
- Especifique componentes de discoteca que producirán un nivel de 115 dB SPL en el medio del piso de baile.

3. Respuestas a los Ejercicios:

3.1 Sistema del salón de baile:

- Use la serie cuadrada, con solape centro - a - centro. Razones: los resultados en división en zonas en diseño rectilíneo de la sala son mejores. Diseñando resultados para la altura de la oreja sentada (1 metro) en 12 altavoces.
- Use altavoces coaxiales JBL 2155. Con sensibilidad de 102 dB y valuación de potencia de 150 watts, un

Diagrama de flujo de señal para el Sistema del Salón de baile:

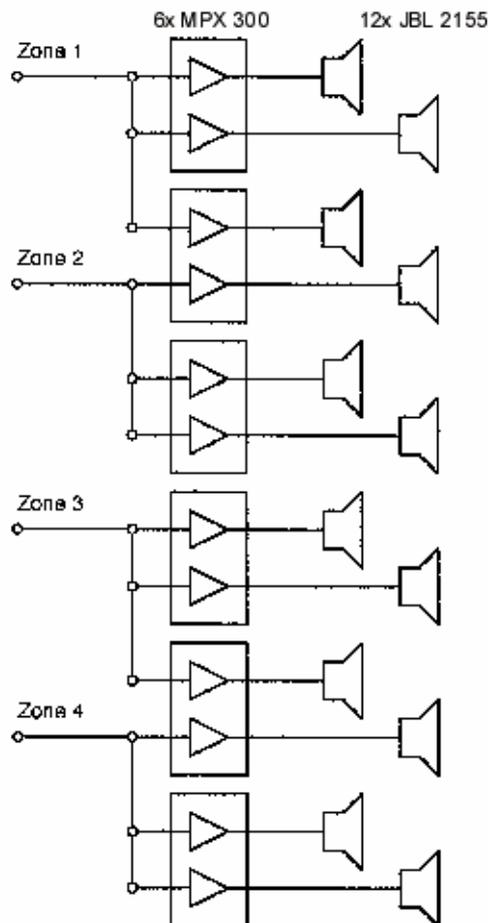
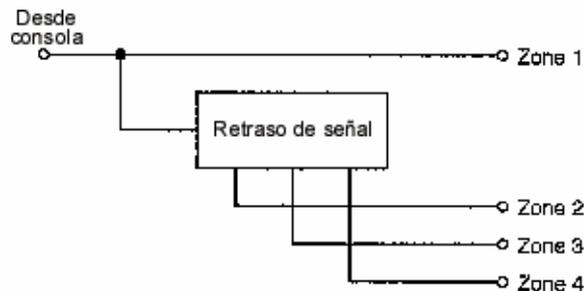


Figura 7-14. Sistema del salón de baile, diagrama de flujo de señal.

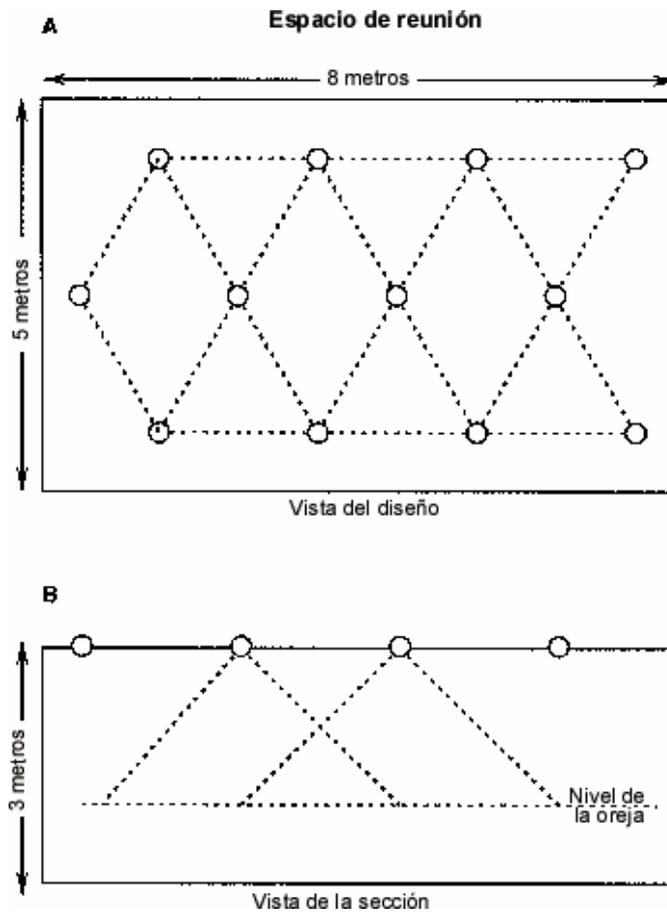


Figura 7-15. Esquema de espacio de reunión. Vista del diseño (A); vista de la sección lateral (B).

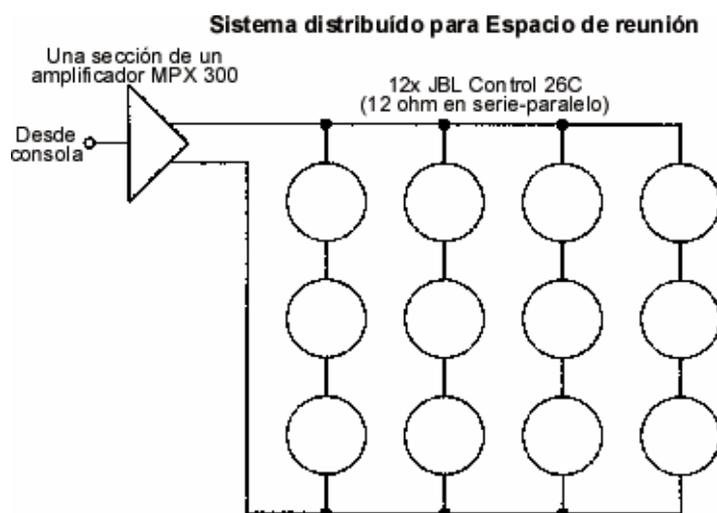


Figura 7-16. Sistema de espacio de reunión, diagrama de flujo de señal.

solo altavoz, a una distancia de 7 metros, produce un nivel de 105 dB. La contribución agregada de los ocho altavoces vecinos aumentará esto por 3 dB, haciendo una capacidad de nivel máxima de 108 dB. Las variaciones de nivel serán 1.4 dB.

Debido a la capacidad del ancho de banda de los altavoces y potencia relativamente alta requerida, un sistema de distribución de impedancia baja debe usarse.

Cada altavoz de 8-ohm debe manejarse por una sección de un amplificador JBL MPX 300, haciendo un total de 6 amplificadores. Esto proporcionará 200 watt en cada altavoz.

JBL Profesional provee un programa para determinar el esquema de densidad de los altavoces distribuidos del techo. Se llama Diseño del Sistema Distribuido, versión 1.1, y corre en Windows 95 y está disponible en JBL Profesional.

3. Requisitos para dividir en zonas: Mida la distancia promedio desde el centro del escenario a la posición central de escucha bajo cada zona. Substraiga desde el valor de 7 metros. Para cada metro de diferencia, calcule 3 milisegundos de retraso:

Zona	Diferencia	Retraso
1	despreciable	0 mseg.
2	12 metros	36 mseg.
3	20 metros	60 mseg.
4	26 metros	78 mseg.

En casos normales, los valores de retraso calculados tendrán que ser ligeramente ajustados en - sitio para la mejor calidad de sonido global.

3.2 Sistema de sala de reunión:

1. Use la serie hexagonal, con solape centro - a - centro, para la mejor cobertura. Se requerirán doce altavoces, y el JBL Control 26C/CT se especificará debido a su ángulo nominal de cobertura de 110°. Con una sensibilidad de 89 dB, una entrada de 1 watt producirá un nivel de 83 dB a una distancia de 2 metros (altura de la oreja). Con un watt alimentado a los seis altavoces vecinos más cercanos, el nivel aumentará a 87 dB que son 2 dB superior que el requisito del diseño.

Es obvio que el uso normal requerirá sólo un watt por altavoz. Sin embargo, nosotros debemos proporcionar al sistema un factor de headroom de 10 dB nominales para aplicaciones indeterminadas. La potencia total en este caso sería 120 watts, y una sola sección de un amplificador JBL MPX300, operando en serie - paralelo, reuniría este requisito. La impedancia de carga resultante de 12 ohms podría aceptar 120 watts fácilmente de una sección del amplificador MPX300.

3.3 Sistema del Área social:

1. El primer plano muestra el sistema estereofónico como alternar altavoces L y R alrededor del área del bar principal. El JBL Control 5 sería un candidato bueno para esta aplicación. Para ver si 12 de las unidades pueden reunir la especificación, nosotros escogeremos una mitad del camino en la sala (marca X) y suma los niveles individuales de los altavoces a ese punto.

Tomando 1 - watt, 1 metro de sensibilidad como un punto de referencia, nosotros podemos poner en una tabla, como sigue, para sumar las contribuciones individuales:

Altavoces	Distancias	S	-	20 log Dist	=	Nivel neto
1	10	89	-	20	=	69
2	8	89	-	18	=	71
3	7	89	-	17	=	72
4	8	89	-	18	=	71
5	8	89	-	18	=	71
6	6	89	-	15	=	74
7	5	89	-	14	=	72
8	6	89	-	15	=	74
9	8	89	-	18	=	71
10	7	89	-	17	=	72
11	8	89	-	18	=	71
12	7	89	-	17	=	72

Total: 82 dB

Manual de Referencia para el Diseño de Sistemas de Sonido

El nivel total en la posición de prueba es 82 dB cuando los 12 altavoces se impulsan con 1 watt, o 85 dB con 2 watts por altavoz. Con 20 watts por altavoz, nosotros tendríamos un margen cómodo de 10 dB sobre nuestro valor designado de 85 dB SPL. El sistema estará "costeando" la mayoría del tiempo, y un solo amplificador estereofónico, con cargas en serie - paralelo, le bastará.

2. Sistema de discoteca. Hay varias posibilidades aquí. Un buen acercamiento sería especificar dos sistemas JBL 4892 Array en cada esquina. Ellos deben montarse cerca del techo y orientados hacia abajo para que las bocinas apunten hacia el centro del piso de baile.

Los 4892 son un sistema biamplificados, y su sensibilidad global de 98 dB está limitada por su sección de LF.

La valuación de potencia de LF es 600 watts. La distancia de cada esquina al centro del piso de baile es 7 metros:

Nivel	Potencia	Distancia
98 dB	1 w	1 m
126 dB	600 w	1 m
109 dB	600 w	7 m

Un total de 8 sistemas 4892 aumentaría la salida por 9 dB, produciendo un nivel de 118 dB al centro del piso de baile. El requisito del amplificador sería 4 unidades de MPX600 y 4 unidades de MPX300. Note cuidadosamente que el MPX600 tiene una capacidad de salida máxima de 400 watts en 8 ohms.

Esto es aproximadamente 2 dB menos que 600 watts.

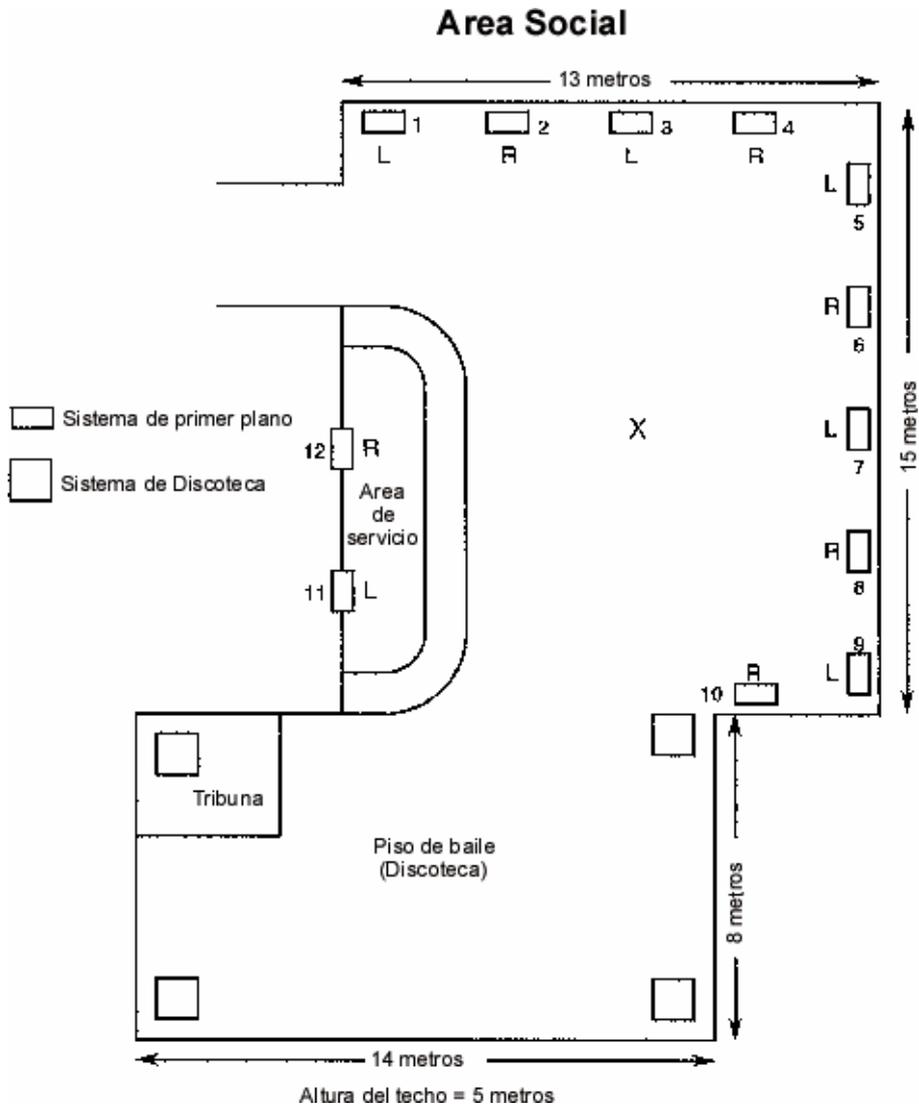


Figura 7-17. Vista del diseño del área social y área de la discoteca.

Para un sistema estéreo, nosotros necesitaríamos un controlador digital DSC260 para la división de frecuencia y otro proceso de señal.

Pueden reunirse cuatro sistemas de Subwoofer JBL 4645B (uno en cada esquina). Los requisitos de impulso serían dos

amplificadores MPX1200 y una sección de un controlador DSC260. Los amplificadores pueden entregar 800 watts el potencia continua por canal en 8 ohms. Con su eficacia de referencia de mitad - espacio de 2.1%, los cuatro sistemas de subwoofer pueden producir una potencia total de 60 watts acústicos.

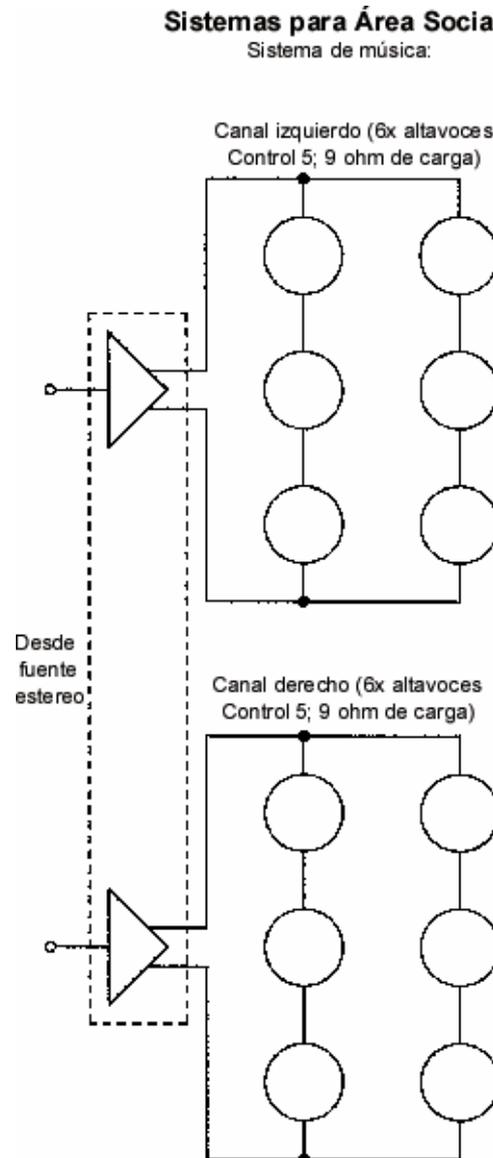


Figura 7-18. Sistema de área social, diagrama de flujo de señal.

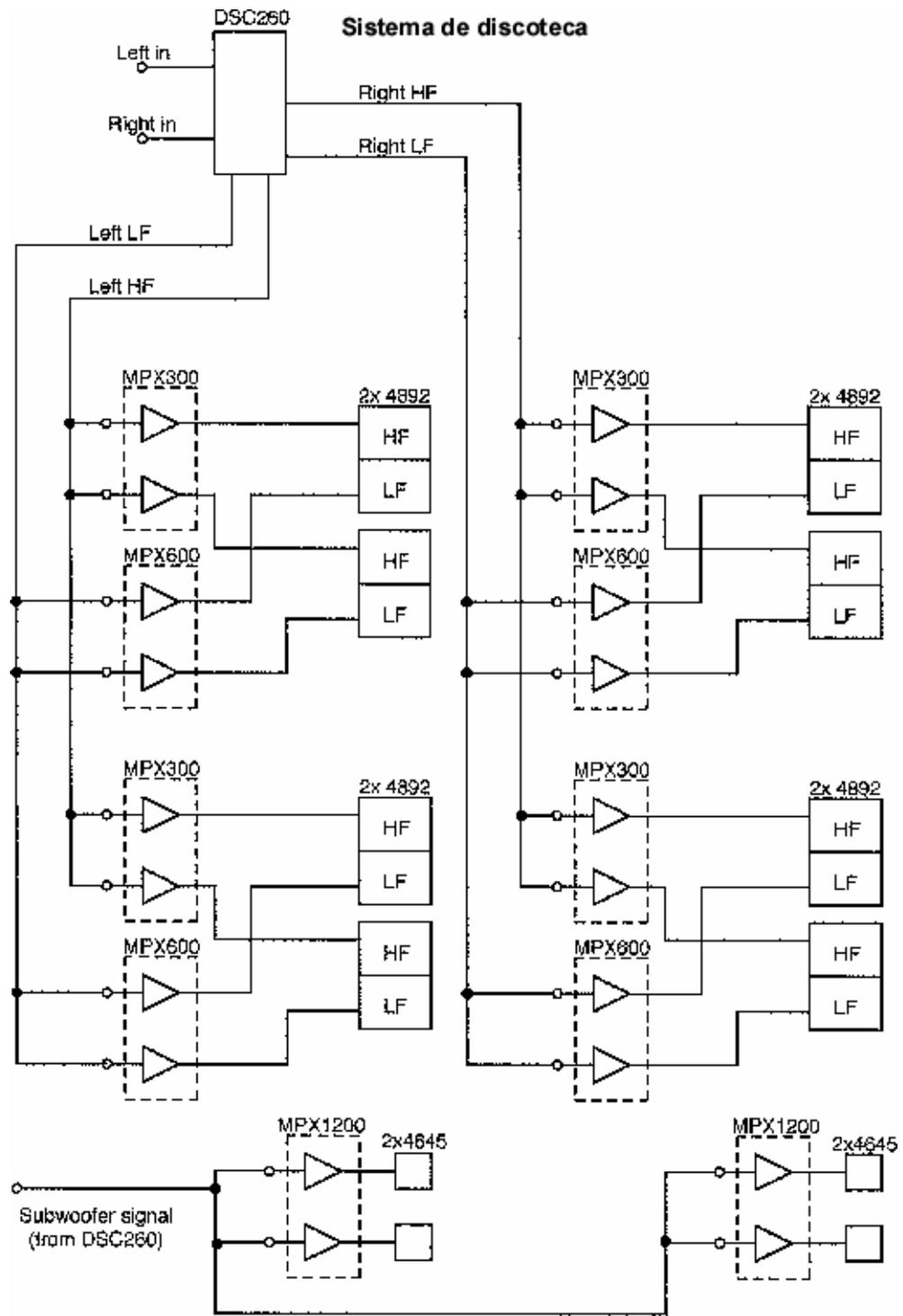


Figura 7-19. Sistema de discoteca, diagrama de flujo de señal.