



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

INSTRUMENTACION DE UN SISTEMA DE
SONORIZACION.

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA: ELECTRONICA)

P R E S E N T A N :

JORGE ROMERO HERNANDEZ
JOSE MARTINEZ MORALES
INGENIERO ELECTRICO ELECTRONICO
(AREA: ANALOGICA)

P R E S E N T A :

ANGEL ALBERTO HERRERA MENDEZ



DIRECTOR DE TESIS: ING. GLORIA MATA HERNANDEZ

CD. UNIVERSITARIA

MEXICO, D. F. 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTOS

Angel Alberto Herrera Méndez

Este trabajo de tesis se lo dedicó con todo mi amor a mis padres Rosa Lucía Méndez y Angel Herrera González, por apoyarme toda mi vida, por su cariño incondicional muchas gracias.

También quiero dedicar mi tesis a mis hermanos Claudia Carolina Herrera Méndez, Diego Eduardo Herrera Méndez así como a mi primo Mario Rene Herrera Rodríguez por estar pendiente de este trabajo, por acompañarme y más por el cariño que les tengo.

A mis abuelitos que siempre los llevo en mi corazón a la Sra. Luz Maria González Torralba †, al Sr. Angel Herrera Aceves †, a la Sra. Mercedes González Landin † y el Sr. Gregorio Méndez Pichardo †.

A todos mis familiares por parte materna y paterna con mucho cariño.

José Martínez Morales

A mis padres: Rosaura y José
por su apoyo incondicional.

Jorge Romero Hernández

Este trabajo se lo dedico a mis padres Jorge Romero Moreno y Esther Hernández Mayer por su gran apoyo y comprensión, a mis hermanos Alberto Romero Hernández, Jacqueline Romero Hernández y Edson Brandon Colín Hernández, a la Facultad de Ingeniería y a mi amigo y gran ser humano e ingeniero Miguel Ángel Villegas Islas.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Angel Alberto
Herrera Méndez
FECHA: 1/03/04
FIRMA: [Firma]

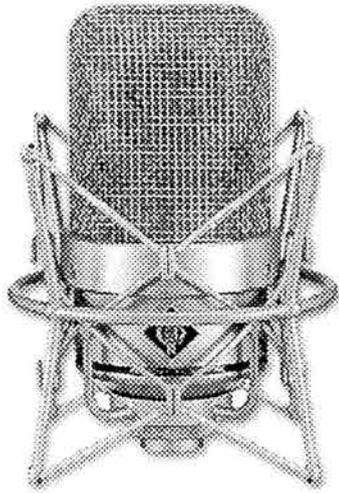
Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Romero Hernández Jorge
FECHA: 1/03/004
FIRMA: [Firma]

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SONORIZACIÓN	4
2. FUNDAMENTOS DE AUDIO Y ACÚSTICA	8
2.1 SONIDO	9
2.2 RESPUESTA EN FRECUENCIA	15
2.3 DECIBEL "dB"	19
2.4 INTERVALO DINÁMICO	24
2.5 SONIDO EXTERIOR	25
2.6 SONIDO INTERIOR	27
2.7 REVERBERACIÓN	29
2.8 DIFRACCIÓN	31
2.9 DIFUSIÓN	32
2.10 REFLEXIÓN	32
2.11 REFRACCIÓN	33
2.12 ECO	33
2.13 DISTORSIÓN	34
2.14 RUIDO	35
2.15 REALIMENTACIÓN	38
2.16 RESONANCIA	39
2.17 ATENUACIÓN	39
3. ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN ELECTROACÚSTICA	41
3.1 MICRÓFONOS	42
3.2 PREAMPLIFICADORES Y CONSOLAS DE MEZCLA	48
3.3 PROCESADORES DE SEÑAL	60
3.4 ECUALIZADORES	65
3.5 DISTRIBUIDOR DE SEÑAL	75
3.6 LÍNEAS DE RETARDO	75
3.7 PROCESADORES DE BOCINAS	77
3.8 AMPLIFICADORES	85
3.9 BOCINAS	98
3.10 HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN	109
4. FACTORES ACÚSTICOS	112
4.1 CANCELACIONES ACÚSTICAS	112
4.2 INTERACCIÓN ENTRE BOCINAS	121
4.3 REFLEXIONES	135

5. CONSIDERACIONES PARA SONORIZAR UN ESPACIO ACÚSTICO	142
5.1 NECESIDADES DEL ESPACIO ACÚSTICO	142
5.2 ACOMODO DE BOCINAS	144
5.3 ARREGLOS DE BOCINAS	155
5.4 SUBDIVISIÓN DE SISTEMAS	163
5.5 AJUSTE ELECTRÓNICO DEL ÁNGULO DE COBERTURA DE ARREGLOS	165
5.6 CONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE BOCINAS	169
5.7 TIPOS DE SUBSISTEMAS	172
6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO	184
6.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR	185
6.2 ANÁLISIS DE UN TEATRO	197
6.3 SISTEMAS DE TIERRA PARA LOS EQUIPOS	211
7. VERIFICACIÓN DE FALLAS Y MEDICIONES SONORAS	216
7.1 VERIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS Y DETECCIÓN DE FALLAS EN EL SISTEMA SONORO	216
7.2 PRUEBAS ACÚSTICAS DEL TEATRO	225
8. FUTURO DE LOS SISTEMAS DE SONORIZACIÓN	276
8.1 ARREGLO LINEAL	276
8.2 TECNOLOGÍA DIGITAL PARA LOS SISTEMAS DE SONORIZACIÓN	283
8.3 CONTROL DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA DE UN SISTEMA DE SONORIZACIÓN MONITOREANDO LAS VARIABLES FÍSICAS QUE LA MODIFICAN	286
Conclusiones	288
Anexo	290
Glosario de términos	302
Bibliografía	304
Direcciones de internet utilizadas en el trabajo de tesis	305



1. INTRODUCCIÓN

En muchas ocasiones existe la problemática de que en algunos espacios arquitectónicos no se cuenta con el debido diseño para desarrollar actividades sonoras, no logrando el nivel de calidad deseado. Dichos espacios han requerido cada vez de equipos con mayor fidelidad, es decir, que se reproduzca el sonido como si fuera natural y con niveles sonoros adecuados.

Para minimizar los efectos indeseables producidos por condiciones acústicas deficientes y lograr mayor rendimiento en condiciones sonoras y acústicas adecuadas, se han incorporado tecnologías de instrumentación electrónica que junto con los avances tecnológicos han permitido incorporar instrumentación electrónica enfocada a la acústica y a los sistemas de sonorización para mejorar el desempeño de los espacios acústicos. Sin embargo, dicha incorporación requiere de un proceso de análisis y de diseño de la sonorización.

Este trabajo contempla la descripción del proceso de análisis y de diseño de los sistemas de sonorización en un espacio acústico, a partir de sus características técnicas y acústicas, así como de los principios eléctricos y electrónicos de los instrumentos a utilizar. Así mismo, se presentan las técnicas de instalación, montaje, verificación, pruebas y mediciones del sistema completo. Se describen también los planos y diagramas eléctricos que cubren los requerimientos y necesidades del recinto.

Este proceso de análisis y diseño permite lograr que la imagen sonora sea lo más real posible, minimizando el ruido de fondo, haciendo uso de la tecnología del momento. Estos elementos sirven para solventar las necesidades técnicas existentes en el manejo de sistemas de refuerzo sonoro en vivo utilizados ampliamente en la industria de la información, el entretenimiento y la cultura, que con el paso del tiempo han ido adquiriendo cada vez mayor relevancia.



Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es presentar los elementos de análisis y de diseño de un sistema de sonorización en un espacio acústico, aplicándolos en dos proyectos específicos de sonorización, los cuales son: el diseño de la sonorización en una discoteca-bar y el análisis de la sonorización de un Teatro. Incluyendo la evaluación de las mediciones acústicas, eléctricas y electrónicas necesarias para lograr una óptima fidelidad dentro del espacio acústico, así como la correcta utilización de los equipos.

En este trabajo de tesis se presentan 9 capítulos los cuales se describen a continuación:

En el capítulo 1 titulado "Introducción" se describe el objetivo del trabajo de tesis, así como el contenido de cada capítulo y se da una reseña histórica de los equipos de sonorización empleados desde los años veinte hasta los últimos años.

En el capítulo 2 titulado "Fundamentos de Audio y Acústica" se describen los conceptos básicos de acústica, sus importantes características y efectos, estos permiten comprender los elementos a considerar en el proceso de diseño de un sistema de sonorización, y elegir correctamente los instrumentos de sonorización que lo integran. Las cualidades acústicas de un recinto son una serie de propiedades relacionadas con el comportamiento del sonido en el recinto, entre las cuales se encuentran las primeras reflexiones, la reverberación, la existencia o no de ecos y resonancias, la cobertura sonora de las fuentes.

En el capítulo 3 titulado "Elementos de Instrumentación Electroacústica" se describen las diferentes etapas que componen un sistema de sonorización, como son micrófonos, preamplificadores, consolas de mezcla, procesadores de señal, ecualizadores, distribuidores de señal, líneas de retardo, procesadores de bocinas, amplificadores y bocinas, estos equipos permiten mejorar el desempeño del sistema de sonorización y obtener una calidad sonora adecuada.

En el capítulo 4 titulado "Factores Acústicos" se describen las cancelaciones acústicas que pueden presentarse en un espacio acústico, debidas a la interacción entre bocinas o la arquitectura del recinto, también se mencionan los diferentes tipos de arreglos de bocinas como los arreglos estrechos de punto de origen, arreglos amplios de punto de origen, arreglos separados de punto de origen, arreglos en paralelo, arreglos separados estrechos en paralelo, arreglos separados amplios en paralelo, arreglos de fuego cruzado estrechos, y arreglos separados de fuego cruzado, así mismo también se describen los distintos tipos de reflexiones que pueden producirse en el recinto, tales como son el efecto grazing, las reflexiones en pared lateral, las reflexiones de pared al frente, y las reflexiones de esquinas.

En el capítulo 5 titulado "Consideraciones para Sonorizar un Espacio Acústico" se considera el acomodo de las bocinas para evitar al máximo las cancelaciones acústicas, seleccionando el sistema de bocinas adecuado para cada necesidad,



así como los diferentes tipos de arreglos de bocinas y sus patrones de cobertura. También es importante considerar el ajuste electrónico del ángulo de cobertura de las bocinas, y ajustar los equipos de retardo para producir el atraso de la señal, cuando se tienen sistemas físicamente desalineados que hacen que el sonido proveniente de una bocina llegue primero que otra bocina, produciendo un sistema no sincronizado con el espacio acústico. Se describen también las configuraciones de los sistemas de bocina los cuales son de 3, 4 y 5 vías, y también se describen los subsistemas.

En el capítulo 6 titulado “Diseño del Sistema de Sonorización de una Discoteca-bar y Análisis de un Teatro”, se propone el equipo electrónico para sonorizar una discoteca-bar donde se mencionan los datos técnicos de las bocinas empleadas, niveles de presión sonora requeridos para el recinto, así como el ángulo de cobertura que tienen las bocinas empleadas. El análisis del teatro se basa en la descripción de el diseño del sistema de sonorización de un Teatro real. Se describe la potencia consumida por todo el equipo electroacústico, también se presenta un sistema de tierra para un buen funcionamiento del equipo y así tener una sonorización adecuada.

En el capítulo 7 titulado “Verificación de Fallas y Mediciones Sonoras” se incluye la verificación de toda la instalación del teatro haciendo pruebas, aplicando ruido rosa al teatro y con un micrófono condensador colocado en distintas zonas del teatro visualizando los resultados en un analizador de tiempo real para detectar donde hay cancelaciones acústicas, proponiendo una alineación de bocinas para corregir este problema.

En el capítulo 8 titulado “Futuro de los Sistemas de Sonorización” se describen cuales son las tendencias de los sistemas de sonorización y los avances que se tienen en el presente. Se propone el control de un sistema de sonorización, mediante las variables físicas del espacio acústico, las cuales son temperatura y humedad ambiente.

En la tecnología digital se describe como la fibra óptica y el cable UTP son dos tecnologías ya implementadas en el cableado de los sistemas de sonorización minimizando costos de instalación y evitando interferencias y ruidos que pudieran introducirse a los equipos de audio.

También se describe el arreglo lineal que ya esta siendo utilizado con ventajas sobre otros sistemas.

En el capítulo 9 titulado “Conclusiones” se comentan los resultados obtenidos del diseño del sistema de sonorización de la discoteca-bar y el análisis que se realizó en el teatro real.



1.1 ANTECEDENTES DE LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SONORIZACIÓN

Desde los primeros transductores como los micrófonos y difusores de trompeta radiales desarrollados por la Bell Telephone Laboratorios, el desarrollo de los sistemas de reforzamiento sonoro han evolucionado rápidamente, el crecimiento en la tecnología de los materiales y la comprensión del manejo del sonido ha permitido desarrollar sistemas de sonorización más potentes y con respuestas más eficaces.

Cada componente de un sistema de sonorización se ha desarrollado de manera independiente acrecentado su eficiencia y alcanzando sistemas de reforzamiento sonoro con una cobertura de alcance más amplio y con una mayor calidad de definición.

En la década de los años veinte se estandariza el decibel como unidad de medición, iniciándose el estudio y desarrollo de la tecnología del sonido.

Para los años treinta se habían desarrollado ya los micrófonos dinámicos y de condensador (Western Electric y Bell Labs), unidades de compresión (Bell Labs), difusores de trompeta radiales y multicelulares, micrófonos cardioides, películas con sonido, bass reflex (jensen), subwoofers de diseño FOLDED, sonido en estéreo.

En 1940 las radiodifusoras y las compañías telefónicas presentan el medidor VU, y la escala dBm. Tras revolucionar la tecnología del sonido cinematográfico, James B. Lansing funda la empresa que hoy es JBL. Entre las innovaciones se incluyen unos sólidos transductores de baja frecuencia como el D130, con sus bobinas de voz de gran diámetro y un elevado manejo de potencia, las bocinas multicelulares y un transductor de alta frecuencia que los profesionales del sonido seguirían utilizando medio siglo más tarde.

En los 50's JBL se sitúa a la cabeza de los sectores profesionales de sonorización en directo y de salas de cine al introducir los primeros motores de compresión de gran formato, las lentes acústicas y los radiadores de anillo (transductores de dispersión radial) de alto rendimiento. La revista Life define el JBL Hartsfield como "el altavoz perfecto". Leo Fender, famoso por las guitarras que llevan su nombre, selecciona el D130 como altavoz ideal para sus nuevas guitarras eléctricas, lanzando a JBL a un mundo en pleno desarrollo, el del rock 'n' roll. En la figura 1.1 se muestra una bocina JBL Hartsfield de los años 50's.

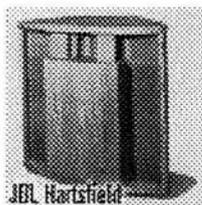


Figura 1.1. Bocina JBL Hartsfield



1. INTRODUCCIÓN

En los 60's JBL introduce el 4320, un monitor de precisión de cuatro vías con lentes acústicas y motor de compresión de alta frecuencia, que durante la siguiente década se convertiría en el monitor por excelencia para los de estudio de grabación. Según se van desarrollando los sistemas para conciertos a gran escala, los transductores JBL de sonorización en directo adquieren una excelente reputación por su precisión y fiabilidad, y pasan a la historia como protagonistas de algunos famosos festivales de rock de los sesenta.

Intel presenta el primer microprocesador (modelo 4004). A partir de aquí las cosas cambiarán rápidamente, acelerando la tecnología de los sistemas de control de señal

Steve Wozniak y Steve Jobs formaron Apple Computer (en el mes de enero). Para mayo de ese mismo año entregaron la primera Apple II (que por cierto fue la primera computadora personal con gráficos a color). La Apple II no incluía unidad de disco y su memoria RAM era de asombrosos 4k. En la figura 1.2 se muestra una bocina de los años 60's.



Figura 1.2. Bocina JBL Olympus

En 1978 Ed Long (de Calibration Standard Instruments) quien posee los derechos de los términos Time Align™ y Near Field Monitor™, diseña para Yamaha los populares monitores de campo cercano NS-10 (que curiosamente aunque al principio nadie en audio profesional los quería utilizar, después de 5 años alcanzó la popularidad que hoy conocemos).

Durante los años 70's la línea de monitores incluye los primeros diseños de cuatro vías. JBL demuestra su capacidad aplicando la tecnología de sonido profesional a los altavoces de consumo: durante esta década el L-100, la versión de consumo del 4311, se convierte en uno de los altavoces de uso doméstico más vendidos, trasladando las características profesionales al hogar. Un ejemplo: la tecnología de chasis fundido para transductores utilizada también en la actual serie Studio.

En 1981 IBM presenta la primera PC. Originalmente tenía 64k de memoria RAM y su velocidad era de 4.7 MHz.

En enero de 1983 durante un NAMM show se conectaron por primera vez dos instrumentos musicales electrónicos de diferente marca (un sintetizador de Sequential Circuits con un sintetizador de Roland), y surge el sistema MIDI (Interfaze Digital de Instrumentos Musicales).



En 1984 Apple contraataca al presentar la Macintosh (128k de RAM y 8 MHz de velocidad). La Mac original era una sola pieza que incluía un monitor de 9 pulgadas (así como las actuales iMac). La rivalidad entre PC y Mac había nacido. En 1984 una compañía llamada MXR cierra sus operaciones. Al año siguiente los dos socios fundadores de MXR fundan cada quien por su lado lo que ahora conocemos como Alesis y ART (Applied Research & Technology). Alesis y ART lanzan al mercado las primeras unidades de reverberación digital de menos de 100 dólares, el ART DR2, y el Alesis XT. Por fin Procesadores Digitales de Señal (DSP) al alcance de las masas.

En 1985 durante una convención de AES, Yamaha presenta la consola PM-3000. Su sucesora, la popular PM-4000, es una de las consolas más exitosas de la industria. En esa misma convención Lexicon presenta el procesador PCM-70 (uno de los más cotizados procesadores de efectos del mercado aun en nuestros días).

En 1987 Sony decide utilizar tecnología de cabezas rotatorias en una grabadora de cinta digital (R-DAT), y lanza el modelo PCM-2500, el primer DAT profesional.

En 1988 Euphonix presenta en un show de AES su primer consola Crescendo, una consola análoga con automatización digital vía Mac, PC, o Atari.

En 1989 Mackie presenta su primer producto, una pequeña mezcladora llamada CR-1604, su característica principal era que incluía 7 envíos auxiliares por canal. A la larga la mayoría de fabricantes de mezcladoras pequeñas imitarían los modelos de Mackie. Audio Technica entra al mercado profesional al presentar sus micrófonos de condensador de estudio modelos AT4031 y AT4051.

En 1989 DRA Labs presenta el software MLSSA (Maximum-Length Sequence System Analyzer), una herramienta de medición que opera bajo plataforma PC.

En la década de los ochentas el sonido Dolby y el estéreo de 70 mm se inauguran en las salas de cine. Se introduce el titanio, con su excelente respuesta de hasta 27.000 Hz, como material para fabricar los diafragmas de los motores de compresión profesionales, y posteriormente se utiliza también en los altavoces domésticos.

En 1991 la historia de la grabación digital al alcance de las masas cambiaría. Alesis presenta durante el show NAMM de enero el exitoso ADAT, grabadora digital de 8 canales, que utiliza videocasetes de formato S-VHS, y con posibilidad de encadenar 16 máquinas para poder grabar 128 canales. El primer ADAT se entrego hasta 1992. Alesis logro colocar más de 100,000 unidades. Meyer Sound presenta los monitores de estudio HD-1, que originalmente se utilizarían para calibración de micrófonos de medición. Es el famoso ingeniero de estudio Roger Nichols, quien propone su comercialización. Asimismo presenta el analizador SIM (Source Independent Measurement), cuya característica principal es poder realizar mediciones acústicas utilizando música (no solamente ruido rosa o barridos de onda senoidal).



En 1993 presenta su consola para sonido en vivo Recall (by Langley). Esta consola automatizada puede memorizar (vía pantalla) todos los movimientos críticos del operador. En 1998 Amek presenta el modelo Recall RN (en donde el diseño de los Preamplificadores, Ecuación y Procesadores dinámicos fue realizado por el respetado Rupert Neve). Como resultado de la colaboración entre Peavey y Peak Audio para su desarrollo, se presenta el sistema Media Matrix. Potente plataforma de control digital para instalaciones permanentes (posee múltiples entradas y salidas y tarjetas DSP para mezcla, ecualización, compresión, etc.).

En 1994 Yamaha presenta su mezcladora digital automatizada ProMix-01 (actualmente sustituida por la 01V), al año siguiente lanza la exitosa consola digital 02-R (mezcladora de 8 buses y 20 bits, 24 entradas análogas y 16 entradas digitales). Rápidamente otros fabricantes responden con productos similares (inclusive Mackie).

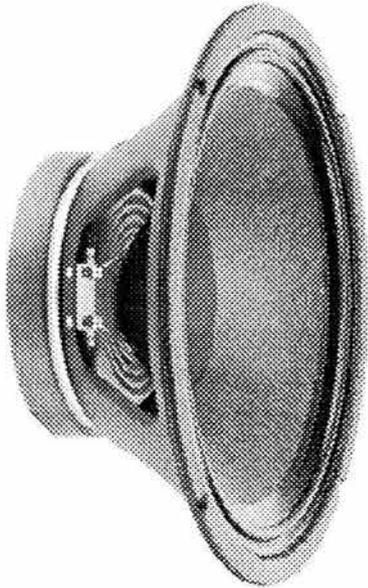
Es en 1995 cuando resurge la pasión por los bulbos. Actualmente fabricantes de amplificadores, compresores, ecualizadores, mezcladoras, tienen en su línea productos que incluyen bulbos.

En 1997 Meyer Sound presenta el SB-1 (Sound Beam 1), bocina de diseño parabólico para aplicaciones de estadio, se estrena en Japón. Meyer Sound presenta el PSW-6, el primer subwoofer de comportamiento unidireccional en el mercado. En la figura 1.3 se muestra un ejemplo de bocina del año 1997.



Figura 1.3. Bocina JBL S2600

En los noventa los nuevos avances en modelado por ordenador y análisis magnético sitúan a JBL a la cabeza de la investigación y desarrollo en sonido profesional. Los sistemas Vented Gap Cooling, las bocinas Optimized Aperture y los motores de compresión de baja distorsión y rápida dispersión, satisfacen la creciente demanda de sistemas para megaconciertos. Se introducen los monitores de estudio de campo próximo con alineación interna.



2. FUNDAMENTOS DE AUDIO Y ACÚSTICA

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen los conceptos básicos de la acústica, sus importantes características y efectos, y lo que permite comprender los elementos a considerar en el proceso de diseño de un sistema de sonorización, y elegir correctamente los instrumentos de sonorización que lo integran.

El sonido es un fenómeno físico ondulatorio caracterizado por la propagación a través del aire de una serie de perturbaciones, generando tanto aumentos como disminuciones momentáneas de presión.

El sonido es perceptible por el ser humano principalmente a través del oído, aunque si es de baja frecuencia (sonido grave) y de un nivel de intensidad considerablemente alta puede provocar sensaciones en distintas partes del cuerpo, esto último suele suceder por ejemplo, al acercarse a una bocina de graves (también llamado woofer) de un sistema de gran amplificación o refuerzo sonoro.

Para que el sonido pueda ser percibido por el ser humano se requiere que su frecuencia esté comprendida entre 20 Hz (sonidos muy graves) y 20000 Hz (sonidos extremadamente agudos), y además que su intensidad supere el umbral auditivo.

La acústica adquiere importancia ya que puede aplicarse al estudio de los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un espacio, como en una sala de concierto, en estudio de grabación o al aire libre. Los auditorios o salas dedicadas a una aplicación determinada (por ejemplo para la grabación de música, para conferencias o para conciertos) deben tener cualidades acústicas adecuadas para dicha aplicación. Por cualidades acústicas de un recinto se entiende una serie de propiedades relacionadas con el comportamiento del sonido en el recinto, entre las cuales se encuentran las primeras reflexiones, la



reverberación, la existencia o no de ecos y resonancias, la cobertura sonora de las fuentes, etc.

2.1 SONIDO

El sonido es la sensación percibida por el oído como resultado de variaciones rápidas de la presión en el aire. En términos físicos el sonido es producido por la vibración mecánica de un medio elástico, ya sea gaseoso, líquido o sólido, a través del cual se transmite la energía de un modo continuo, por medio de ondas. Las ondas sonoras son un tipo particular de la clase más general de ondas conocidas como ondas elásticas. Las ondas elásticas pueden producirse en un medio que posea las propiedades de masa y elasticidad. Si una partícula de este medio es desplazada de su posición de equilibrio, las fuerzas elásticas presentes tenderán a arrastrarla a la posición original de la cual fue sacada por la perturbación.

En la figura 2.1 se muestra un conjunto de ondas producidas por un cuerpo que vibra (punto de excitación), creando una variación de presión en el medio que le rodea.

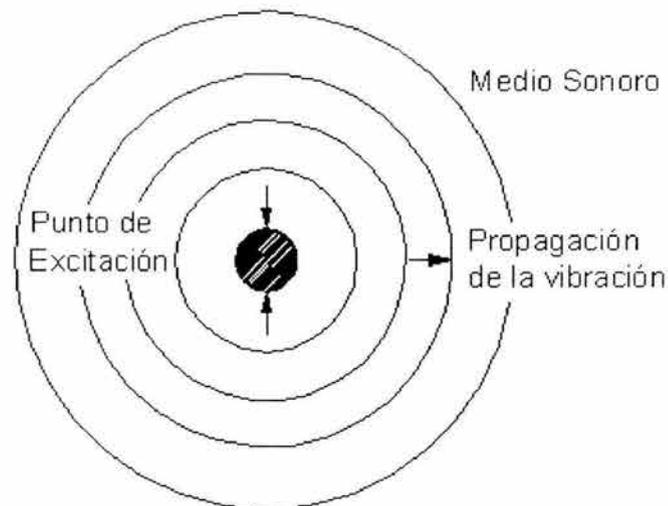


Figura 2.1. Ondas radiadas a partir de una fuente de excitación puntual

Las cualidades que caracterizan al sonido son: la intensidad, tono y timbre. La intensidad de un sonido viene determinada por la amplitud del movimiento oscilatorio, subjetivamente la intensidad de un sonido corresponde a nuestra percepción del mismo y da una sensación si es fuerte o débil.

El tono de un sonido depende únicamente de su frecuencia, es decir, del número de oscilaciones por segundo. El tono de un sonido corresponde a nuestra percepción del mismo como más grave o más agudo. Cuanto mayor sea la frecuencia más agudo será el sonido. El timbre es la cualidad del sonido que permite distinguir entre dos sonidos de la misma intensidad y tono, se puede así distinguir si una nota ha sido tocada por una trompeta o un violín. El timbre depende



de la fundamental y sus armónicas.

Conceptos Fundamentales de Sonido

Debido a las características de cambios en presión e intensidad, el sonido puede representarse para una mejor comprensión como una señal senoidal. La diferencia entre una onda y una señal es que la onda es como se representa el fenómeno físico en la naturaleza y la señal es la representación del fenómeno físico que el hombre le da para su interpretación, en este caso una onda acústica es transformada en una señal eléctrica por medio de un transductor, como se muestra en la figura 2.2.

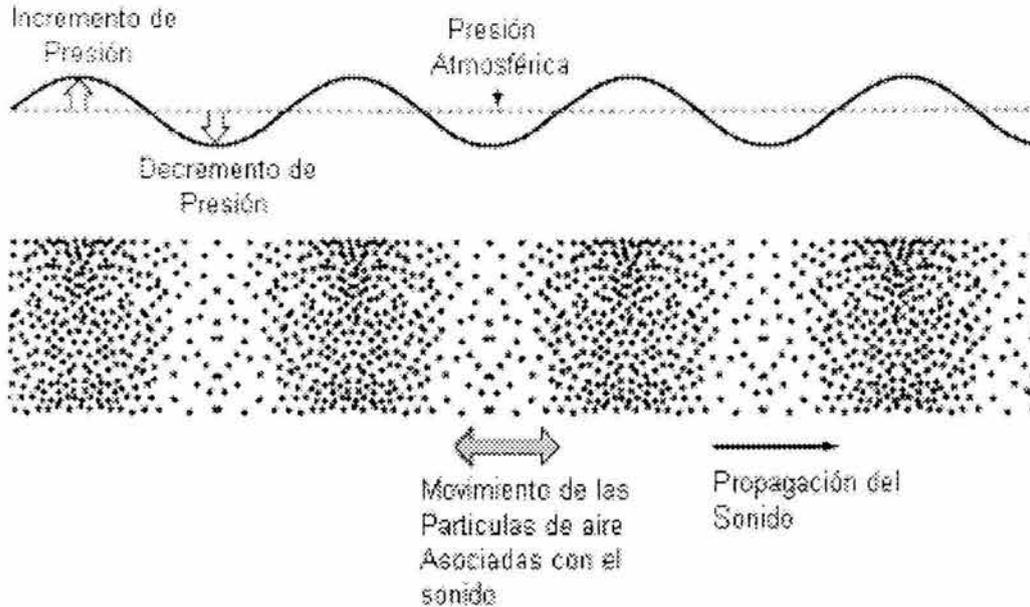


Figura 2.2. Representación del sonido como una señal senoidal

Las características generales de una señal senoidal son: Frecuencia, Amplitud y Fase y se puede representar mediante la siguiente expresión:

$$f(t) = A_p \cos (\omega_0 t + \phi)$$

En donde:

A_p es la amplitud pico de la señal

ω_0 es la frecuencia angular de la señal

ϕ es el ángulo de fase de la señal

En la figura 2.3 se observan las características generales de una onda senoidal, donde T_0 es el periodo, ϕ es la fase, se tiene al tiempo t en segundos, pero también la señal se puede representar en radianes ó grados, este último es el más común en el ambiente de sonorización. Debido a estas características se definen algunos conceptos para el estudio del movimiento ondulatorio.



De manera particular, el periodo es el tiempo que tarda una partícula en efectuar una oscilación completa, y se representa por T_0 .

La frecuencia de una onda sonora se define como el número de pulsaciones (ciclos) que tiene por unidad de tiempo (segundo). La unidad correspondiente a un ciclo por segundo es el Hertz.

La Amplitud es el nivel máximo que alcanza la señal con respecto a su posición de equilibrio, se representa como A_p como se muestra en la figura 2.3.

La relación entre frecuencia y periodo es:

$$f = \frac{1}{T_0} [\text{Hz}]$$

Donde:

f Es la frecuencia [Hz]

T_0 Es el periodo de la señal [segundo]

También se puede definir al periodo como:

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

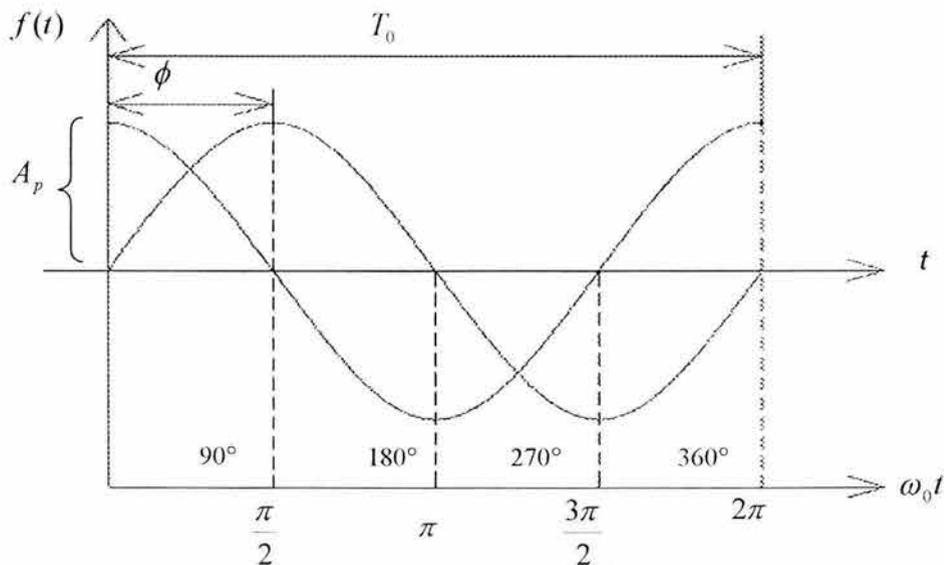


Figura 2.3. Dos señales defasadas $\frac{\pi}{2}$

Para definir la fase se dice que dos puntos de un medio elástico por el que se propaga una onda están en fase, si en un instante determinado los dos ocupan posiciones idénticas y se mueven del mismo modo.

La fase es un parámetro muy importante en las ondas ya que al combinar varias ondas con diferente fase y diferente magnitud entre ellas la resultante será



dependiente de la fase y la magnitud. La fase esta dada en radianes, pero para una mejor comprensión visual y de facilidad comúnmente se da en grados.

La fase es muy importante en sistemas de sonido, la principal razón por la que la fase debe ser controlada es porque afecta como las ondas de sonido se suman o se cancelan. Cuando las señales de audio son mezcladas en una consola de audio (nivel eléctrico), o cuando las ondas de sonido se mezclan en el aire (nivel acústico), estas se suman algebraicamente.

En la figura 2.4 se muestra la forma de leer las señales de audio con respecto a grados.

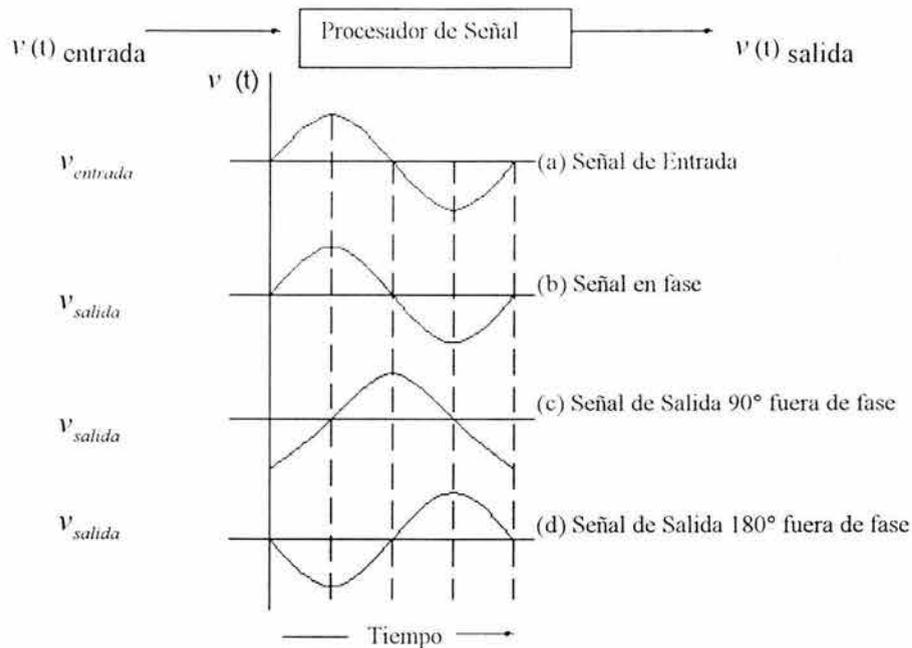


Figura 2.4. Relación de fase entre entrada y salida de señal

La figura 2.5 muestra el efecto de la fase sobre la adición de dos señales senoidales de igual nivel y frecuencia, pero diferente relación de fase.

La longitud de onda es la distancia entre dos máximos de presión sonora sucesivos o entre dos mínimos de presión sucesivos en una onda plana.

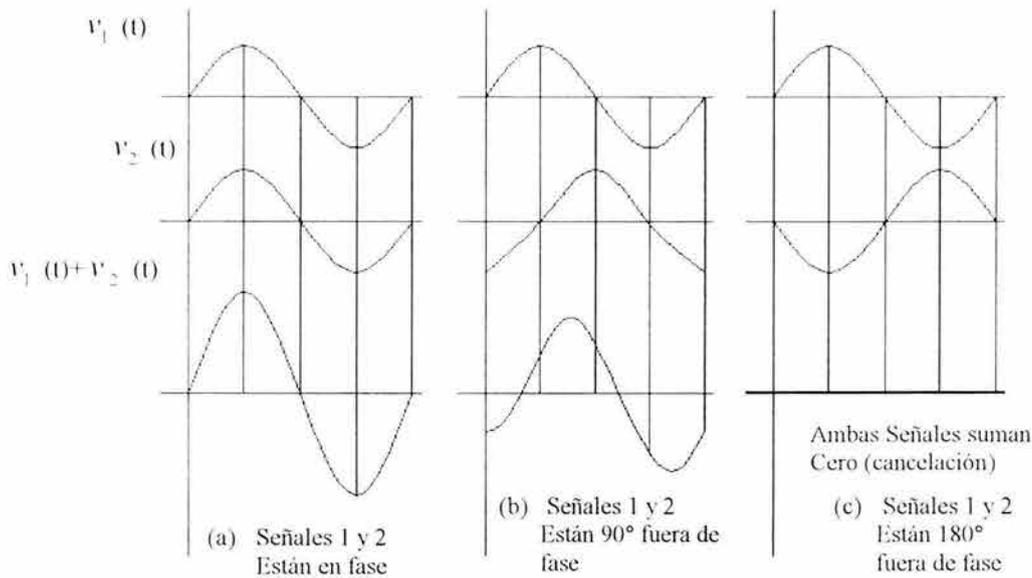


Figura 2.5. Fase afecta la forma de la suma de dos señales senoidales

La longitud de onda se representa por la letra griega λ y equivale a la distancia que avanza la onda en el tiempo T_0 . Por lo tanto, y puesto que las ondas se mueven con una velocidad constante c , se puede expresar como:

$$\lambda = cT_0 = \frac{c}{f}$$

Donde:

λ es la longitud de onda

c es la velocidad de sonido a temperatura ambiente

La velocidad de un movimiento ondulatorio del sonido depende del tipo de onda de que se trate y el medio por el que se propague.

La elasticidad del aire se determina mediante varios experimentos, resultando una constante multiplicada por la presión atmosférica. Esta constante " γ " es la relación entre el calor específico del aire a presión constante y a volumen constante además que se toma el proceso de velocidad del sonido como un proceso adiabático.

Por lo tanto se tiene la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Donde:

γ es la razón de calores específicos

C_p es la capacidad calorífica a presión constante

C_v es la capacidad calorífica a volumen constante

Para el margen de temperatura en el que se trabaja normalmente con el sonido, la



constante $\gamma = \frac{0.24}{0.1714} = 1.4$. La velocidad del sonido c_0 en el aire a 0° esta dado por:

$$c_0 = \sqrt{\frac{1.4P_0}{\rho_c}}$$

Donde:

$P_0 = 1$ atmósfera que equivale a 1.013×10^5 Pascales que es la presión atmosférica

$\rho_c = 1.293 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ es la densidad del aire

Sustituyendo los valores se obtiene la velocidad del sonido a cero grados

$$c_0 = 332 \left[\frac{m}{seg} \right]$$

Suponiendo que el aire actúa como un gas ideal, se obtiene que la velocidad del sonido depende únicamente de la temperatura absoluta del aire, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$c = 332 \sqrt{\left(1 + \frac{T}{273} \right)}$$

Donde:

T es la temperatura del aire en grados centígrados

c es la velocidad del sonido en $\left[\frac{m}{s} \right]$

En condiciones normales de presión y temperatura, la velocidad del sonido es aproximadamente $344 \left[\frac{m}{s} \right]$ a 20 grados centígrados.

Las frecuencias sonoras más bajas corresponden con lo que habitualmente se llaman sonidos "graves", estos son sonidos de vibraciones lentas. Las frecuencias más altas corresponden a lo que se llama "agudos" y son vibraciones muy rápidas.

La banda de audio consiste de todas las frecuencias comprendidas de 22.4 Hz a 22.4 kHz, definidas por la IEC (International Electrotechnical Commission) Comisión Internacional de Electrotécnica, sin embargo, para el uso común se considera un intervalo de 20 Hz a 20 kHz.

El sonido audible es una pequeña parte de la gama de sonidos, las ondas de sonido de 0 a 20 Hz, son denominadas ondas Infrasonicas, o debajo del límite inferior audible, las ondas por encima de 20 kHz se conocen como ondas ultrasónicas, o también conocidas como supersónicas.



2.2 RESPUESTA EN FRECUENCIA

Uno de los términos más comunes utilizados en los sistemas de audio es la respuesta en frecuencia, la cual describe la relación entre la señal de salida de un dispositivo y su señal de entrada con respecto a las frecuencias y al nivel de la señal.

Cuando se aplica a un sistema lineal e invariante en el tiempo una entrada senoidal, la salida también será senoidal y de la misma frecuencia. La salida puede diferir de la entrada en amplitud y fase

El término respuesta en frecuencia es utilizado para referirse a los dispositivos de procesamiento de señal, transductores, etc; esto es, cualquier instrumento a través del cual una señal de salida es comparada con la señal de entrada, de acuerdo a las frecuencias que son atenuadas, amplificadas o las que permite pasar y las que no, es decir lo que se busca en un equipo para sonorización es que la respuesta en frecuencia sea lo más plana posible.

Considerando el sistema mostrado en la figura 2.6. Un elemento de proceso de señal es alimentado por un generador de ondas de frecuencia y magnitud variable, y su salida está conectada a un sistema de procesamiento de señal y este a su vez conectado a un osciloscopio para visualizar la señal de salida.

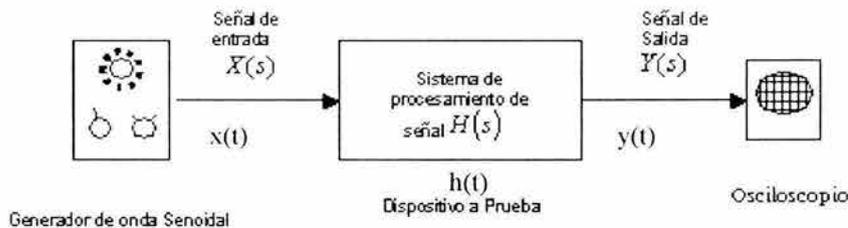


Figura 2.6. Modelo de medida de la respuesta en frecuencia

Por medio de la función de transferencia, que la razón salida-entrada de un sistema esta dada por:

$$H(s) = \left. \frac{Y(s)}{X(s)} \right|_{s = j\omega}$$

Para el caso particular en el que $s = j\omega$ lo que indica que es en general una función compleja y se obtiene la respuesta en frecuencia del sistema la cual es:

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}$$

donde la magnitud de la respuesta en frecuencia es:



$$|H(j\omega)| = \left| \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \right|$$

Y el ángulo de fase es:

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \right]$$

En la disciplina relacionada con el audio a lo que se le llama respuesta en frecuencia es la gráfica de frecuencia contra ganancia del sistema a medir, pero también existe la gráfica de fase de la respuesta en frecuencia del sistema, los fabricantes de equipos de audio lo que buscan es que la gráfica de frecuencia contra amplitud de la salida del dispositivo que diseñan sea lo más plana posible, es común tener estas gráficas por el fabricante y entre más plana sea esta gráfica más costoso es el dispositivo ya que lo que se busca es que reproduzcan una señal de audio lo más fiel posible.

Graficando esta relación de respuestas de magnitud y de fase con respecto a la frecuencia se obtiene una gráfica, como se muestra en la figura 2.7.

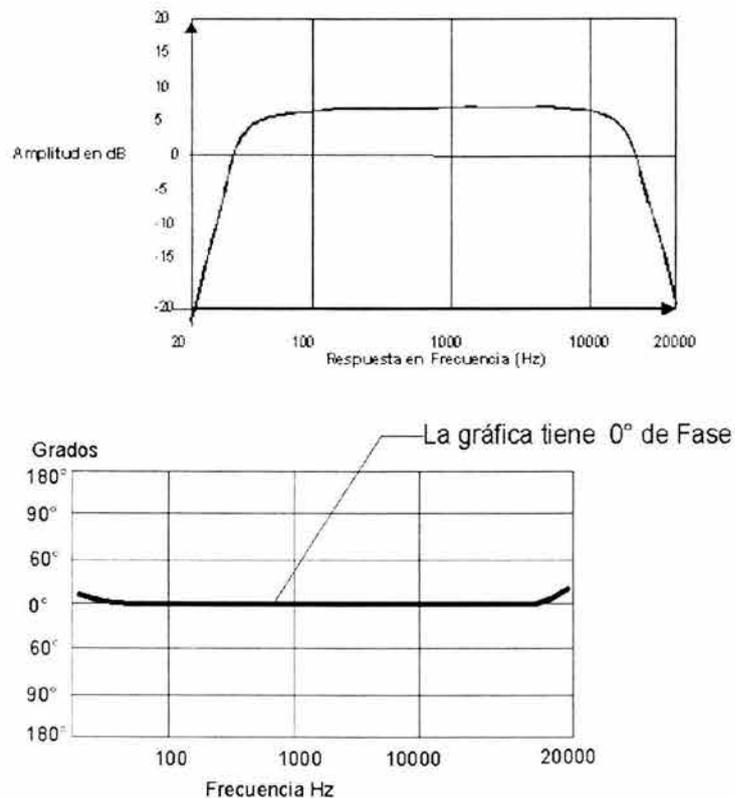


Figura 2.7. Gráficas de frecuencia contra magnitud y fase



A la gráfica superior de la figura 2.7 se le denomina gráfica de respuesta en frecuencia y a la gráfica inferior se le denomina respuesta de fase, estas muestran un patrón de relación entre el comportamiento de la señal de salida con respecto a la señal de entrada a diferentes frecuencias, además de las variaciones que se producen en el nivel de salida que ocurren en un intervalo de frecuencia.

Es importante tener en cuenta que la gráfica de respuesta en frecuencia se realiza con un nivel de entrada constante comúnmente “ruido rosa” a la entrada del sistema de sonorización de prueba. Esta respuesta da el patrón de fidelidad con el que el sistema maneja las señales de salida con respecto a la entrada.

Datos de Placa de Respuesta en Frecuencia

Una especificación de respuesta en frecuencia común, mostrada en los equipos de un sistema de sonido, se muestra de la siguiente forma:

Respuesta en frecuencia
30 Hz a 18 kHz, ± 3 dB

Se observa que el intervalo de frecuencias (30 Hz a 18 kHz) viene acompañado por un calificador “+ o - 3 dB” este es llamado Especificación de Tolerancia, la cual indica la máxima desviación que se puede esperar en el nivel de salida, con respecto al intervalo de nivel de señal de entrada, para todas las frecuencias.

Existen también intervalos de frecuencia planas, es decir:

Respuesta en frecuencia
20 Hz a 30 kHz, + 0, - 3 dB

Estas son características comunes de algunos amplificadores de señal, en estos casos los límites de la respuesta en frecuencia son comúnmente utilizados en los puntos donde la unidad de salida está 3 dB por debajo del intervalo de nivel de referencia. Es importante mencionar que la mayoría de los procesadores de señal utilizan el patrón de ± 3 dB debido al efecto producido por la función de transferencia de la señal, común en los circuitos electrónicos que además representa el valor eficaz “rms” de la señal. En la figura 2.8 se muestra una respuesta plana de un amplificador.

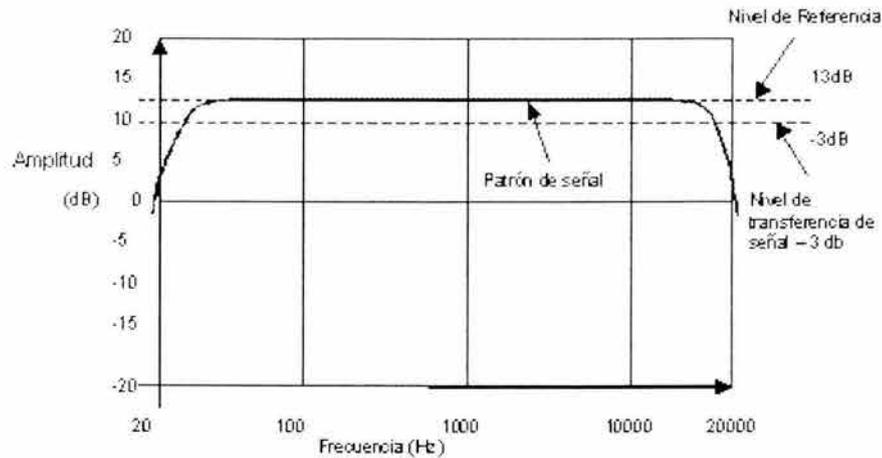


Figura 2.8. Respuesta en frecuencia "Plana" de un amplificador

Respuesta en Frecuencia de un Sistema Audio

Un sistema de audio en el cual se encuentran conectados en cascada diferentes dispositivos, tiene una respuesta en frecuencia, la cual es el resultado del producto de la respuesta en frecuencia de cada uno de los elementos por donde la señal pasa hasta los oídos del escuchante. La respuesta en frecuencia total de un sistema de audio es el producto de las respuestas totales de todos los elementos de esta cadena de dispositivos. En la figura 2.9 se muestra un diagrama en cascada de las respuestas en frecuencia de varios elementos.

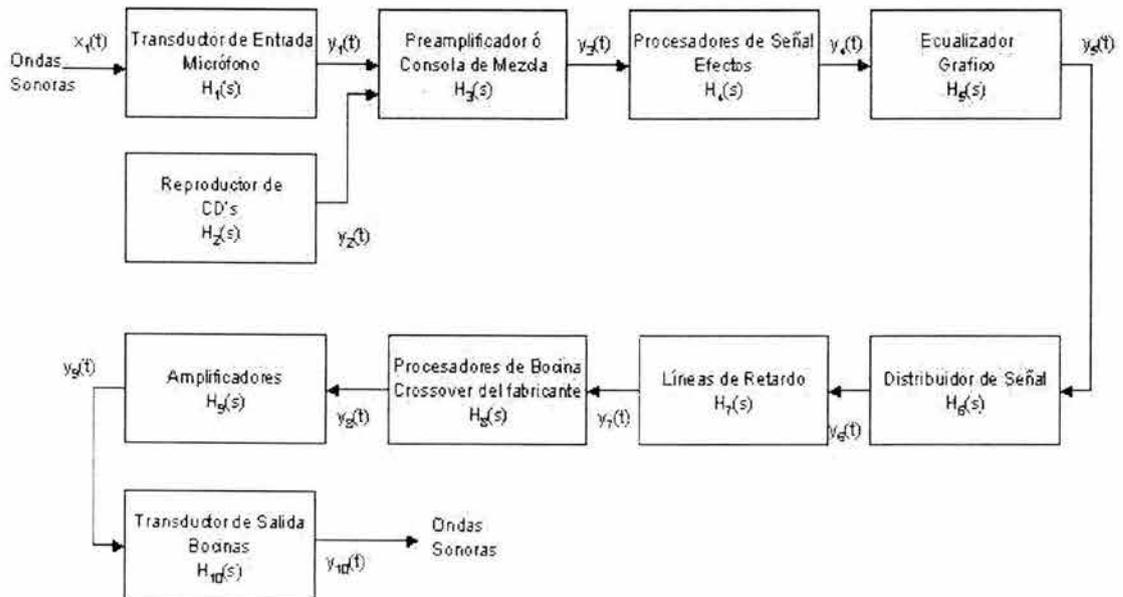


Figura 2.9. Diagrama de bloques general de un sistema de audio



Esto es:

$$H(j\omega) = H_1(j\omega) * H_2(j\omega) * H_3(j\omega) * \dots * H_n(j\omega)$$

$$H(j\omega) = \prod_{i=1}^n H_i(j\omega)$$

2.3 DECIBEL “dB”

El *dB* describe la relación entre dos cantidades las cuales están relacionadas en su mayoría con una representación de potencias. El *dB* representa cantidades logarítmicas lo que permite manejar valores muy grandes en una forma sencilla.

Un decibel es $\frac{1}{10}$ de Bel, un Bel es definido como el logaritmo de una razón de potencias, las cuales pueden ser de tipo eléctrico, acústico, etc. Para expresar la relación entre dos cantidades de potencias dadas en Bels, esto es, la relación de la potencia de salida P_1 entre la potencia de entrada o de referencia P_0 de cualquier sistema:

$$Bel = \log\left(\frac{P_1}{P_0}\right)$$

Debido a que un decibel es $\frac{1}{10}$ de un Bel, este puede expresarse matemáticamente como:

$$dB = 10 \log\left(\frac{P_1}{P_0}\right)$$

Como ejemplo se considera la relación en *dB*, de 2 Watts a 1 Watt donde:

$$dB = 10 \log\left(\frac{P_1}{P_0}\right)$$

$$dB = 10 \log\left(\frac{2}{1}\right)$$

$$dB = 10 \log(2)$$

$$dB = 10(0.301)$$

$$dB = 3.01$$

Por lo que se concluye que la relación de potencias en *dB* de 2 a 1 Watt es de 3 *dB*. La razón del uso del *dB* puede ayudar a expresar que tan grande son 1000 Watts con respecto a 100 Watts obteniendo su relación que es de 10:1, esto es 10 *dB*.

El *dB* también puede utilizarse para expresar relaciones de voltaje, sin embargo la relación entre voltajes es diferente a la de potencia, donde la potencia es



proporcional al cuadrado del voltaje o de la corriente, esto significa que:

$$P = \left(\frac{V^2}{R} \right) \quad \text{ó} \quad P = RI^2$$

Donde P es potencia en Watts, V es el voltaje en volts y R es la resistencia en Ohms. Por lo tanto se tiene la siguiente relación:

$$dB_{volts} = 20 \log \left(\frac{V_1}{V_0} \right)$$

Si se tiene una relación de 10 Watts a 100 Watts, su valor en dB es de 10 dB , por lo tanto la relación entre 10 Volts a 100 Volts es de 20 dB . La relación en dB para potencias y voltajes es:

Relación de Potencias

$$\begin{aligned} dB_{watts} &= 10 \log \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \\ dB_{watts} &= 10 \log \left(\frac{1250}{12.5} \right) \\ dB_{watts} &= 10 \log(100) \\ dB_{watts} &= 10(2) \\ dB_{watts} &= 20 \end{aligned}$$

Relación de Voltajes

$$\begin{aligned} dB_{volts} &= 20 \log \left(\frac{V_1}{V_0} \right) \\ dB_{volts} &= 20 \log \left(\frac{100}{10} \right) \\ dB_{volts} &= 20 \log(10) \\ dB_{volts} &= 20(1) \\ dB_{volts} &= 20 \end{aligned}$$

Como se observa en el ejemplo anterior para tener los mismos decibeles tanto en potencia como en voltaje la diferencia es que mientras en potencia la relación es de 100 en voltaje esa relación es de 1.

La tabla 2.1 muestra diferentes relaciones de potencias de P_1 con respecto a P_0 la cual tiene el valor de 1 Watt.



Valores de potencia P_1 (Watts)	Nivel en dB ($P_0 = 1$ Watt)
1	0
10	10
100	20
200	23
400	26
800	29
1,000	30
2,000	33
4,000	36
8,000	39
10,000	40
20,000	43
40,000	46
80,000	49
100,000	50

Tabla 2.1. Relaciones de potencia

El concepto de "*dB*", por si mismo no representa un valor absoluto, sin embargo, cuando se toma un valor de referencia como "*0 dB*", entonces cualquier valor por arriba, o por abajo de este patrón, implica una referencia a cero, que puede utilizarse para describir una cantidad especifica, es decir, si se considera el siguiente enunciado:

"El valor máximo del nivel de salida de una consola es de +20 *dB*."

Este enunciado no tiene ningún significado debido a que no tiene una referencia de cero para especificar el valor en *dB*, sin embargo considerando el siguiente enunciado:

"El valor máximo de nivel de salida es de 20 *dB* por encima de 1 miliwatt"

Se explica que la consola es capaz de enviar 100 miliwatts para cualquier carga. Esto se realiza sustituyendo los valores de potencias lo que significa que para una potencia de referencia cero de 1 miliwatt, su relación a 20 *dB* sería de 100 veces 1 miliwatt, por lo que se obtiene 0.1 Watt de margen máximo.

El voltaje de referencia 0.775 V así como el de la potencia de 1mw que se toma para referenciar ciertas relaciones.

El origen del 0.775 Volts se da por los años cuarenta cuando todos los equipos de audio tenían como impedancia de entrada 600 Ω y a 1 mw de potencia que tomaron como referencia esa potencia.

Por lo tanto se tiene lo siguiente:



$$V = \sqrt{RP}; V = \sqrt{600\Omega(1mW)}; V = 0.775[V]$$

En la época actual no se respeta los 600 Ω de impedancia de entrada, pero el valor de 0.775 Volts se tomó como norma de referencia por muchos fabricantes de equipo.

Relaciones de dB con Niveles de Señales Eléctricas

Existen diferentes relaciones para representar los decibeles. A continuación se muestran algunas expresiones.

- *dBm*: Expresa un nivel de potencia cuya referencia es 1 miliwatt, esto es, $0 \text{ dBm} = 1 \text{ miliwatt}$.
- *dBu*: Término para expresar razones de voltaje, donde el nivel de 0 dBu es igual a 0.775 volts, a diferencia del *dBm* donde la relación requiere de un punto de referencia, el valor de referencia del *dBu* es siempre 0.775.
- *dBv, dBV*: Denotan una relación de acuerdo a un voltaje de referencia donde para *dBV* el voltaje de referencia es de 1.6 volts rms y para *dBv* el voltaje de referencia es de 1.23 volts _{rms}. Estos valores son por normas internacionales.
- *dB SPL dm*: Expresa el nivel de presión sonora con el aumento de la distancia, y se calcula de la siguiente forma:

$$dB \text{ SPL } dm = SPL \text{ } dr + 20 \log \left(\frac{dr}{dm} \right)$$

donde:

dr = distancia de referencia a (1 m)

dm = distancia medida en (m)

- *dBW*: Semejante al *dBm*, expresa relaciones de potencia con un nivel de referencia de 1 watt.
- *dB SPL*: Este término es utilizado para describir niveles de presión sonora y se toma a la presión de referencia 20 μPa que es la presión mínima ó el umbral de audibilidad a 1000 Hz:

$$dB \text{ SPL} = 20 \log \left(\frac{P_{\text{Presión}}}{P_{\text{de referencia}}} \right)$$

- *dB PWL*: Potencia sonora expresada en Watts acústicos, este término comparte la expresión $dB \text{ PWL} = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_0} \right)$



Valor RMS

La abreviación “rms” es “Root Mean Square” que significa la raíz cuadrada del valor promedio de una señal, es una expresión matemática utilizada para describir la energía específica de una señal. El valor eficaz “rms” de una señal senoidal es 0.707 de la amplitud pico de la señal indicada o -3 dB del valor pico de la señal es decir la mitad de la potencia de la señal. En la figura 2.10, se tiene una señal senoidal con su valor eficaz ó “rms”.

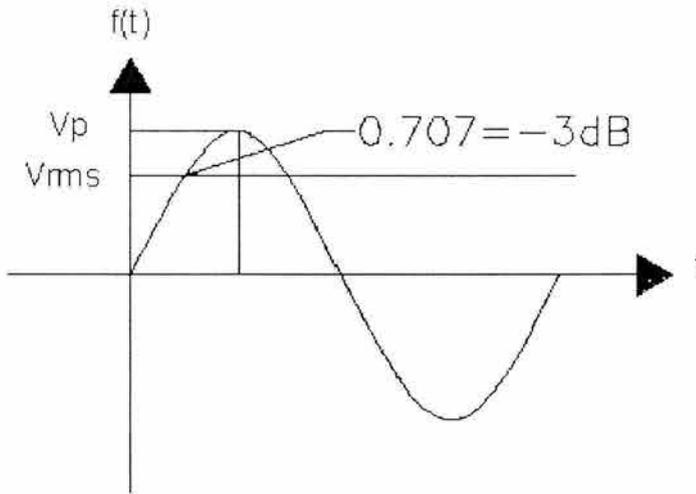


Figura 2.10. Representación del valor rms en una señal senoidal

El valor eficaz ó “rms” de una corriente ó voltaje, es una constante igual a la corriente ó voltaje DC que sería suministrada por la misma potencia promedio a una resistencia R , de este modo, la corriente sinusoidal con una amplitud I_m transmite la misma potencia promedio a una resistencia R como lo hace una corriente de DC igual a $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$. También la corriente “rms” es independiente de la frecuencia angular ω_0 o de la fase ϕ de la corriente i .

Se tiene que en un circuito resistivo.

$$P = RI^2_{rms} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} Ri^2 dt$$

Ahora para corriente eficaz I_{rms} se tiene que:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} i^2 dt}$$

y para voltaje eficaz V_{rms} se tiene que:



$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} v^2 dt}$$

Cuando la potencia promedio en un sistema alterno se iguala a la potencia de un sistema DC se obtiene la corriente rms esto es sustituyendo en la expresión I_{rms} se tiene.

Donde $i = I_m \cos(\omega_0 t + \phi)$

I_m es la corriente máxima:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\omega_0 I_m^2}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega_0} \cos^2(\omega_0 t + \phi) dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = I_m (0.707)$$

2.4 INTERVALO DINÁMICO

El intervalo dinámico es la diferencia entre el nivel máximo y el nivel mínimo en un sistema de sonido. También se define como la diferencia en decibeles entre varios estados de una señal durante un periodo de tiempo, esto es, el cambio máximo en un programa de niveles audibles.

Durante una sesión de música en la que en un periodo de tiempo en donde la potencia audible llega a niveles máximos y niveles mínimos, esto es, el intervalo dinámico de la sesión. Esto ayudará a el ingeniero de audio a mezclar los sonidos y tener una idea de que parte de la sesión las magnitudes son máximas y qué partes son mínimas para poder mezclarlas correctamente además de no saturar el sistema.

Para obtener el intervalo dinámico que un sistema de sonido necesita para reproducir un concierto, se considera que el nivel de una señal eléctrica en un sistema de sonido (dBu) deberá ser proporcional a la presión sonora original ($dB SPL$) de un micrófono.

Los niveles eléctricos dependerán también de la sensibilidad de los micrófonos, la ganancia de los pre-amplificadores y su potencia. Como ejemplo, para el caso en que un micrófono tenga niveles de sonido máximo de $130 dB SPL$, los niveles máximos que se pueden obtener serían de $+24 dBu$ a la salida de un amplificador.

De la misma forma cuando el nivel de sonido del micrófono cae a un valor mínimo de $40 dB SPL$ el nivel de la línea puede caer a $-66 dBu$ y la potencia de amplificación cae también, para esta variación de niveles, se considera entonces que el intervalo dinámico sería:

Intervalo dinámico = nivel de pico - nivel de piso

Intervalo dinámico = $+24 dBu - (-66 dBu)$



Intervalo dinámico = 90 dB

Haciendo la misma relación con respecto al manejo de potencias se tiene:

$$dB = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_0} \right)$$

$$dB = 10 \log \left(\frac{250}{0.000000250} \right)$$

$$dB = 10 \log(1.000.000.000)$$

$$dB = 10(9)$$

Intervalo dinámico = 90 dB

Una relación similar a esta, puede existir para cada tipo de sistema de sonido, como puede ser grabación en un estudio, una discoteca, etc.

2.5 SONIDO EXTERIOR

A continuación se describirá el comportamiento del sonido en espacios abiertos, libres de materiales reflectores de sonido u objetos absorbentes y sus efectos en un sistema de sonido pero que depende de la temperatura, viento, densidad, humedad del aire.

Ley inversa del cuadrado de la distancia. Es importante mencionar que existe una relación entre la distancia de la fuente de sonido y el nivel de presión sonora (SPL) debido a que se debe tener en cuenta esta característica para el diseño de la discoteca-bar y en el análisis del teatro que se tratará en el capítulo 6. Esta relación esta expresada en términos de la ley inversa del cuadrado de la distancia, la cual asume que se tiene una fuente puntual de sonido (omnidireccional) y las condiciones de un espacio libre (sin fronteras reflejantes) como se observa en la figura 2.11, establece que la intensidad del sonido varía con el doble de la distancia, en otras palabras, para el doble de la distancia desde la fuente, el valor de la presión decae 6 dB. Por ejemplo, si la salida de una bocina es de 100 dB a 1 metro de distancia, a 2 metros, el nivel de presión sonora es de 94 dB, es decir 6 dB menos.

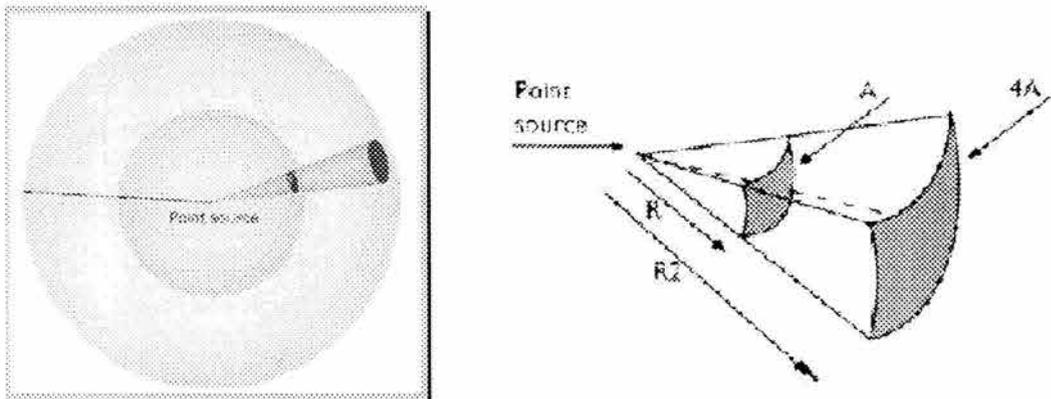


Figura 2.11. Características de dispersión de una onda esférica



En una onda esférica cada vez que se duplica la distancia, la superficie intersecada por dicha onda esférica se cuadruplica. Esto es, la superficie interceptada aumenta con el doble de la distancia.

La propagación del sonido en exteriores está influenciada por los factores del medio ambiente, que no se presentan de forma significativa en interiores, estos factores que afectan el sonido son el viento, el gradiente de temperatura y la humedad. Los efectos se intensifican en exteriores de grandes dimensiones como eventos deportivos o conciertos de rock. A continuación se presenta una descripción de la forma en la que influyen dichos factores del medio ambiente en el sonido al aire libre.

Viento

El viento es un factor que afecta a la propagación del sonido, sus efectos se dividen en dos clases: efectos de velocidad y efectos de gradiente del viento. Los efectos de la velocidad del viento se ilustran en la figura 2.12.

El viento va a agregar un vector de velocidad a la onda de propagación del sonido y puede cambiar la dirección de propagación, provocando que parezca que el sonido proviene de una posición diferente.

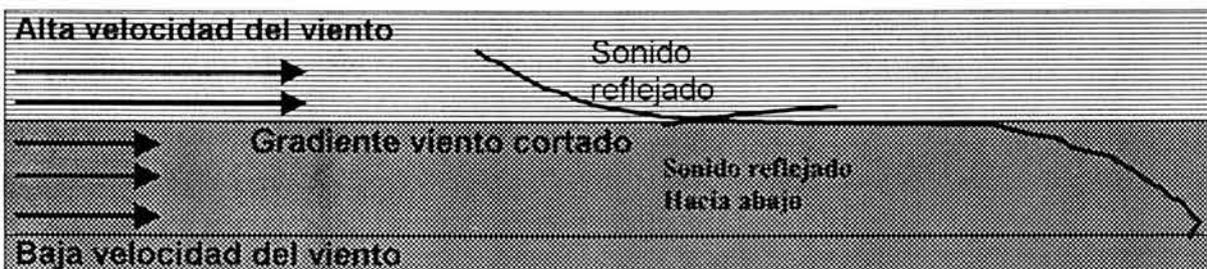


Figura 2.12. Efectos del gradiente y velocidad del viento en la propagación del sonido

Los efectos del gradiente de la velocidad del viento ocurren cuando una capa de aire se mueve a diferentes velocidades en las capas adyacentes; usualmente una capa está sobre la otra. Un gradiente se puede encontrar cuando en un área con audiencia existe una barrera, por ejemplo un conjunto de árboles o por una pared. El efecto de un gradiente de velocidad es cambiar la dirección de la señal del sonido hacia abajo como se ilustra en la figura 2.12.

Gradiente de Temperatura

La velocidad del sonido está también afectada por la temperatura. El sonido pasa a través del aire caliente (el cual es menos denso) más rápido que cuando pasa por aire frío y el gradiente de temperatura provoca una reflexión de la señal del sonido.



Humedad

En la propagación del sonido la humedad provoca una pérdida de energía de la señal atenuandola ó amortiguandola. Los efectos son significativos para frecuencias arriba de los 2 kHz donde se incrementa la atenuación con el aumento de la humedad.

2.6 SONIDO INTERIOR

Las paredes, el techo y el piso de un cuarto son algunas de las barreras u obstáculos que extienden la flexibilidad como el sonido puro. La figura 2.13 muestra lo que sucede cuando una señal de sonido incide en los límites de una superficie.

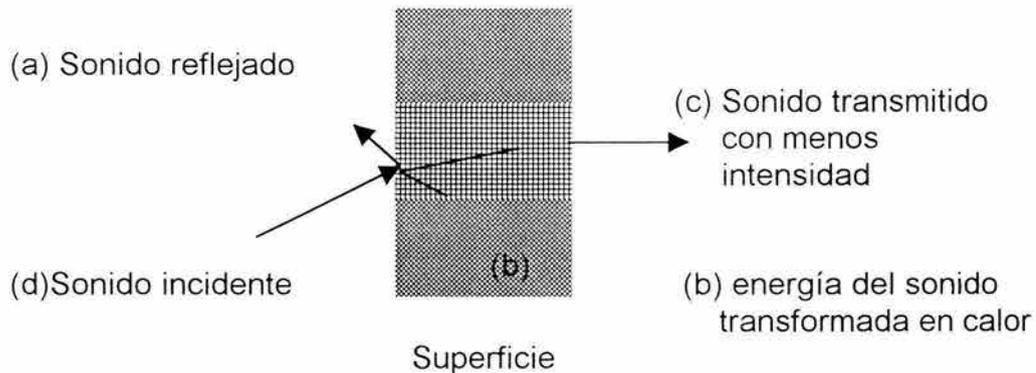


Figura 2.13. Efectos de las superficies en el sonido

Parte de la energía de la onda es reflejada como se muestra en la figura 2.13. (a) El porcentaje de la energía que es reflejada esta relacionada con la rigidez de la superficie. La energía de onda que no es reflejada es absorbida por el material y otra la atraviesa, es decir, es transmitida a través de la superficie como se observa en el inciso (c). Ambos efectos (a) y (b) están relacionados con la porosidad de la superficie.

La refracción, reflexión, transmisión y la absorción dependen básicamente de la frecuencia de la señal de sonido y del material de la superficie, no de la intensidad del sonido.

En acústica, el valor de la medición de la energía perdida cuando una onda de sonido incide en un determinado material es llamado coeficiente de absorción del material. La tabla 2.2 proporciona los coeficientes de absorción para algunos materiales el cual es medido a diferentes frecuencias.

El coeficiente de absorción es la razón del sonido absorbido [dB] y el sonido incidente [dB], y su valor esta entre 0 y 1, es decir $\alpha = 0$ no absorbe ningún sonido y $\alpha = 1$ absorbe todo.

$$\alpha = \frac{I_A}{I_R}$$



donde:

I_A es el sonido absorbido

I_R es el sonido incidente

Coeficientes de absorción α de algunos materiales			
Material	125	1k	4k
Ladrillo de pared (sin pintar)	0.02	0.04	0.07
Ladrillo de pared (pintado)	0.01	0.02	0.02
Yeso	0.02	0.06	0.03
Concreto puro	0.01	0.02	0.03
Piso de pino	0.09	0.08	0.10
Alfombra acolchonada	0.10	0.30	0.70
Cortinas (algodón)	0.07	0.80	0.50
Cortinas (velour)	0.15	0.75	0.65
Azulejo acústico #1	0.15	0.70	0.65
Azulejo acústico #2	0.25	0.70	0.65
Azulejo acústico #7	0.50	0.75	0.65
Paneles #2	0.08	0.55	0.65
Paneles #7	0.35	0.35	0.65
Panel de madera	0.30	0.10	0.07
Paneles cilíndricos	0.35	0.20	0.18
Madera perforada	0.90	0.95	0.45
Área de espera de audiencia	0.50	0.95	0.85
Teatro con asientos (piso duro)	0.45	0.90	0.70
#1 Montado directamente en cemento, yeso o concreto			
#2 Montado de una pulgada de yeso			
#7 Montado suspendido en el techo			

Tabla 2.2. Coeficientes de absorción para diferentes materiales

Un efecto significativo en superficies duras es la formación de ondas estacionarias. La figura 2.14 muestra lo que sucede cuando una señal de onda continua, incide en una superficie a cierta frecuencia.

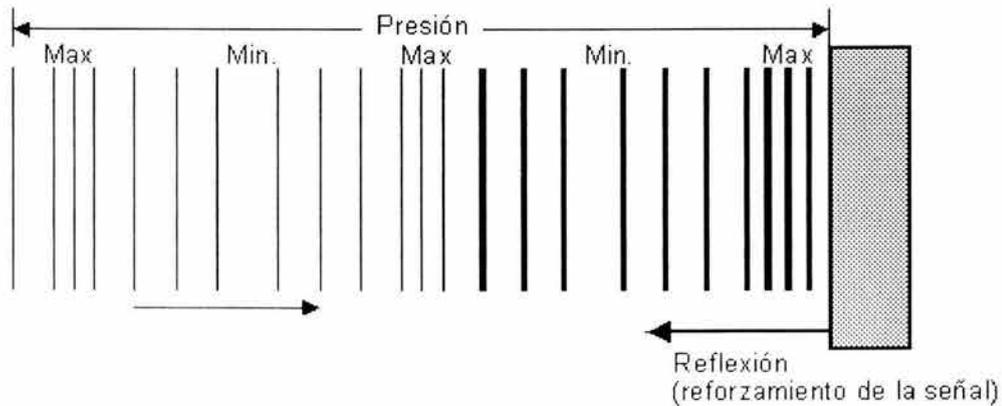


Figura 2.14. Formación de una onda estacionaria por reflexión

Cuando la señal incide de frente en un material reflejante, el sonido que se refleja se combina con la onda que esta incidiendo. Las crestas de las ondas (máxima presión)



coinciden, se combinan y se refuerzan unas a otras, las frecuencias de presión mínima también se combinan.

El resultado es un patrón estacionario en el aire el cual consiste en zonas de baja presión (llamados nodos) alternándose con zonas de alta presión (llamados antinodos). El efecto es conocido como ondas estacionarias. Al desplazarse a través del área se pueden identificar los sitios físicamente donde el sonido es muy alto, y otros donde el sonido es muy suave. Observe que estas zonas de presión de aire máxima y mínima están espaciadas a una distancia igual a media longitud de onda. Su posición en el espacio depende de la frecuencia del sonido.

2.7 REVERBERACIÓN

Después de las primeras reflexiones, comienzan a aparecer las reflexiones resultantes que generan otras y así sucesivamente, dichas reflexiones se incrementan o disminuyen cada vez más. Esta permanencia del sonido aún después de interrumpida la fuente se denomina reverberación.

En cada reflexión una parte del sonido es absorbido por la superficie, y otra parte es reflejada, la parte absorbida puede transformarse en pequeñas cantidades de calor o propagarse a otra habitación vecina, o ambas. La parte reflejada mantiene su carácter de sonido, y viajará dentro del recinto hasta encontrarse con otra superficie en la cual nuevamente una parte se absorberá y otra parte se reflejará. El proceso continúa así hasta que la mayor parte del sonido sea absorbido y el sonido reflejado sea demasiado débil para ser audible.

Para medir cuanto tiempo tarda en atenuarse el sonido se introduce el concepto de tiempo de reverberación "RT", técnicamente definido como el tiempo que demora el sonido en bajar -60 dB por debajo de su nivel inicial (se ha elegido -60 dB porque con esa caída se tiene la sensación de que el sonido se ha extinguido completamente).

Por lo general se representa también este valor con el símbolo RT_{60} .

El tiempo de reverberación depende de qué tan absorbentes sean las superficies del recinto. Así, si las paredes son muy reflectoras es decir que reflejan la mayor parte del sonido que llega a ellas, se requieren varias reflexiones para que se extinga el sonido, y entonces el valor RT será grande. Si en cambio, son muy absorbentes, en cada reflexión se absorberá una proporción muy alta del sonido, por lo tanto, en unas pocas reflexiones el sonido será prácticamente inaudible, por lo cual el valor de RT será pequeño. Dado que los materiales duros como el hormigón o los azulejos, son poco absorbentes del sonido, un recinto con paredes de este tipo tendrá un tiempo de reverberación largo. Una sala cubierta con materiales absorbentes como cortinados, alfombras, etc., por el contrario tendrá un tiempo de reverberación corto. La propiedad anterior se puede expresar por medio de la expresión *de Sabine*, en honor al físico norteamericano que la obtuvo a principios del siglo XX. Según dicha



expresión el tiempo de reverberación RT_{60} puede calcularse como:

$$RT_{60} = 0.161 \left(\frac{V}{\bar{\alpha}S} \right)$$

Donde:

0.161 es la constante de proporcionalidad

V es el volumen de la habitación en m^3

S es el área de su superficie interior total en m^2

$\bar{\alpha}$ es el coeficiente medio de absorción sonora, ya definido como la fracción de la energía sonora incidente que es absorbida por las superficies de la habitación.

Dado que los coeficientes de absorción "α" dependen de la frecuencia, resulta también que el tiempo de reverberación depende de la frecuencia.

En general, los recintos están formados por diversos materiales cuyos coeficientes de absorción no tienen por qué ser iguales. Si una sala tiene una parte S_1 de su superficie con coeficiente α_1 , otra parte S_2 con coeficiente α_2, \dots y por último una parte S_n con coeficiente α_n , entonces:

$$RT_{60} = 0.161 \left[\frac{V}{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots + \alpha_n S_n} \right]$$

Varias investigaciones realizadas evaluando la acústica de las mejores salas del mundo (según la opinión de las audiencias o usuarios y de expertos) han revelado que para cada finalidad existe un tiempo de reverberación óptimo, que aumenta al aumentar el volumen en m^3 de la sala. En la figura 2.15 se muestra el resultado de uno de estos estudios. Debe aclararse que no hay coincidencia entre los resultados presentados por diversos investigadores, aunque cualitativamente son similares.

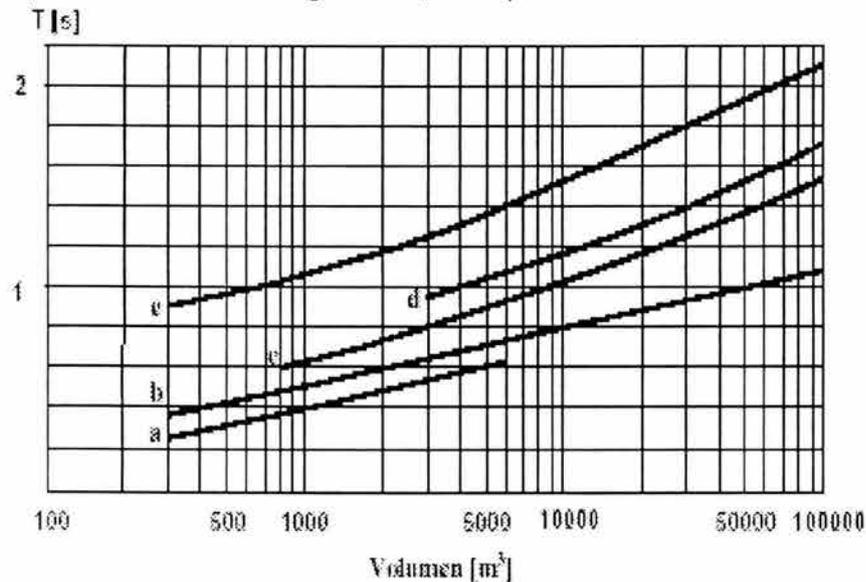


Figura 2.15. Tiempo de reverberación óptimo en función del volumen de una sala (según L. L. Beranek), (a) Estudios de radiodifusión para voz, (b) Salas de conferencias, (c) Estudios de radiodifusión para música, (d) Salas de conciertos, (e) Iglesias



En general se observa que la voz requiere menores tiempos de reverberación que la música, debido a que la parte más significativa de la palabra son las consonantes, que son a la vez débiles y más cortas que las vocales. En consecuencia, con un tiempo de reverberación alto las vocales se prolongan demasiado, enmascarando a las consonantes que les siguen, lo que reduce la inteligibilidad de la palabra. La música, por el contrario, se beneficia con un tiempo de reverberación considerable, ya que este permite empalmar mejor los sonidos y disimular pequeñas imperfecciones de ejecución, a la vez que aporta una especialidad que es deseable en la música.

2.8 DIFRACCIÓN

Cuando un conjunto de ondas que se propagan por el espacio encuentra a su paso un objeto cuyas dimensiones son menores o iguales a un cuarto de la longitud de onda incidente esta rodeará el objeto, originando un fenómeno conocido como difracción, dando lugar a una zona detrás del objeto, carente de sonido denominada sombra. Las bajas frecuencias poseen mayor facilidad para rodear el objeto que las frecuencias altas. En auditorios puede afectar y causar que las ondas sonoras fácilmente difracten alrededor de los paneles que son demasiado pequeños con respecto a la longitud de onda de ciertas frecuencias, por esta razón los paneles deben ser cuidadosamente diseñados para ser lo suficientemente largos y anchos para reflejar efectivamente las longitudes de onda deseadas del sonido.

En la figura 2.16 se muestra este fenómeno.

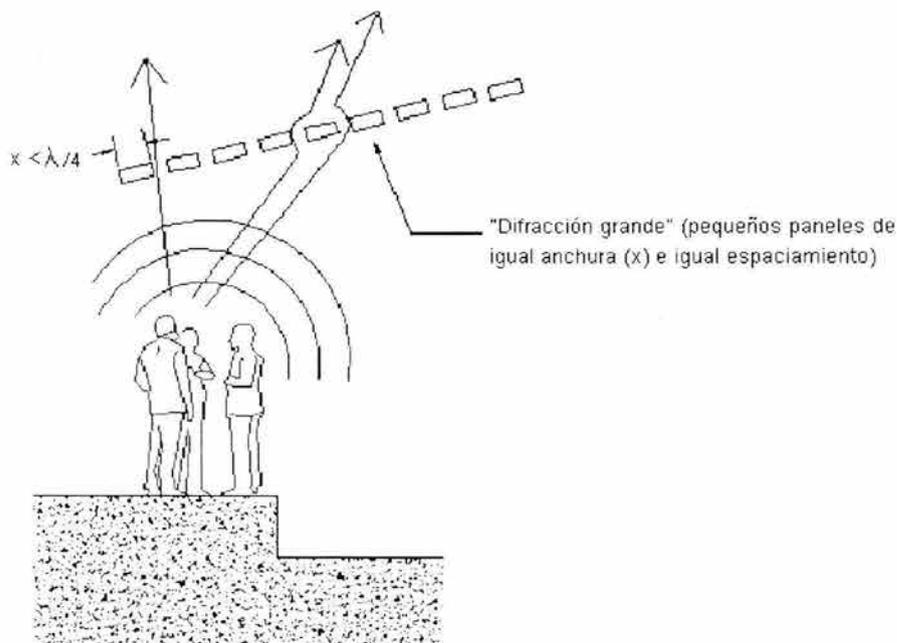


Figura 2.16. Difracción en paneles



2.9 DIFUSIÓN

La difusión es la dispersión o redistribución aleatoria de una onda sonora desde una superficie. Esto ocurre cuando la profundidad de la superficie del material es comparable a la longitud de onda del sonido, la dirección de la onda sonora incidente es cambiada. La difusión es una característica de los cuartos, es extremadamente importante y es usada para eventos musicales. Cuando la difusión es satisfactoria, los oyentes deben de tener la sensación de que el sonido viene de todas direcciones a igual nivel. En la figura 2.17 se representa este fenómeno.

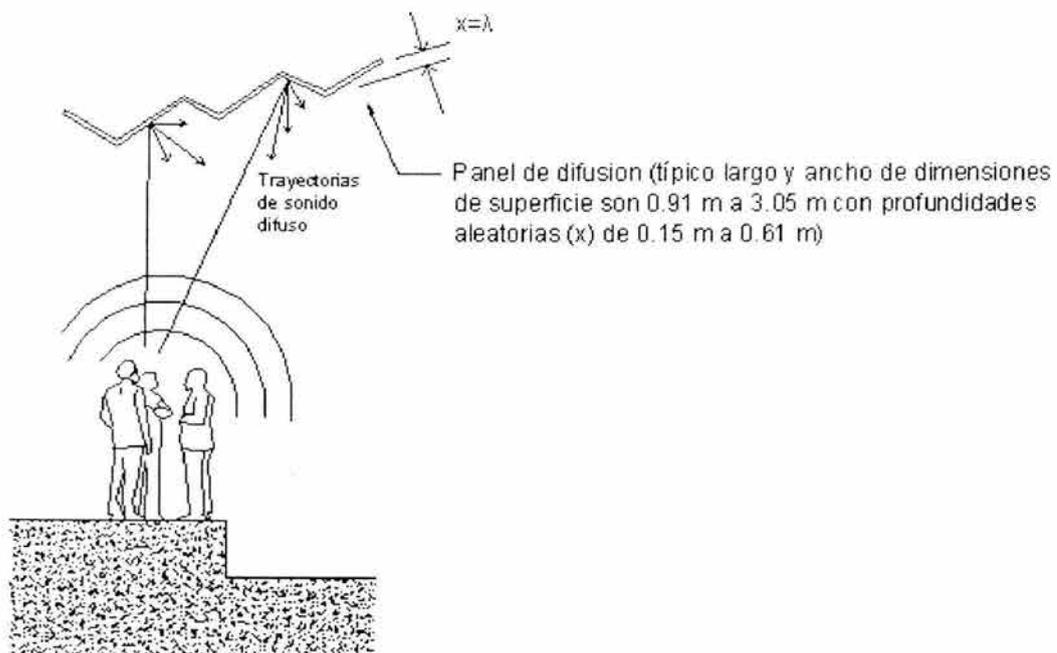


Figura 2.17. Difusión en paneles

2.10 REFLEXIÓN

La reflexión es el retorno de una onda sonora desde una superficie, como se muestra en la figura 2.18. Si la dimensión de una superficie (longitud X) es más larga que 2 a 4 veces la longitud de onda λ de la fuente, el ángulo de incidencia ϕ_i será igual al ángulo de reflexión ϕ_r . Por ejemplo, 1000 Hz corresponden a una longitud de onda de 0.344 m; Por lo tanto, una dimensión de superficie (largo o ancho) de acerca $4\lambda = 4 \times 0.344[\text{m}] = 1.38$ m que se reflejará la energía del sonido de la longitud de onda de 1000 Hz y superiores. Cuando un arreglo de paneles suspendidos es usado para el reflejo directo de la energía de sonido hacia la audiencia, los paneles individuales deben ser de tamaños variados para prevenir la creación de un sonido repetitivo.

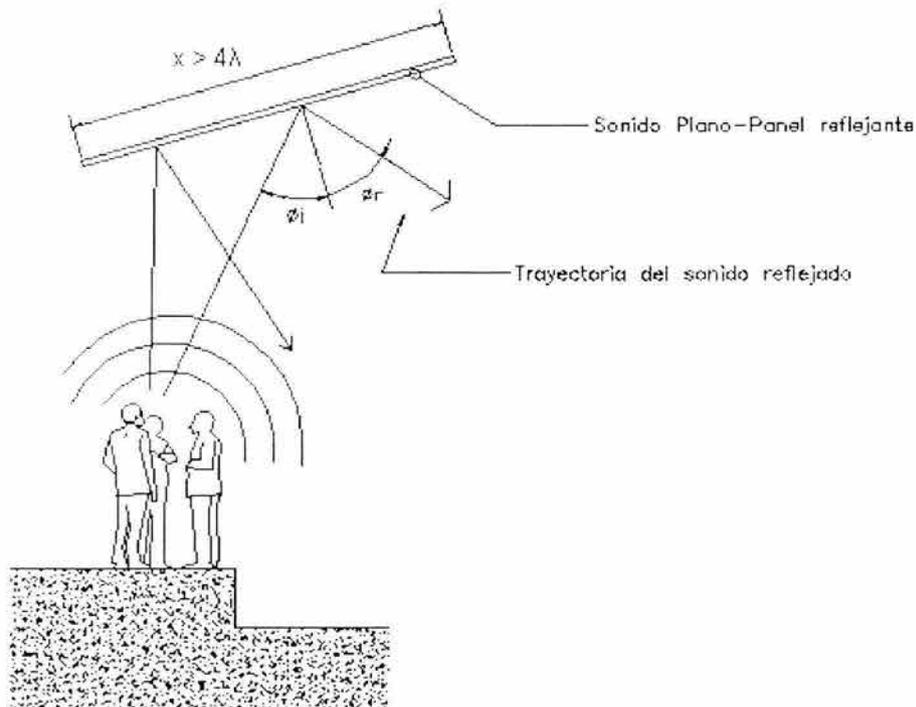


Figura 2.18. Reflexión en paneles

2.11 REFRACCIÓN

Es el cambio de dirección que sufre una onda sonora al pasar de un medio a otro, por ejemplo (del aire al agua) o al pasar por capas de aire con diferente temperatura dentro de un mismo medio.

Este fenómeno tiene importancia en sonorizaciones al aire libre, donde las diferencias de temperatura del aire pueden ocasionar zonas en que el nivel sonoro disminuye debido a la curvatura de la dirección de propagación de la onda sonora.

La velocidad del sonido en el aire esta en función de la temperatura y su velocidad se incrementa al aumentar la temperatura como se menciono anteriormente.

2.12 ECO

El eco es una onda sonora reflejada de una superficie dura, es posible oír múltiples ecos cuando el primer eco formado es repetidamente reflejado de otras superficies duras.

El eco consiste de múltiples reflexiones del sonido entre superficies paralelas, y se produce cuando una onda sonora incide sobre un obstáculo y es reflejada por éste. Se origina así una nueva onda que parece provenir detrás del obstáculo.

El sonido reflejado es percibido como un sonido distinto el cual se transmite como un eco, para apreciar en forma clara el eco es necesario que el tiempo sea de 50



milisegundos mínimo entre el sonido directo y el reflejado. Este límite se puede considerar como el tiempo mínimo que necesita el oído para percibir como distintos o separados a dos sonidos.

2.13 DISTORSIÓN

Al reproducir un sonido debe procurarse que éste sea lo más fiel posible al sonido original. Siempre existe una diferencia, por pequeña que sea, entre el sonido reproducido y el original. Esta diferencia entre ambos sonidos es lo que se denomina distorsión.

Esencialmente hay 3 formas de distorsión, que puede deteriorar la fidelidad de los sistemas en audio:

- Distorsión en Frecuencia
- Distorsión de Fase
- Distorsión de Amplitud

Distorsión en Frecuencia

Es causada por la imposibilidad de un dispositivo para pasar el intervalo de frecuencias (ancho de banda) de audio, para evitarlo es preciso que la respuesta en frecuencia del dispositivo sea lo más amplia posible.

Esta distorsión, provocada por la distinta amplificación de las señales según sea su frecuencia, es llamada distorsión de frecuencia y el efecto producido por esta es un cambio en el timbre del sonido reproducido con respecto al original.

Distorsión de Fase

En acústica se explica que no existen sonidos puros, es decir, que todas las ondas sonoras van acompañadas de armónicas. Así, a la onda fundamental le corresponde un ángulo y a sus armónicas le corresponden a otro.

Esta distorsión debida al desfase de las distintas frecuencias se denomina distorsión de fase.

La distorsión debida al desfase de las distintas frecuencias se denomina distorsión de fase. El oído no percibe prácticamente ninguna diferencia entre el sonido de entrada y salida del amplificador, debido a que solo es sensible al contenido de armónicas y no a su fase relativa.

Este tipo de distorsión es causado por el cambio del ángulo relacionado con la forma de onda para cada cambio en esta relación en la salida del amplificador comparada con la entrada. Distorsión de fase es aplicable a las ondas fundamentales y sus armónicas.



Distorsión de Amplitud

La distorsión de amplitud es debida a la falta de linealidad del sistema. En un amplificador de audio si se le aplica una señal senoidal a la entrada y a la salida se obtiene una señal amplificada que es fiel reflejo de la señal de entrada, el amplificador trabaja en su zona lineal y, por lo tanto, no se introduce distorsión de amplitud.

En el caso de que a la salida del amplificador tengamos una señal no senoidal, se dice entonces que el sistema ha introducido distorsión. Como se muestra en la figura 2.19.

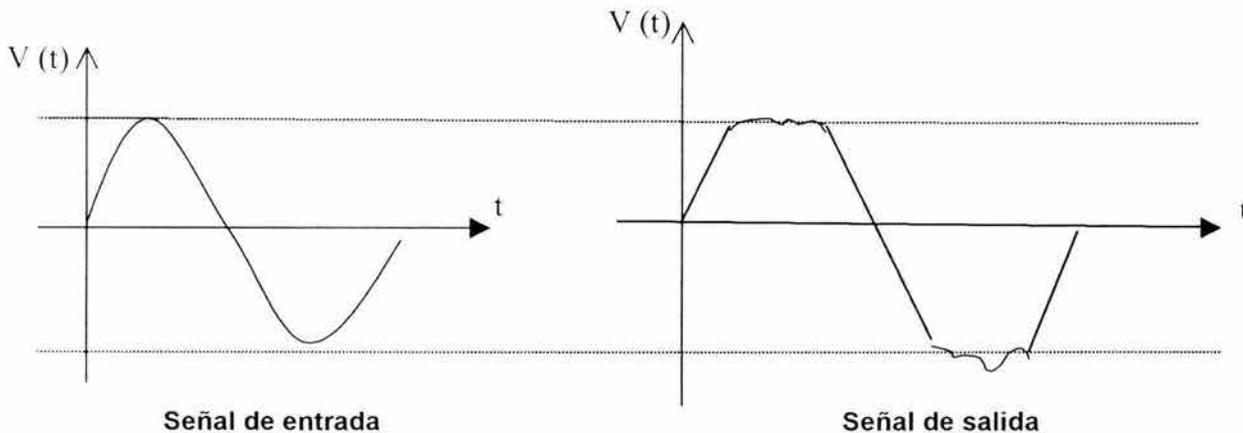


Figura 2.19. Distorsión de amplitud

2.14 RUIDO

Se define como señales aleatorias, algunas no deseadas que no están relacionadas con la señal que se está utilizando y que deterioran la calidad sonora de la señal de interés. Y algunos de estos ruidos se utilizan para calibrar equipos.

En la figura 2.20 se muestra una señal de ruido que es una señal aperiódica, porque no se le puede medir su ciclo, cuyo valor está variando. Al no tener ciclo no hay periodo ni frecuencia medible.

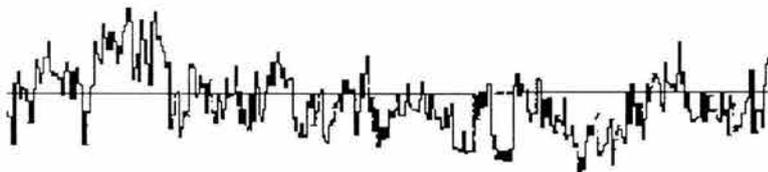


Figura 2.20. Señal de ruido

Se definen dos tipos de ruido:



- Ruido blanco
- Ruido rosa

En muchas medidas acústicas es necesario emplear una señal no senoidal como estímulo para la medida. Esta señal consiste en algún tipo de ruido ya que presenta la ventaja de que la energía está presente en toda la banda de frecuencias simultáneamente, razón por la cual las medidas pueden efectuarse con más rapidez. Se menciona el ruido rosa porque se puede utilizar en pruebas de audio en auditorios.

Ruido Blanco

Es el ruido que tiene la energía distribuida en el espectro de forma que hay igual potencia en cada unidad de ancho de banda. Por ejemplo, en este ruido la banda de 100 Hz a 200 Hz tiene la misma potencia de ruido que la banda de 10.1 kHz a 10.2 kHz.

Este ruido tiene una respuesta plana cuando se analiza con equipos, como los analizadores de espectro que son del tipo FFT (transformada rápida de Fourier).

El ruido blanco se caracteriza por el hecho de que su valor en dos momentos cualesquiera no es correlativo. Esto motiva a este tipo de ruido a tener una potencia de densidad de espectro plana (en potencia de señal por Hz de ancho de banda), y su pérdida análoga con la "luz blanca" que tiene una potencia de densidad de espectro plana con respecto a la longitud de onda.

El Ruido blanco es ruido donde su amplitud es constante a través del intervalo de frecuencia audible. Para producir ruido blanco normalmente es usando un generador de ruido en donde todas las frecuencias son igualmente probables.

Este es el mismo ruido que escuchamos en equipos electrónicos y es el resultado de movimientos aleatorios de electrones en los componentes de algunos equipos como resultado del calor.

Una de las características del ruido blanco es la percepción que es más fuerte en las regiones de altas frecuencias. Esto es porque el ruido blanco tiene igual cantidad de energía por Hz. Esto es resultado del hecho que con cada octava incrementada en frecuencia esto corresponde al doble de la frecuencia.

Consideramos el intervalo de frecuencias en la octava descrita por 100 Hz a 200 Hz comparado con la octava descrita por 5 kHz a 10 kHz. Claramente la segunda octava tiene mayor intervalo de frecuencias.

Ruido Rosa

El ruido rosa es el tipo de ruido cuya energía está distribuida de forma que tiene igual potencia por porcentaje de ancho de banda u octava o tercio de octava. Por ejemplo,



la octava de 50 Hz a 100 Hz tiene la misma potencia de ruido que la octava de 10 kHz a 20 kHz.

Una octava de dos frecuencias se obtiene de la siguiente forma:

$$f_2 = 2f_1$$

Por ejemplo, asumimos que una octava empieza en 100 Hz, donde la octava es seleccionada en una proporción de frecuencia de 2 a 1 la segunda octava es 200 Hz, la siguiente octava es 400 Hz, la siguiente octava es 800 Hz etc. En ruido rosa la energía de sonido es igual en cada una de estas octavas, esto significa que la potencia del ruido rosa por Hz de ancho de banda decreta por un factor de 3 dB por octava.

El ruido rosa tiene una pendiente de 3 dB por octava.

Este ruido es caracterizado por tener un decremento de cantidad de energía acústica. Como esta caída es de altas frecuencias, esto lo hace más conveniente para pruebas con componentes como los tweeters o bocinas de agudos.

En la figura 2.21 se muestra el espectro del ruido blanco y del ruido rosa.

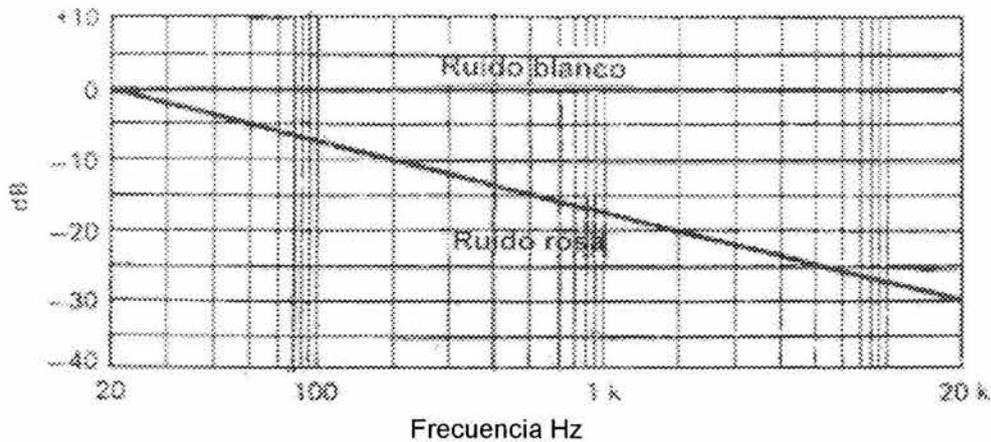


Figura 2.21. Espectro de frecuencia del ruido blanco y ruido rosa

El ruido rosa es filtrado para dar igual potencia por octava o por tercio de octava. El ruido rosa tiene densidad de espectro de potencia plana por porcentaje de ancho de banda, lo que motiva una caída de -3 dB por octava comparado con el ruido blanco. Hay muchas razones para utilizar el ruido rosa en las pruebas de audio. Una es que la música tiene un contenido de espectro promediado más cercano al ruido rosa que al ruido blanco. Otra es que el ruido rosa puede ser fácilmente medido con filtros paso banda y conlleva a gráficas planas en escalas de frecuencia logarítmicas que corresponden con la escala musical.

El ruido rosa se utiliza a menudo con filtros de $\frac{1}{3}$ de banda de octava para medir la acústica de salas. Esta idea tiene el mérito de que $\frac{1}{3}$ de octava es un número conveniente próximo al límite en el que nuestros oídos son capaces de detectar irregularidades en la respuesta en frecuencia, y porque el promedio de medidas



sobre bandas de $\frac{1}{3}$ de octava suaviza los picos y caídas estrechos que elevan las ondas estacionarias en las salas.

2.15 REALIMENTACIÓN

La realimentación básica de los sistemas lineales en forma continua se representa en la figura 2.22, y queda de la siguiente forma:

$$Q(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{H(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

Donde a $Q(s)$ se le llama función del sistema de lazo cerrado de la trayectoria de realimentación.

En un sistema de control con realimentación positiva como se muestra en la figura 2.23 y que puede entrar en resonancia si no se controla ese efecto y puede tener como consecuencia la avería de algún elemento del sistema de audio que más comúnmente son las bocinas. En el audio ocurre cuando el sonido que sale de una bocina es captado por un micrófono y amplificado una y otra vez. La realimentación es un problema de distancia y ganancia, ya sea la distancia del micrófono a la fuente, del micrófono a la bocina, de la fuente al oyente y de la bocina al oyente. Variando cualquiera de estas distancias cambiará el punto y frecuencia de la realimentación. La mejor opción para resolver problemas de realimentación es acercar el micrófono a la fuente. Esto le puede añadir al menos 6 dB de ganancia antes de la realimentación. Otros métodos son bajar el número de micrófonos en uso y por supuesto ecualización y sistemas reductores de la realimentación. Es siempre aconsejable atacar la parte acústica de la realimentación y si aún hay posibilidad de que ocurran estas realimentaciones, se puede añadir un detector de realimentación automático para que se ocupe de aquellos casos en que el ingeniero de audio no pueda controlar. Estos sistemas simplemente usan algún esquema de detección y cuando ubican una realimentación (una vez que esta ocurriendo) filtran la frecuencia que se realimenta.

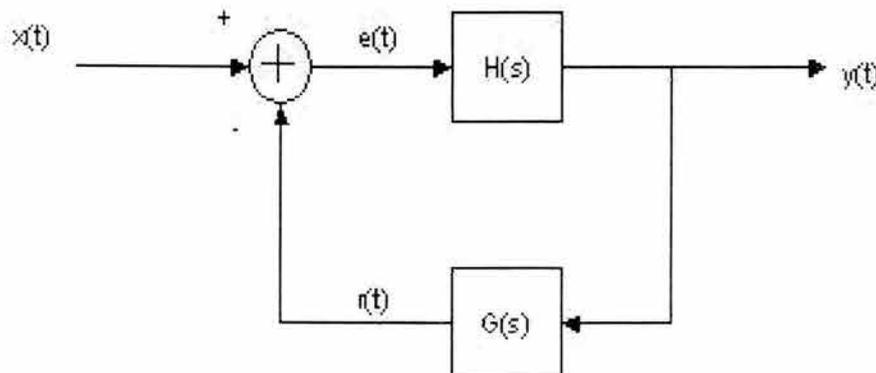


Figura 2.22. Sistema básico de realimentación

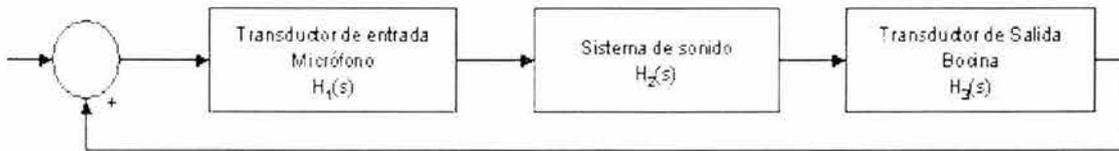


Figura 2.23. Diagrama a bloques con realimentación positiva

2.16 RESONANCIA

Todo cuerpo capaz de oscilar libremente puede también oscilar bajo la acción de una fuerza que puede tener una frecuencia igual o distintiva a su frecuencia natural.

La frecuencia de resonancia es cuando la frecuencia de oscilación forzada sea igual a la frecuencia natural.

Cuando dos cuerpos de frecuencia común se influyen, se dice que están en resonancia.

La eficiencia de la respuesta resonante depende también de la distancia existente entre el transmisor y el receptor como también del acoplamiento entre los dos cuerpos.

2.17 ATENUACIÓN

Es la pérdida de energía acústica de un haz sonoro. La atenuación se puede dividir en dos partes:

- Mecanismos de absorción que convierten la energía acústica en energía térmica
- Mecanismos que desvían y dispersan la energía acústica fuera del haz

Cuando un fluido contiene no-homogeneidades tales como partículas suspendidas, regiones térmicas de diferentes temperaturas o regiones de turbulencias, la energía acústica se pierde más rápidamente que en un medio homogéneo.

Es la absorción en el medio de propagación que origina una disminución progresiva de la onda. Este fenómeno origina pérdida de energía de las ondas.

La razón a la cual el sonido se atenúa en función de la distancia puede representarse por la expresión siguiente.

$$A_d = e^{-md}$$

Donde A_d es la atenuación por la distancia, m es la constante de atenuación en nepers / metro, d es la distancia en metros. En el aire a una temperatura de 20° C, el valor de m puede determinarse de las curvas experimentales de la figura 2.24, en función de la humedad relativa y la frecuencia.

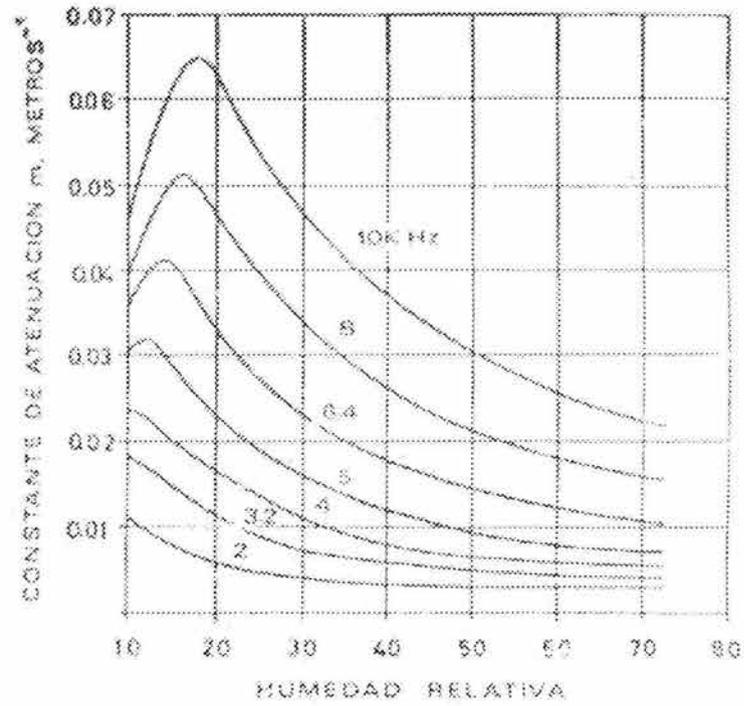
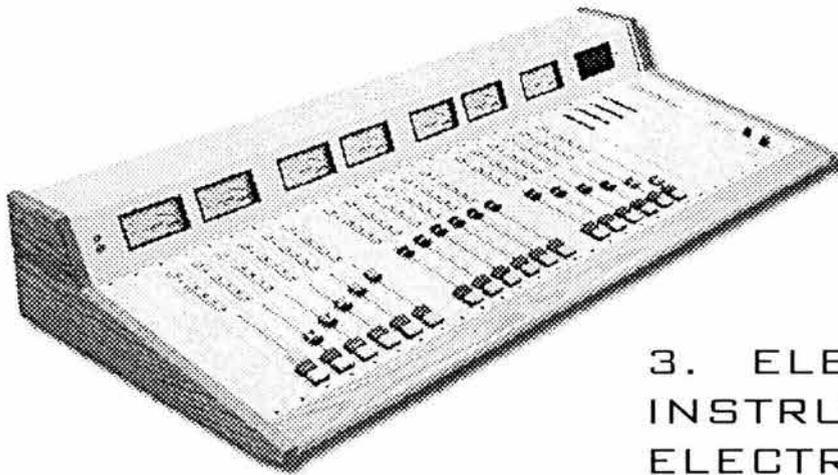


Figura 2.24. Atenuación del sonido en el aire a una temperatura de 20° C en nepers / metro



3. ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN ELECTROACÚSTICA

INTRODUCCIÓN

Un sistema de sonorización es un arreglo de componentes que están diseñados e integrados para amplificar el sonido respetando su forma original.

Existen sistemas de sonido diseñados para grabar, recuperar y procesar sonidos. En este caso los componentes pueden ser similares a un sistema de reforzamiento de sonidos en vivo, exceptuando que el uso de un reproductor de cinta, de disco compacto o receptor de radio, es sustituido por un micrófono o instrumentos musicales.

Un sistema de sonorización convierte el sonido a una señal eléctrica, procesándola a través de varias etapas para al final amplificarla y convertirla otra vez a sonido. El sonido es captado por un transductor, el cual puede ser un micrófono, la señal eléctrica que entrega el micrófono es muy pequeña y es necesario preamplificarla para que pueda ser procesada. Esta etapa la pueden realizar las consolas de mezcla o dispositivos que simplemente preamplifican la señal. La señal se ecualiza según las necesidades del evento que se lleve a cabo. También se puede procesar la señal, es decir, procesar la voz, el sonido de un instrumento, etc. También es necesario controlar el tiempo de retardo, ya sea para crear efectos sonoros o para sincronizar el tiempo de llegada del sonido de bocinas del sistema principal y de bocinas de retardo. Para proteger las bocinas es necesario utilizar los procesadores de bocinas, los cuales dividen la señal en varias vías dependiendo del modelo de bocinas y las protege de exceso de energía.

También se describen las diferentes etapas que componen un sistema de sonido, las cuales son micrófonos, preamplificadores, consolas de mezcla, procesadores de señal, ecualizadores, líneas de retardo, procesadores de bocinas, amplificadores y bocinas, que permiten mejorar el desempeño de este sistema y obtener una calidad sonora adecuada. En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques de un sistema de sonorización.

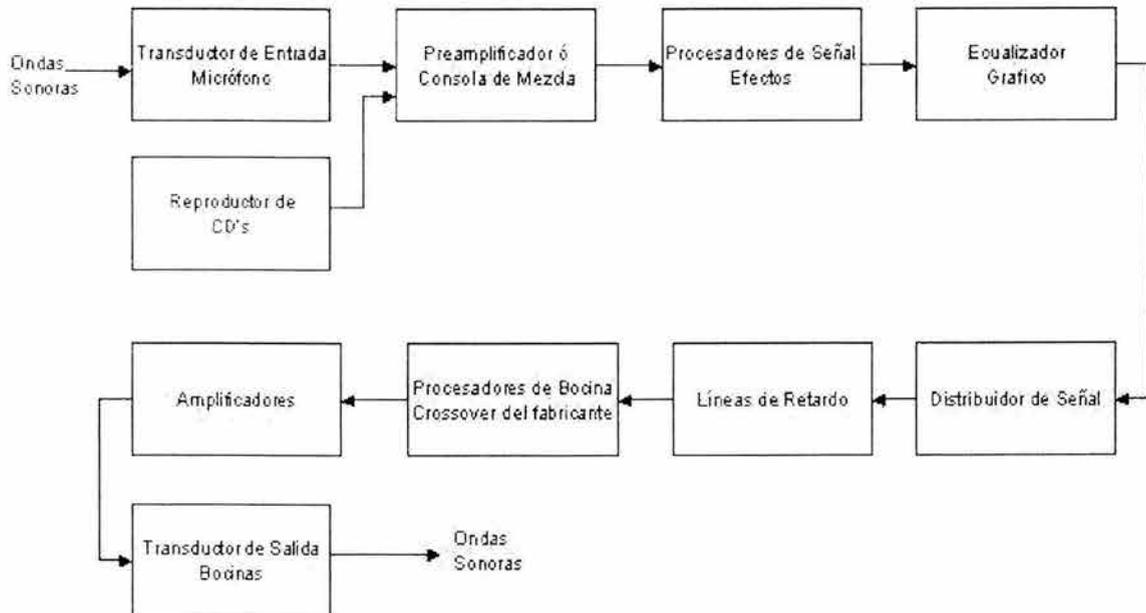


Figura 3.1. Diagrama de bloques de un sistema de sonorización

3.1 MICRÓFONOS

El micrófono es un transductor que transforma las ondas acústicas (sonido) en señales eléctricas.

La fidelidad del micrófono depende en parte al proceso de transformación de la energía sonora a señal eléctrica. Durante varios años se han desarrollado diferentes tipos de micrófonos, a continuación se describen algunos de los más comunes.

- Micrófonos dinámicos
- Micrófonos de condensador
- Micrófonos de cinta
- Micrófonos de carbón

Micrófonos Dinámicos

También llamados micrófonos electrodinámicos ó micrófonos de núcleo móvil. Son de uso común, parecidos a una bocina en miniatura, donde de hecho sus elementos pueden desempeñar tanto la función de bocina como de micrófono, con la excepción de que el micrófono es un generador de señal y la bocina un reproductor de sonido. Este micrófono se compone de un diafragma unido a una bobina central, la cual está suspendida dentro de un campo magnético, permitiéndole moverse de atrás hacia delante, dentro del campo magnético, de tal forma que cuando el sonido golpea el diafragma, este vibra, moviendo la bobina dentro del campo magnético el cual corta las líneas magnéticas, generando una señal de corriente eléctrica inducida. El diagrama representativo se muestra en la figura 3.2. La magnitud y la dirección de la corriente son directamente proporcionales al movimiento de la bobina central, y la



corriente eléctrica de salida es una representación eléctrica de la onda de sonido incidente en el diafragma.

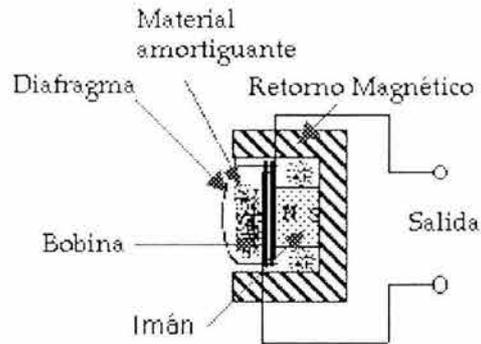


Figura 3.2. Diagrama de un micrófono dinámico

Los micrófonos dinámicos son muy comunes debido a su durabilidad, además de tener un desempeño favorable en cuanto a su sensibilidad.

Las características más comunes de un micrófono dinámico son:

- Tiene una impedancia cuyos valores van de 150Ω a 250Ω , considerando a este tipo de micrófono como de impedancia baja
- Su respuesta en frecuencia típica es de 60 Hz a los 15 kHz; llegando también en algunos casos de los 80 Hz a los 18 kHz

Micrófono de Condensador

Compuesto de un diafragma de plástico dieléctrico cubierto por un baño de oro dispuesto de tal forma que responde a las vibraciones del ambiente. Este plato conductor está colocado en una base de cerámica, que separa al diafragma por un pequeño volumen de aire, emulando un capacitor como se observa en la figura 3.3.

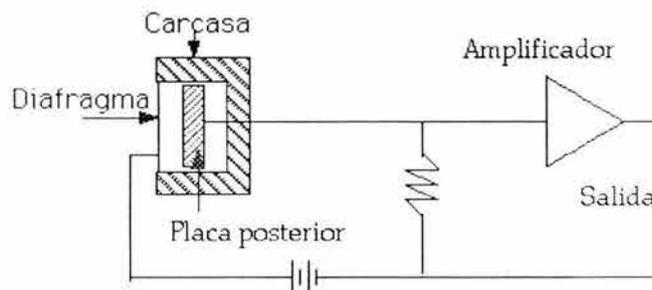


Figura 3.3. Diagrama de un micrófono de condensador

Un voltaje de polarización entre los 8 Volts y 49 Volts de dc, generado desde una fuente de poder, alimenta al diafragma, cargándolo con un voltaje directo fijo. Cuando



el diafragma vibra en respuesta a la presión sonora que recibe, produce un movimiento de acercamiento y alejamiento del diafragma a la placa de la base, generando con este movimiento fluctuaciones en el voltaje de la placa de la base, transformando este movimiento en una representación eléctrica.

Debido a que el diafragma de un condensador no tiene una carga de masa conectada a esta (como en el caso del micrófono dinámico), este puede responder rápidamente y de forma instantánea a una vibración sonora incidental, los micrófonos de condensador tienen características de sonido excelentes, utilizadas básicamente para grabaciones, además de tener una mejor sensibilidad para captar fenómenos sonoros de la naturaleza.

La potencia eléctrica de un micrófono de condensador puede ser suministrada por una batería o por una fuente externa como puede ser un amplificador o un equipo de grabación.

Las características más importantes de un micrófono de condensador son:

- Tiene una impedancia de hasta $10\text{ M}\Omega$
- Por sus características de no tener una masa que limite el movimiento del diafragma, este tiene un excelente nivel de respuesta en frecuencia

Micrófono de Cinta

Una cinta de metal corrugada, ligera y delgada, es suspendida dentro de un campo magnético de gran potencia. Esta cinta es conectada a dos terminales de tal forma que permita el libre movimiento a través de lo largo de la cinta, ver figura 3.4. Cuando una presión sonora golpea la cinta, vibra emulando al modelo dinámico, cuyo movimiento corta las líneas magnéticas lo que producía una diferencia de voltaje inducido por la cinta. Debido a que el voltaje de respuesta en la cinta es muy pequeño y su resistencia pequeña, este tipo de micrófonos necesitan de un transformador para incrementar el voltaje de salida.

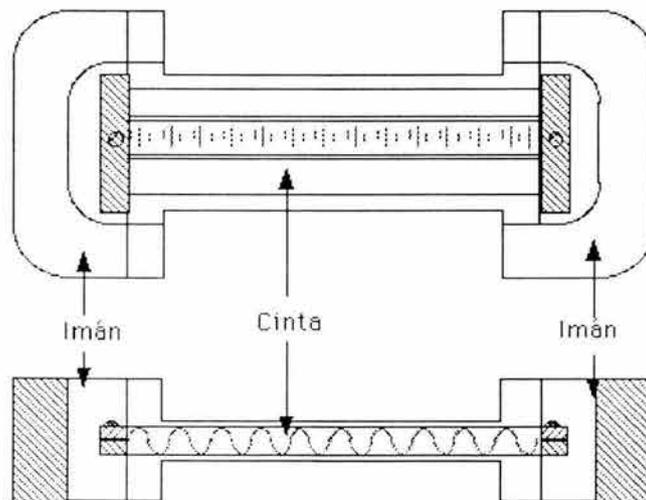


Figura 3.4. Micrófono de cinta



Actualmente los micrófonos de cinta son extremadamente frágiles por lo que pueden dañarse fácilmente incluso con el hecho de soplar directamente al micrófono.

Algunas características de estos micrófonos, resistencia de hasta 250Ω , ofrecen un intervalo de respuesta en frecuencia de 35 Hz a 18 kHz, en una relación de más o menos 4 dB.

Micrófonos de Carbón

Se compone esencialmente de una resistencia variable, cuya resistencia es controlada siempre por una entrada de sonido, su estructura básica consiste de un diafragma metálico, el cual está unido con un diafragma en cuyo centro contiene granos de carbono cuya resistencia representa la carga que esta conectada a una fuente de voltaje.

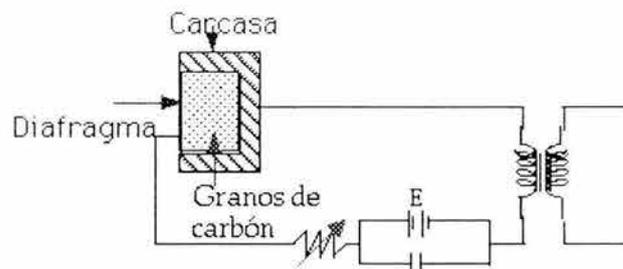


Figura 3.5. Micrófono de carbón

Cuando el diafragma golpea los granos de carbón en el centro se genera un movimiento denso compartimento que contiene los granos de carbón cambiando su resistencia, esto genera cambios en el valor de la corriente que esta circulando con lo que se obtiene un cambio en el voltaje de salida. El diagrama se muestra en la figura 3.5.

Los micrófonos de carbón tienen un intervalo de captura limitado, es comúnmente utilizado en sistemas de comunicación debido a su durabilidad y porque pueden aplicarse en ambientes extremos.

Su patrón común de respuesta es omnidireccional por lo que llega a detectar ruidos de áreas no deseadas. Este micrófono puede utilizarse para transmitir voces con un intervalo de frecuencia limitada.

Características de los Micrófonos

Es importante definir cuales son las características más importantes de los micrófonos para poder seleccionar el adecuado, según la necesidad que se tenga. Estas características serian las siguientes:

- Diagrama Polar de un Micrófono
- Sensibilidad
- Respuesta en frecuencia



Diagrama Polar de un Micrófono

El diagrama polar de un micrófono refleja la sensibilidad con que es capaz de captar un sonido según el ángulo con que es incidido. Para determinar el diagrama polar de un micrófono, se utiliza una cámara anecoica en la que se coloca el micrófono y frente al micrófono una fuente sonora que genera un tono a una frecuencia determinada. Teniendo el micrófono en el eje de 0° sobre la fuente sonora, se mide el voltaje de salida del mismo. A este voltaje se le llama "Voltaje de referencia a 0 dB " y se toma como voltaje de referencia. A continuación se va rotando el micrófono sobre su eje variando el ángulo de incidencia con respecto a la fuente sonora y se van anotando los valores de voltaje que obtenemos en su salida. En la figura 3.6 se muestra la forma en que se realiza un diagrama polar de un micrófono.

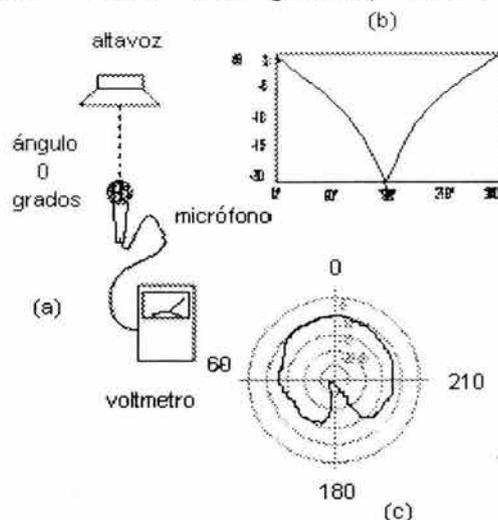


Figura 3.6. Prueba de diagrama polar de un micrófono

En el inciso (a) de la figura 3.6 se muestra la forma como se mide en una cámara anecoica, en el inciso (b) se muestra la ganancia del micrófono a diferentes grados, en el inciso (c) se muestra un diagrama polar. Utilizando este sistema hay que repetir el mismo procedimiento para diferentes bandas de frecuencia y así obtener el comportamiento del micrófono que tiene en varias bandas de frecuencia. También se puede realizar el diagrama polar mediante el sistema de espectrometría de retardo de tiempos, donde se realiza una medida de la respuesta en frecuencia del micrófono cada 10° y después se procesa obteniéndose los diagramas a las frecuencias deseadas.

El diagrama polar de un micrófono da la información necesaria para saber como se comporta el micrófono con los sonidos dependiendo de donde provengan. Los diagramas polares se pueden dividir básicamente en tres, el omnidireccional, el bidireccional y el unidireccional (estos a su vez se dividen en cardioides, supercardioides e hipercardioides). Como se muestra en la figura 3.7.

El micrófono unidireccional se puede clasificar como aquel que tiene una mayor sensibilidad a los sonidos que vienen de frente a la cápsula con un ángulo relativamente amplio. Cada uno de ellos va presentando un diagrama polar cada vez



más estrecho y por lo tanto se van haciendo más insensibles a los sonidos que les llegan desde la parte posterior así como del lateral.

El micrófono omnidireccional es el que tiene la misma sensibilidad a la onda incidente, sea cual sea el punto de emisión.

El micrófono bidireccional estos micrófonos reciben la presión por ambos lados del diafragma, teniendo su máxima sensibilidad a los 0° y los 180° de forma que todos los sonidos que llegan procedentes de otras direcciones son atenuados.

En la figura 3.7 se muestran los diferentes patrones polares de los micrófonos.

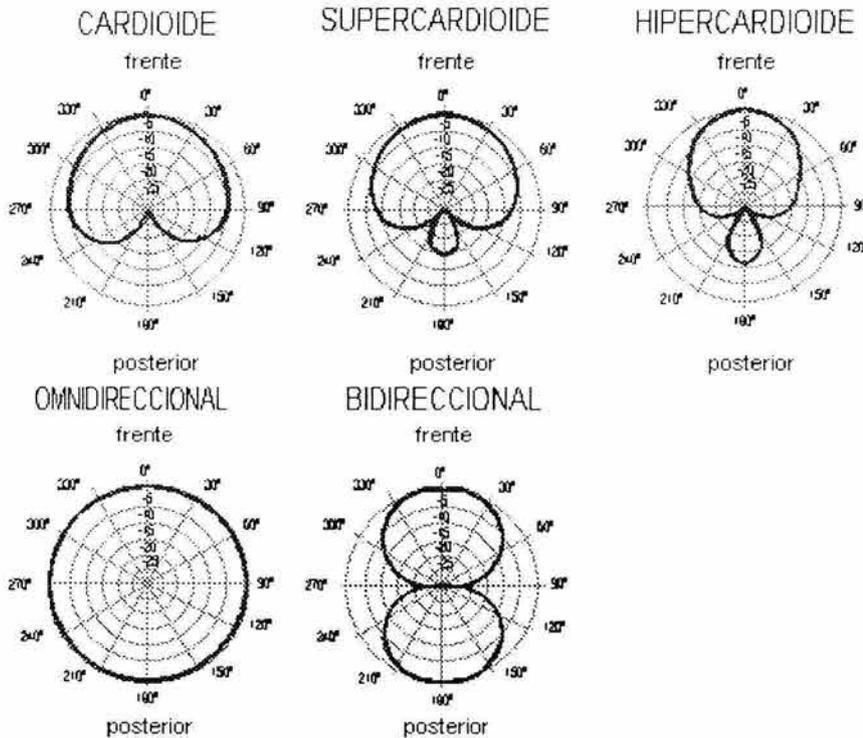


Figura 3.7. Distintos tipos de micrófonos distinguidos por su diagrama polar

Sensibilidad

El nivel de salida del micrófono siempre es especificado con la referencia de salida utilizando un tono de 1000 Hz. Un micrófono con mayor sensibilidad producirá más nivel de salida a menor nivel de presión sonora. Existen dos tipos de presión sonora más comunes, el de 74 dB que es el porcentaje de nivel de la voz a 0.912 m de distancia, y el de 94 dB que corresponde al nivel de la voz a 0.304 m de distancia.

Respuesta en Frecuencia de un Micrófono

Un micrófono tiene mejor fidelidad si su respuesta en frecuencia es lo más plana posible dentro del intervalo de frecuencia.

No es fácil obtener una respuesta en frecuencia plana en un micrófono. Se debe de considerar que influyen las longitudes de onda con respecto a las dimensiones del diafragma. Los micrófonos omnidireccionales suelen causar problemas en su



respuesta en altas frecuencias, los micrófonos direccionales varían notablemente su respuesta en relación con su ángulo de recepción.

3.2 PREAMPLIFICADORES Y CONSOLAS DE MEZCLA

PREAMPLIFICADORES

Los preamplificadores son utilizados para producir un nivel de salida de los micrófonos de -70 dBu a -50 dBu nominales a niveles de -20 dBu a $+4 \text{ dBu}$. En términos de voltaje, estos niveles equivalen a 0.1 Volts y 2 Volts. La potencia involucrada es del orden de los micro-Watts.

Los preamplificadores son la primera etapa activa, es el primer circuito electrónico que procesa la señal de un micrófono conectado a una consola o a un preamplificador, también son utilizados para elevar las señales de otros dispositivos, aunque su aplicación principal es la de acoplar impedancias, debido a esto el preamplificador logra niveles de voltaje adecuados para una consola.

El diseño de un preamplificador es muy importante, ya que es el circuito de mayor ganancia. Un buen preamplificador debe estar diseñado para un nivel mínimo de ruido y distorsión. Esta es la razón por la cual los preamplificadores optimizados para una guitarra eléctrica (las cuales tienen una muy alta impedancia de entrada, del orden de $k\Omega$) no realizan un buen trabajo con un micrófono profesional típico el cual tiene una impedancia fuente de 50Ω a 200Ω .

Los preamplificadores generalmente son diseñados dentro de cierto intervalo de ganancia. Cuando se opera el control fino en un canal de entrada de una consola, generalmente se debe ajustar la ganancia del preamplificador, si opera a una ganancia unitaria (sin amplificación), los preamplificadores se desestabilizarán y mostrarán un incremento de distorsión o una tendencia a oscilar, por esta razón su diseño debe prever una protección como la atenuación, antes y después del preamplificador. Esto logra atenuar la señal para que el preamplificador siempre se pueda operar con poca ganancia, cuando la señal de entrada es lo suficientemente alta como para pasarla directamente a una etapa posterior a la etapa de preamplificación, conocida como líneas de entrada, a esta técnica se le conoce como paso todo (*bypass*). Ahora bien, si se tiene otra línea de entrada en la consola y solamente una entrada de micrófono disponible, se puede atenuar la línea de entrada al nivel del micrófono utilizando una atenuación de -20 dB a -50 dB .

Si una consola esta diseñada con entradas a nivel de línea ($+4 \text{ dB}$) solamente, en este caso un micrófono no puede ser conectado directamente, no se tendría la suficiente ganancia y la impedancia seria incorrecta. Si se tiene un micrófono externo, el preamplificador puede emplearse para levantar la señal del micrófono antes de conectarse a la línea de entrada. Algunos micrófonos emplean una batería para lograr preamplificar la señal.



CONSOLAS DE MEZCLA

Características

El término consola de mezcla es utilizado para referirse a las combinaciones de señales de audio, desde un conjunto de entradas a un conjunto de salidas usualmente con algunas etapas de procesamiento y un nivel de ajuste.

Una consola de mezcla sirve para combinar diferentes tipos de señales eléctricas de entrada sumándolas para obtener una señal definitiva en un determinado número de salidas. Cada señal de salida será una suma, en diferentes proporciones, de las señales de entrada. La consola tiene n entradas y m salidas, que varían según el modelo. La figura 3.8 ilustra una consola de mezcla.



Figura 3.8. Diagrama de una consola de mezcla con entradas y salidas

El término señal eléctrica se refiere a la señal que puede provenir de micrófonos, grabadores, disco compacto o cualquier tipo de instrumento musical electrónico que genere una señal de audio para mezclarse con otras señales.

Estas señales llegan a la mezcladora con valores de voltaje muy pequeños, del orden de microvolts, por lo que una de las primeras funciones de la mezcladora será la de amplificarlas suficientemente para poder trabajar con ellas.

La primera característica es el número de canales de entrada de que dispone, entre mayor sea el número de canales de entrada, más señales de entrada distintas se podrán mezclar. Se debe destacar que, además de las entradas principales o canales de entrada, existen también entradas auxiliares.

La impedancia de entrada a la mezcladora debe ser, como mínimo 3 veces superior a la salida de un micrófono. Esto obliga a trabajar con una impedancia mínima de 600Ω .

Balance: Otra de las características es la posibilidad de obtener efecto estéreo, es decir, cada señal de entrada puede enviarse en la proporción que se quiera a dos salidas diferentes, principal izquierda (L) y principal derecha (R). De esta forma se puede conseguir el efecto estéreo y situar los sonidos en diferentes posiciones frente al oyente.

Se puede decir que una consola de mezcla es un conjunto de entradas sobre las que se puede actuar de forma independiente, y que mediante agrupaciones dan lugar a un conjunto de salidas como se puede ver en la figura 3.9.



Se puede ver en la figura 3.9 como las señales procedentes de los canales de entrada, se pueden enviar a los canales auxiliares, a los grupos y a la salida principal L y R. Las señales de las entradas auxiliares pueden dirigirse a las salidas principales (bus master) o a las salidas de grupos. Las entradas de grupos pueden dirigirse a las salidas auxiliares, la salida principal L y R, y a las propias salidas de grupo. Los símbolos + representan la capacidad de sumar en un mismo bus varias señales. Es decir, varias señales de entrada pueden sumarse en los canales de salida L y R, en una salida auxiliar o en un mismo grupo.

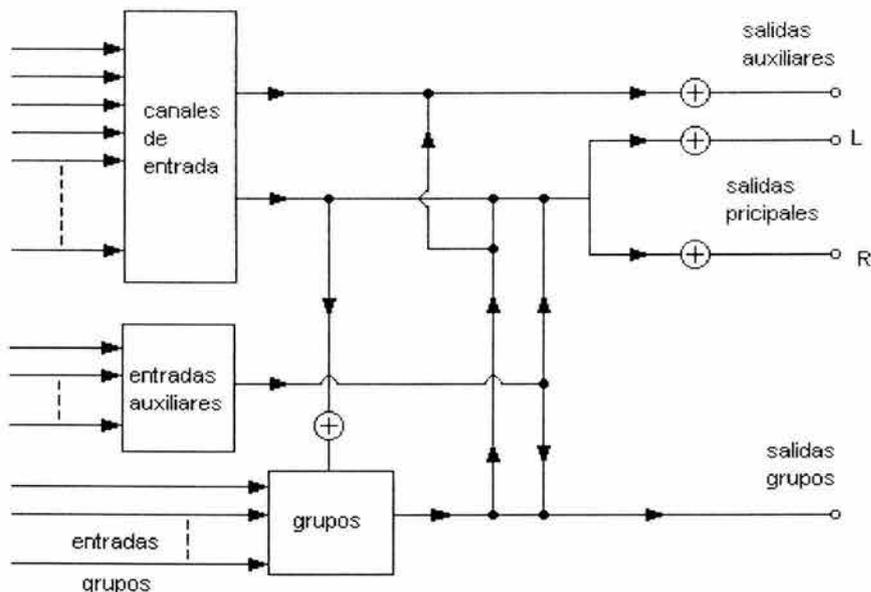


Figura 3.9. Diagrama de entradas, rutas posibles y salidas en una consola de mezcla

Descripción de las Funciones

Módulo de Canales de Entrada

La consola de mezcla debe adaptarse para permitir la conexión de distintos dispositivos de entrada y de salida. Así, en sus entradas puede recibir: micrófonos de distintos tipos, salidas del multipista, Cd's, Deck's, etc.

La salida puede dirigir señales a: grabador master, grabador multipista, equipos auxiliares (procesadores externos), amplificadores, monitor, etc.

Es por este motivo que la consola debe dar diferentes y adecuados márgenes de impedancia de entrada y salida en sus conectores. También deberá permitir un ajuste de niveles respecto a los elementos externos, ya sea amplificando o atenuando las entradas o regulando los niveles de salida. Las señales de entrada a la consola son generadas por diferentes equipos de audio que pueden tener diferentes impedancias a las cuales se tiene que ajustar y diferentes niveles que tendrá que igualar para trabajar con todas ellas. En las salidas, debe poder ajustar el



nivel de señal para que sea el óptimo para el siguiente equipo al que dirija señal y con una impedancia de salida óptima.

La figura 3.10 muestra un diagrama de bloques de un canal de entrada y el recorrido que realiza la señal.

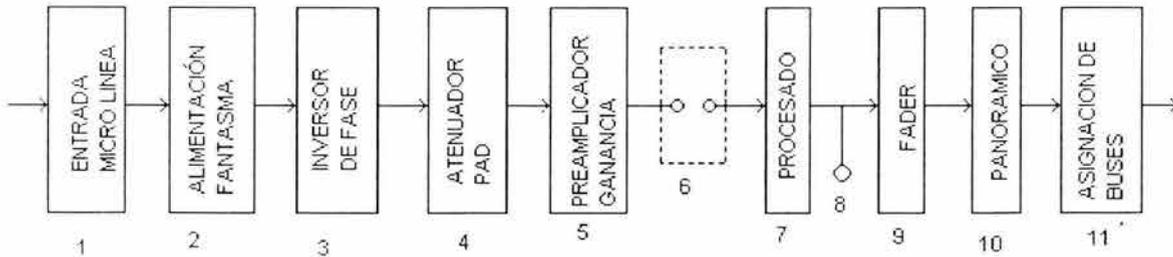


Figura 3.10. Diagrama de bloques de un canal de entrada

La consola de mezcla se divide en diferentes módulos:

Módulo de Canales de Entrada

En el módulo de canales de entrada y por cada uno de los canales se pueden encontrar las siguientes partes numeradas según el diagrama de bloques de la figura 3.10

1. Entradas

Se puede observar que el módulo de entrada comienza por una entrada para micrófono y otra para línea. Estas entradas pueden ser balanceadas (simétricas) o no balanceadas (asimétricas). En las consolas de mezcla multicanal de calidad todas las entradas son simétricas.

La entrada de micrófono (entrada MIC) también recibe el nombre de entrada de bajo nivel porque recibe señales débiles (unidades de milivolts) o de -20 dBu . La entrada de línea (LINE) recibe el nombre de entrada de alto nivel (unidades de décima de Volt) de $+4 \text{ dBu}$.

2. Alimentación fantasma

Cuando las entradas de línea o principalmente las de micrófono se conectan a dispositivos que necesitan alimentación, comúnmente 48 Volts de dc (por ejemplo los micrófonos de condensador), la consola debe disponer de unos circuitos que den la posibilidad de activar esta fuente. No todas las consolas incorporan la alimentación fantasma, por lo que a veces se necesitará incorporarlos de forma externa mediante una fuente de alimentación.



3. Inversor de fase

Se trata de un cambiador de fase (180°), que permite poner en fase la fuente de señal de entrada conectada a este canal con el resto de las fuentes. Este sistema también es opcional y no lo incorporan todas las consolas.

4. Atenuador (PAD)

Si se conecta un micrófono de condensador a la entrada de micrófono de la consola, dado que la sensibilidad de estos micrófonos es mayor que la de los dinámicos, puede suceder que aunque la ganancia de micrófono esté a 0 dB , los 50 dB del preamplificador de ganancia que son fijos, sean suficientes para saturar el resto del canal. Para evitar esta situación, en la entrada de micrófono y delante del preamplificador de ganancia se sitúa un atenuador pad de -20 dB . Algunas consolas admiten atenuaciones de hasta -40 dB . Este pad reducirá la amplificación del previo a -30 dB , evitando la saturación.

En algunas consolas el preamplificador de ganancia está constituido por un preamplificador-atenuador, pudiendo dar unos márgenes de amplificación y atenuación grandes, por ejemplo de 60 dB de ganancia a una atenuación infinita (60 dB a $\infty\text{ dB}$).

5. Preamplificador de ganancia

La función de este preamplificador es la de aumentar el nivel de voltaje que proporcionan los micrófonos hasta llevarlos al nivel de línea con que trabaja la consola (interiormente). Este nivel por lo general está entre los $+4\text{ dBm}$ y los -10 dBm .

La estructura del preamplificador de ganancia es, por lo general, la de un previo de ganancia fija (por ejemplo 50 dB) seguido de un preamplificador de ganancia variable que no aumenta, sólo atenúa para realizar el ajuste final del nivel.

6. Inserción

Existen dispositivos de procesamiento de señal que no pueden ser integrados en la consola de mezcla, ya sea por su tamaño o por su utilización sólo en ocasiones. El caso más común es el de los procesadores, ya sean de tiempo (efectos de reverberación y otros), de frecuencia (ecualizadores y filtros) o de dinámica (compresores, expansores, puertas de ruido).

Así, se debe tomar la señal en cualquier punto de la consola para enviarla al equipo auxiliar y luego recogerla procesada en cualquier otro punto.

7. Procesamiento

En los canales de entrada de las consolas de mezclas se puede realizar un procesamiento interno. Los más comunes son ecualización y filtrado. El módulo de ecualización por lo general está compuesto por grupos de tres a cinco filtros



semiparamétricos y por filtros paso bajas y paso altas para las bandas superior e inferior.

Los ecualizadores pueden ser de tres a cinco bandas cubriendo todo el espectro de audio. Pueden ser de segundo orden y su factor de calidad Q , oscila entre 1 y 2. Hay que recordar que un ancho de banda de una octava equivale a $Q = 1.41$; de media octava equivale a $Q = 2.87$. También puede aparecer la opción para las bandas superior e inferior de escoger entre filtro shelving tipo control de tonos o tipo semiparamétrico como las bandas centrales.

Los filtros por lo general son de dos tipos.

Paso altas con una frecuencia fija alrededor de 70 Hz o variable (de 25 Hz a 250 Hz) que elimina ruidos mecánicos, vibraciones y paso bajas con una frecuencia fija alrededor de 15 kHz o variable de 3 kHz a 15 kHz que eliminan ruidos de alta frecuencia.

Los filtros por lo general son Butterworth de segundo orden con 12 dB de pendiente de atenuación y su conexión es optativa. Cuando se realice una premezcla, es decir, una mezcla de varios instrumentos en una sola pista del multipista, deberá ecualizarse en grabación, ya que después de la premezcla será imposible ecualizar los instrumentos por separado.

8. Indicador de sobrecarga (OVERLOAD)

Este indicador de sobrecarga consiste en un led, que indica con sus destellos la sobrecarga del módulo de entrada. Aunque el indicador se sitúa físicamente junto al control de ganancia, electrónicamente puede estar situado en otro punto del canal de entrada, como en este caso, después del módulo de procesado y antes del fader.

9. Potenciómetro (Fader)

Se llama fader a un potenciómetro deslizante que es una resistencia eléctrica cuyo valor varía en función de la posición del mando, en un extremo la resistencia es cero y en el otro es máxima.

La señal que llega hasta este punto del canal debe llegar controlada en lo posible, fundamentalmente por el preamplificador de ganancia y por lo tanto no sería necesaria más amplificación. Con el fin de no saturar etapas posteriores se incluye un atenuador denominado fader para limitar la señal que se escapa al control del preamplificador de ganancia. El fader es un atenuador activo que sirve para regular el nivel de salida y dar aislamiento. Sin embargo, en bastantes consolas y para permitir un ajuste más flexible del nivel de salida, el fader tiene una pequeña ganancia entre 10 dB y 12 dB. En estos casos se tomará en cuenta que con el fader al tope de su recorrido, se estará realzando la señal de los 10 dB o 12 dB. En la posición extrema contraria (abajo) la señal será totalmente anulada. Así la ganancia del fader va de +12 dB a $-\infty$ dB.



10. Potenciómetro panorámico (PAN)

Este potenciómetro distribuye la señal en dos vías para atacar de forma conveniente a la etapa posterior de asignación. Con este control se reparte en la proporción deseada la señal a los canales izquierdo y derecho, como en la figura 3.11, bien de la salida principal L y R o de la pareja de buses a la que se envía la señal. Este control se sitúa físicamente encima del fader, por comodidad a la hora de trabajar con el fader.

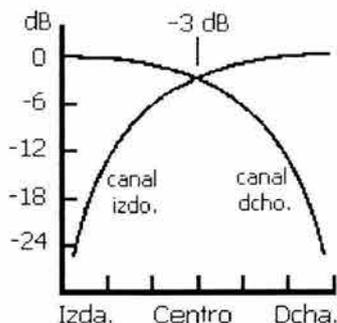


Figura 3.11. Reparto de niveles en función del control panorámico

Como se puede ver en la figura 3.11, cuando el control panorámico está en el centro, ambos canales sufren una atenuación de -3 dB . Estas curvas están calculadas para que la suma de la energía de los dos canales se mantenga constante así como su sonoridad.

11. Asignación de buses

Esta asignación a los diferentes buses se realiza mediante un teclado de selección de envíos que consiste en un conmutador de pares (conmuta a parejas de buses). Mediante este teclado cualquier canal de entrada se puede poner en contacto con cualquier bus.

12. Envíos auxiliares

Estos envíos son similares a la asignación de buses, controlando el nivel de envío a cada bus auxiliar. Los envíos a buses auxiliares pueden hacerse de forma pareada (pensando en señales estéreo), así con un sólo control rotatorio, se envía señal a dos buses. Los envíos a buses auxiliares pueden ser post-fader o pre-fader, siendo el nivel de envío, dependiente o independiente de la posición del fader de canal. Estos módulos se pueden presentar como en la figura 3.12.

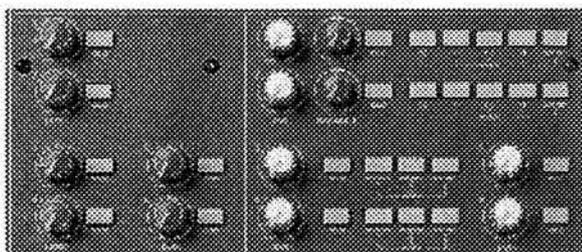


Figura 3.12. Módulo de auxiliares de la consola Mackie 24-8



Módulo de Grupos

Esta es una de las partes fundamentales de la consola de mezcla, gracias a los grupos la consola adquiere su máxima maniobrabilidad.

La señal que llega a uno de estos módulos es la que procede del bus correspondiente y estará formada por la agrupación de una serie de señales de entrada según la asignación que se haga en los canales de entrada (en los conmutadores de pares). De lo visto se desprende que un grupo es una etapa intermedia que agrupa varias entradas en una sola. Así, por ejemplo, se ha visto que cuando la consola se utiliza en el proceso de grabación hacia el magnetófono, necesitamos un número de salidas, que coincida de forma aproximada con el número de pistas del multipista. Es evidente que en estos casos la consola debe ser capaz de proporcionar estas salidas.

Estas salidas pueden obtenerse por los canales de entrada (a través de las salidas directas), pero en la mayoría de las consolas de alta capacidad estas señales salen a través de las salidas que proporcionan los módulos de grupo. Esto es así porque las señales que maneja el grupo son una agrupación de las señales de entrada, lo cual hace el tratamiento más efectivo.

Un módulo de grupo está constituido de la siguiente manera:

La primera etapa suele ser un amplificador seguidor de voltaje (amplificador de ganancia unitaria, que ni realza ni atenúa la señal) cuyo objetivo es dar un fuerte aislamiento al bus respecto de las etapas siguientes.

A continuación se encuentran las salidas de buses de Foldback (FDB) y Auxiliar, estas salidas naturalmente irán a los buses correspondientes.

Seguidamente aparece el fader de grupo (similar al de los canales de entrada). A la salida del fader aparecen 2 puntos de inserción consistentes en una salida para sacar la señal hacia el grabador (TAPE REC) y una entrada para recibir las señales procedentes de la lectura del multipista (TAPE PLAY). Como se observa en la figura 3.13.

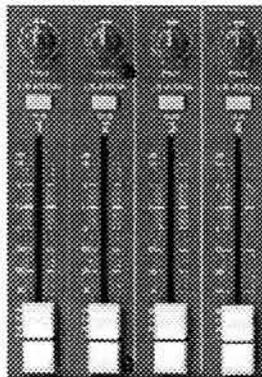


Figura 3.13. Módulo de grupos de la consola Mackie 24-8



La figura 3.13 corresponde a una consola con 4 buses de grupo. El módulo de grupos cuenta con un fader por grupo, un conmutador para asignarlo al bus master L R y un control panorámico. Al corresponder a una consola pequeña, los grupos no incluyen envíos a buses auxiliares.

Cada grupo incluye un vúmetro que facilita el monitoreo visual tanto en grabación como en reproducción.

Módulo Master

Los buses L y R son los que envían señal al módulo master. A estos buses se envía la señal desde los canales de entrada, los módulos o canales de grupo, o los retornos auxiliares.

La configuración es muy simple y consta por lo general de un preamplificador de ganancia unitaria tras el cual puede aparecer una etapa de ecualización de características similares a las presentadas en los canales de entrada. A continuación un fader y por último una etapa conformadora de señal balanceada o simétrica. Ambos módulos L y R poseen un indicador de nivel (vúmetro) conectado a la salida del fader.

El micrófono de intercomunicación (talkback) permite hablar desde la consola a través de un micrófono conectado en la misma. La señal del micrófono de intercomunicación se envía al estudio a través de los monitores o a las tomas de audífonos.

Monitoreo Acústico

El sistema de monitorización acústica debe permitir la escucha de señales de audio tales como: salida master L y R, salidas de subgrupos, envíos a auxiliares, retornos de auxiliares y señales presentes en el bus PFL. El sistema de monitor debe dar salida acústica tanto a la sala de control como al estudio.

Otro sistema de monitor en los módulos de entrada es el denominado Solo. Este sistema toma señal después del fader encaminando la señal al bus de Solo. Este bus lleva una electrónica asociada, que cuando se selecciona alguna señal (pulsando el conmutador), el resto de señales que estaban encaminadas a monitor se sitúan en MUTE, excepto la señal seleccionada con el botón Solo pasa a escucharse en los monitores de estudio y en los vúmetros del módulo master. De esta forma se puede realizar el monitoreo individual de cada señal, sin necesidad de silenciar manualmente el resto de señales.

Monitoreo Visual

Existen distintos instrumentos que permiten obtener información sobre las señales que recorre la consola con sólo mirarlos. Podemos encontrar vúmetros, picómetros, leds de sobrecarga y medidores de fase. En el módulo master se pueden encontrar tres vúmetros, uno que monitorea el canal L, otro el canal R y otro la salida MONO ya que las consolas pueden presentar también esta salida. Además pueden incorporar un medidor de fase para la salida estéreo.



También se da que, al igual que en el monitoreo acústico, se pueda seleccionar que señal pasa por los medidores del monitoreo visual. Esto puede conseguirse mediante un teclado de selección del bus sobre el que miden los medidores del master. Así, en un momento dado pueden dejar de medir la salida master para medir la señal del bus PFL, del bus de algún grupo o el de algún auxiliar.

Medidores de nivel

Sea cual sea el tipo de medidor, las medidas a las que pueden estar destinados son dos:

- VU-metros (o vúmetros)
- Picómetros

VU-metro

Es un equipo para medir el nivel de voltaje del canal, y variar la forma en que el oído humano aprecia los cambios de sonoridad. Este medidor tiene características especiales para trabajar con señales de audio que varían en amplitud y frecuencia simultáneamente. Para señales que requieran visualizarse, el vúmetro da una indicación correcta entre el valor medio y de pico, esto se ejemplifica en la figura 3.14.

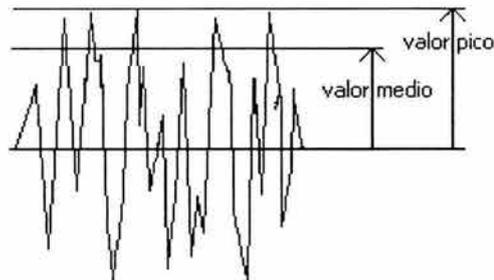


Figura 3.14. Representación de valor medio y del valor pico de una señal

Los vúmetros están graduados con doble escala, una de ellas va de 0 a 100 ó de 20 a 100 según el fabricante e indica el porcentaje de uso del canal sobre el que está midiendo, siendo el 100% el nivel máximo de señal que puede manejar el canal, esta escala es lineal. La otra está marcada en unidades de volumen sonoro VU, generalmente de -20 a +3 VU, esta escala es logarítmica, con lo que varía de la misma manera que las escalas en dB , ambas igual que el oído humano. Por este motivo si la indicación del vúmetro cae en 3 unidades VU, es porque el nivel de tensión de la señal sobre la que mide el vúmetro, ha caído 3 dB .

Cuando la aguja marca el 100% o 0 VU, se está en el límite antes de saturación del canal antes de superar la distorsión máxima permitida. Sin embargo, los vúmetros se implementan de tal forma que exista un pequeño margen de seguridad con respecto a los transitorios (no reflejados por el vúmetro). Se suele trabajar con niveles que aseguren que la aguja se mueve entre -5 y +1 VU, aprovechando al máximo canal pero sin distorsionar, se muestra la carátula del vúmetro en la figura 3.15.



Figura 3.15. VU-metro analógico con doble escala

De lo anterior se deduce que el vúmetro no se usa para medidas estáticas sino con señales de onda aleatorias que cambian continuamente de amplitud y frecuencia. El vúmetro ignora los picos de señal de corta duración. Esto se consigue dando al medidor unas características determinadas reguladas por normativa. Los vúmetros están calibrados con referencia a una potencia de 1 mW sobre 600 Ω y una señal de 1 kHz. Esto implica un voltaje de 0.775 V, que debe corresponder con el cero del vúmetro.

Picómetro

Se trata de un medidor de amplitud de pico de la señal. Tienen una respuesta muy rápida para poder reflejar los transitorios de la señal; en torno a 10 ms. Por el contrario su tiempo de recuperación es mucho mayor que el del vúmetro, alrededor de 1.5 segundos. Esto significa que ante un transitorio (la señal sube y baja rápidamente), la aguja del picómetro subirá rápidamente y volverá a su posición inicial despacio. De esta forma el picómetro registra los picos de señal que el vúmetro ignora y posibles causas de distorsiones puntuales. Al mismo tiempo los valores máximos se mantienen visibles gracias al elevado tiempo de caída o recuperación.

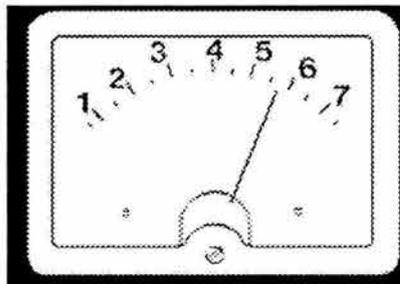


Figura 3.16. Representación de un picómetro analógico

En la figura 3.16 la escala de un picómetro está marcada en decibeles, de forma lineal (en el vúmetro, las unidades VU están marcadas de forma logarítmica). Los intervalos entre marcas son de 4 dB. El 0 dBu, en el medio de la escala corresponde con +4 dB. La razón del uso de medidores con estas características es que, aunque el oído humano no aprecia los transitorios, la electrónica de los equipos sí lo hace, por lo que los picómetros permiten prevenir distorsiones por transitorios. En el picómetro de arriba, las correspondencias con los valores en dB serían: 1 = -12 dB, 2 = -8 dB, 3 = -4 dB, 4 = 0 dB, 5 = +4 dB, 6 = +8 dB y 7 = +12 dB.



Un vúmetro y un picómetro difícilmente presentarán la misma lectura. El vúmetro indica la impresión subjetiva del nivel sonoro mientras que el picómetro indica los picos de señal que pueden llegar a saturar el canal. La diferencia de lecturas entre ambos puede ser de 10 *dB* o más.

Medidores de fase

Es un medidor necesario en sistemas estéreo debido a los estragos que se pueden provocar cuando se da una inversión de fase. Generalmente existe un indicador de fase asignado a la salida master en las consolas estéreo. Básicamente miden la fase relativa entre los dos canales estéreo. Este se muestra en la figura 3.17. Cuando alguna de las señales que se suman está invertida en fase respecto a las demás y tiene muchas componentes de aquellas, se da una cancelación de gran parte del espectro, produciendo un sonido pobre.



Figura 3.17. Medidor de fase digital P1170H de RTW

Algunos indicadores trabajan midiendo la correlación entre las dos señales. Esta es una operación matemática que da como resultado valores entre -1 y $+1$ sin unidades. Siendo -1 equivalente a una oposición de fase total y el $+1$ equivalente a dos señales con fase relativa cero. Existen medidores analógicos de aguja y digitales como el de arriba. La escala está marcada en -1 , -0.5 , 0 , $+0.5$ y $+1$.

TIPOS DE CONSOLAS

A continuación se describen algunas consolas de mezcla de acuerdo con su uso. Consolas de producción o de estudio. Incorporan múltiples controles que permiten actuar de diferentes maneras sobre las señales de entrada. No sólo mezclan también ecualizan, agrupan, realizan envíos, admiten retornos, filtran, etc; y todo con un control permanente sobre los niveles de las señales y una monitorización sonora y visual. En la figura 3.18 se muestra una consola de estudio Crest Audio V12. Se fabrican consolas con propósitos definidos y se pueden encontrar marcas especializadas en modelos de consolas, de grabación musical y de postproducción.

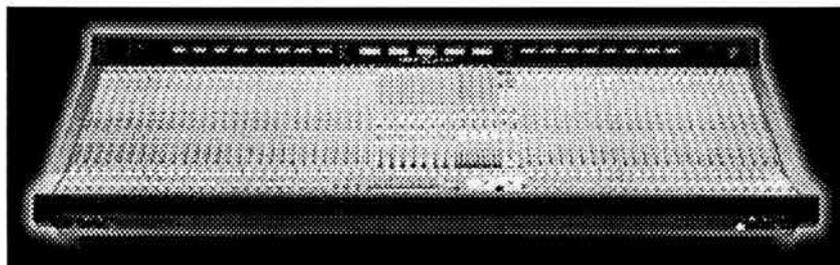


Figura 3.18. Consola de estudio Crest Audio V12



Consola totalmente digital. Codifica las señales de entradas en señales digitales, también aceptan señales ya digitalizadas. A partir de aquí la señal es procesada de forma digital como simples datos informáticos. La salida puede consistir en flujo de datos digitales o en una señal analógica previa decodificación, en la figura 3.19, se puede observar una consola digital generación Studer 950.

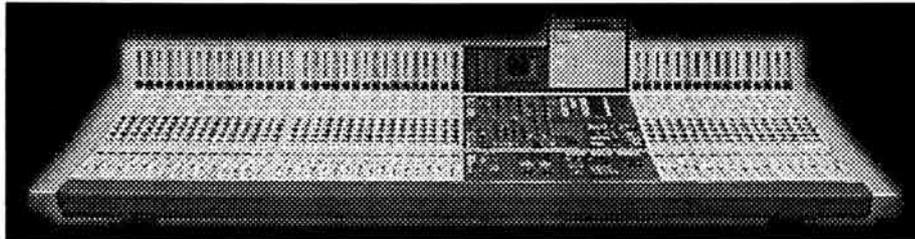


Figura 3.19. Consola digital de estudio de última generación Studer 950

Entre las ventajas que incorporan las consolas digitales está la eliminación del ruido de fondo, distorsión, y la posibilidad de almacenar los cambios en los controles o programarlos para que un control actúe sobre otros a la vez o desencadene otros eventos.

3.3 PROCESADORES DE SEÑAL

Los procesadores de señal son equipos que sirven para alterar algunas de las características del sonido. La mayoría de los procesadores de señal pueden clasificarse dentro de 3 categorías: procesadores de espectro, procesadores de tiempo, procesadores de amplitud. Un procesador de espectro es un ecualizador, influye en el balance espectral de la señal. Un procesador de tiempo, es un equipo de reverberación o de retardo, influye en el intervalo de tiempo entre una señal y sus repeticiones, un efecto sería que la unidad de retardo se puede usar para diferentes efectos artísticos como el efecto doble (*doubling*) con un tiempo de retardo de entre 15 ms y 35 ms. para reforzar una voz o instrumento; el efecto de coro (*chorus*) se consigue haciendo un efecto doble repetido para conseguir que una voz o instrumento suene como varios o efecto eco puro y simple. Un procesador de amplitud es un compresor/limitador, afecta a la amplitud o volumen de la señal.

Algunos procesadores de señal pueden pertenecer a más de una categoría. Por ejemplo, el ecualizador también altera la amplitud de la señal y, por lo tanto, también puede ser clasificado como un procesador de amplitud.

Procesadores de dinámica. Por dinámica se entiende lo relativo a las variaciones de los niveles de una señal de audio. Si se tiene una señal con intervalos de audio que suenan muy altos, que suenan bajos y de audio normales, se dirá que la señal tiene una dinámica muy variada.

El margen dinámico de una señal sonora coincide con el máximo nivel en $dB SPL$ de la señal. Si el nivel máximo de la señal son $60 dB SPL$, se dice que su margen dinámico es de $60 dB$. En cambio, cuando se habla de un dispositivo electrónico, como una grabadora o una consola de mezcla, se habla de margen dinámico útil o



simplemente margen dinámico que corresponde al nivel máximo sin saturación menos el nivel de ruido. En estos casos, los niveles de señal se refieren a 0 *dB* como nivel máximo, por encima del cual el sistema se satura, siendo el nivel de ruido un valor negativo, por ejemplo -80 *dB*.

El oído humano acepta un margen dinámico de 120 *dB SPL* sin sufrir daños. Sin embargo, los mejores sistemas de grabación digital aceptan un margen dinámico de 100 *dB*. Por este motivo, para trabajar y grabar señales reales con márgenes dinámicos superiores, son necesarios los procesadores de dinámica.

Un procesador dinámico es un dispositivo electrónico que modifica, a voluntad del usuario, la dinámica de la señal que pasa por el procesador.

Compresor

Un compresor es un procesador de señal cuyo nivel de salida aumenta en menor proporción al nivel de entrada. Los compresores normalmente tienen 4 controles, que reducen el nivel dinámico de la señal de entrada. Así, a la salida, los niveles instantáneos de la señal serán menores de lo que eran a la entrada, pero no todos en la misma medida, sino que los niveles más altos sufrirán una atenuación mayor que los niveles bajos. Por eso se dice que trabaja sobre la dinámica. En la figura 3.20 se muestra la dinámica de una señal (niveles máximos) antes y después de pasar por un compresor con una relación de compresión 2:1 y umbral en 0 *dB*. Por debajo de 0 *dB* la forma de la dinámica no ha sido alterada.

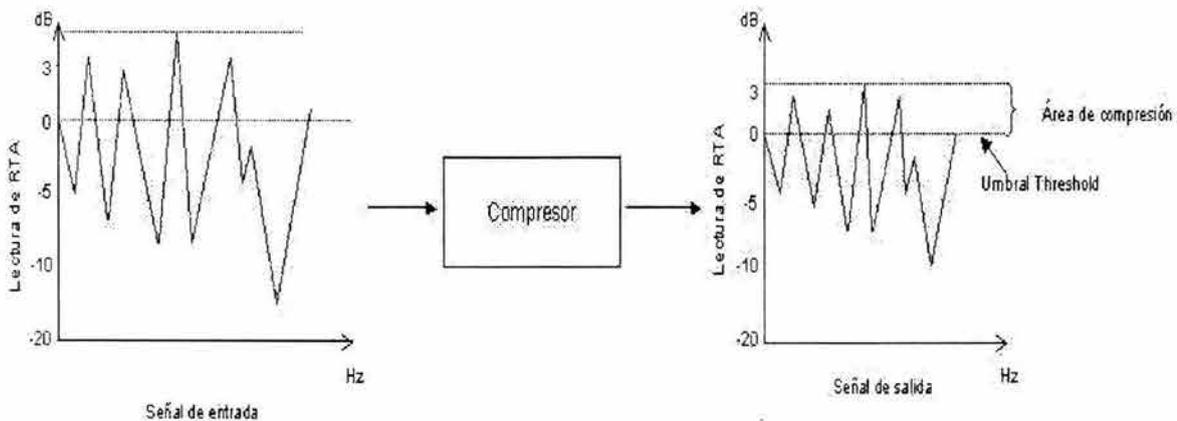


Figura 3.20. Dinámica de la señal de entrada y salida en un compresor

La razón de compresión, establece la proporción de cambio entre los niveles de entrada y los de salida. La relación de compresión es variable, dependiendo del compresor, entre 1:1 (no hay compresión) a 20:1 (muy fuerte compresión). Si la razón está fijada en 2:1, significa que por cada 2 *dB* que aumente el nivel de la señal, a la salida sólo aumentará uno. Estos son necesarios para ajustar el margen dinámico de la señal al margen dinámico del canal; así, señales con márgenes dinámicos mayores que el de una cinta, han podido ser grabados y producidos. Una



fuerte compresión, por encima de 4:1 crea un sonido artificial y monótono. El umbral de compresión (*threshold*) ajusta el nivel en *dB* por encima del cual se aplicará compresión.

El tiempo de ataque es el tiempo que pasa hasta que el compresor reacciona y empieza a comprimir. El intervalo del tiempo de ataque esta entre 0.25 ms y 10 ms.

El tiempo de relajación ajusta el tiempo que tardará el compresor en dejar de comprimir la señal; este valor puede variar de 50 ms a varios segundos. También suelen incorporar un control de codo que selecciona como es la transición entre la zona procesada y la no procesada.

La figura 3.21, muestra los niveles de compresión. Para todas las relaciones de compresión de la gráfica, el umbral se ha situado en -10 dB . Conociendo el nivel de entrada y siguiendo las líneas, se obtiene el nivel de salida. Si por ejemplo la compresión está fijada en 2:1 y el nivel de entrada es de $+10\text{ dB}$, la salida, siguiendo la gráfica será de 0 dB . Por debajo del umbral, no hay compresión (1:1) y la señal sale con el mismo nivel con el que entra.

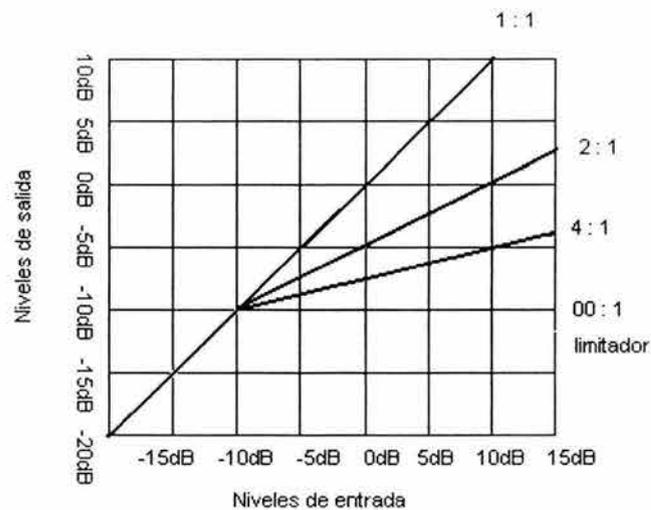


Figura 3.21. Relación entrada - salida con distintas compresiones

Un compresor es útil para mantener constante el nivel cuando un artista no mantiene una distancia constante con el micrófono. También permiten manejar señales con grandes márgenes dinámicos o niveles de presión muy altos como trompetas, bajos, guitarras o percusiones.

Limitadores

Un limitador es un compresor cuyo nivel de salida máximo está fijado en un punto. Por encima de este nivel máximo, la salida es independiente del nivel de entrada. Se puede deducir que los limitadores aplican una compresión total por encima del



umbral por lo que la relación de compresión es fija. El nivel de la señal de salida de un limitador nunca pasará de un valor dado.

Lo que sí se puede variar es el umbral de limitación por encima del cual actúa el limitador. Los tiempos de ataque y relajación, si no se pueden variar, suelen venir fijos en valores cortos, especialmente el ataque.

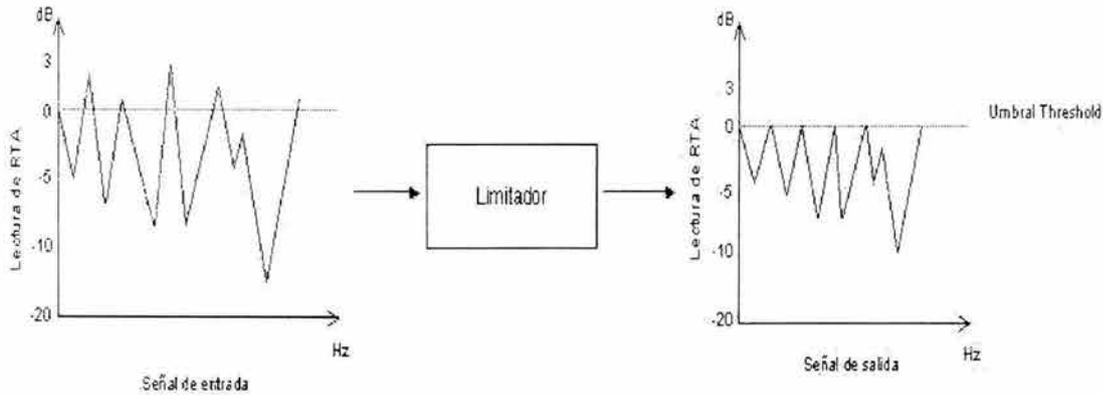


Figura 3.22. Limitador de señal

El compresor de la figura 3.20 también puede trabajar como limitador ya que la relación de compresión puede seleccionarse desde 1:1 hasta infinito a uno. Los limitadores se usan para prevenir la saturación de algún canal o grabador, usados junto a un compresor pueden dotar de mayor amplitud aparente a una señal.

Expansores

Los expansores, igual que los compresores trabajan sobre la dinámica de las señales, pero en el sentido contrario. Lo que hace es aumentar las diferencias de nivel cuando estos niveles caen por debajo del umbral, expandiendo así la dinámica de la señal. Cuando los niveles de la señal están por encima del umbral, el nivel de salida es igual al de entrada.

En la figura 3.23 se muestran distintas curvas de expansión en función de la relación seleccionada. En este caso el umbral se ha fijado en $+5 \text{ dB}$. Con una relación de expansión 1:2 una señal que en un instante tenga un nivel de -5 dB y en otro 0 dB , a la salida del compresor tendrá niveles de -15 dB y -5 dB respectivamente, con lo que la diferencia de nivel pasa de 5 dB a 10 dB .

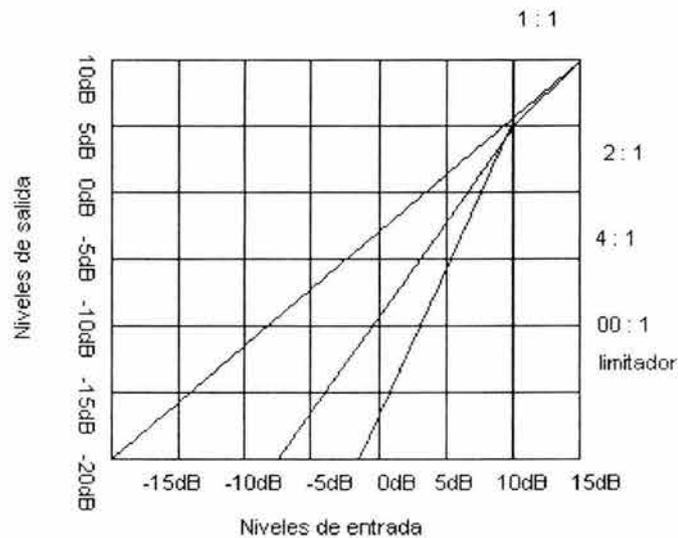


Figura 3.23. Relación entrada - salida con distintas relaciones de expansión

La figura 3.24 muestra la dinámica de una señal antes figura (izquierda) y después figura (derecha) de pasar por un expansor, con el umbral fijo en $+3 \text{ dB}$.

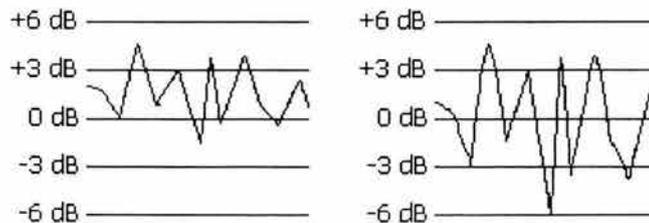


Figura 3.24. Dinámica de la señal de entrada (izda.) y salida (dcha.) en un expansor

Los parámetros de un expansor son:

- Relación de expansión
- Umbral
- Tiempo de ataque
- Tiempo de relajación

Igual que el compresor, el expansor afecta a la dinámica cuando ésta cae por debajo de un cierto valor fijado por el umbral. Si la razón se fija en 1:2 por cada dB de incremento de la señal de entrada, la señal de salida tendrá un incremento de 2 dB .

Procesadores de Tiempo

Los procesadores de tiempo son equipos capaces de modificar los parámetros de tiempo de las señales que procesan los equipos. Estos efectos se consiguen incluyen retardo, reverberación, variación del tono y *flanging*.



Reverberación

Existen diferentes sistemas para conseguir una reverberación artificial. Los que más destacan son las cámaras de reverberación, las placas reverberantes y la reverberación digital. Actualmente esta última es la más difundida y usada en todos los niveles, excepto en laboratorios de medida de materiales acústicos, donde se utilizan las cámaras reverberantes.

Las unidades de reverberación digital son capaces de reproducir diferentes ambientes acústicos variando los parámetros de la reverberación, la cual se consigue mediante un circuito electrónico. La señal original que entra en la unidad es digitalizada y retardada varios milisegundos, esta señal retardada es reciclada múltiples veces con nuevos retardos a la vez que se disminuye su nivel para simular el decaimiento natural de la unidad de reverberación.

Las unidades de reverberación de calidad son capaces de simular diferentes ambientes con una calidad tal que no se aprecia que es artificial. Variando los parámetros de número de repeticiones, retardo entre ellas y decaimiento, se simulan diferentes ambientes tales como grandes salas de conciertos, salas muy reverberantes, muy apagadas, pequeñas, y grandes. También se puede simular la reverberación por placas. Cuando se habla de reverberación artificial, a la señal original se suele hacer referencia como (DRY) o señal seca y a la mezcla de la original y la reverberación generada se la conoce como (WET).

Los controles básicos de una unidad de *reverberación* digital son: el atraso de tiempo, el decaimiento, densidad de réplicas y decaimiento en función de la frecuencia, agudos, medios o graves. Algunos sistemas modernos, basados en computadoras que permiten, en lugar de ajustar todos estos parámetros, introducir las características del recinto que se quiere simular, como son dimensiones, absorción de las paredes, posición de la fuente, posición del oyente etc. siendo el sistema el que calcula los parámetros correspondientes de atraso de tiempo, decaimiento, densidad, etc.

La reverberación es el efecto más utilizado en cualquier producción, por ello, existen unidades de alto costo especializadas únicamente en generar este efecto. Al contrario de lo que ocurre con el resto de los efectos, que pueden encontrarse todos en unidades multiefectos con multitud de ellos y sus combinaciones.

3.4 ECUALIZADORES

En muchas ocasiones es necesario variar las características de la señal de audio con objeto de mejorar sus parámetros, como el ancho de banda o disminuir el ruido. Para hacer esto posible se utilizan distintos tipos de equipos, el que se describe aquí es el ecualizador.

El ecualizador es el dispositivo que permite modificar la curva de respuesta en frecuencia de la señal que se le aplica por medio de 1 o más filtros. Los



ecualizadores son sumamente útiles en sistemas de audio ubicados en salas de especial sonorización, salas reverberantes y salas mal acondicionadas. La modificación de la curva de respuesta en frecuencia puede efectuarse de dos formas: elevando (ganancia) ó atenuando y por control de tono.

La modificación de la curva de respuesta en frecuencia se realiza con el uso de filtros que alteran la señal recibida.

La ganancia o atenuación, eleva o atenúa el nivel de una banda de frecuencias con base en una frecuencia central. El control de tono también eleva o atenúa la amplitud pero, gradualmente hasta el nivel máximo o mínimo determinado en la frecuencia seleccionada por medio de uno o más filtros.

El filtro es un dispositivo o red de elementos eléctricos o electrónicos que se diseñan para permitir el paso de una banda de frecuencias especificada, mientras atenúa todas las señales fuera de esta banda, es decir que unas frecuencias pasan sin ninguna o poca atenuación mientras que otras frecuencias son fuertemente atenuadas.

La atenuación representa la parte del filtro donde opera normalmente, es la pérdida de señal.

La diferencia entre la atenuación con un ecualizador y la atenuación con un filtro es que con el ecualizador afecta solamente a la frecuencia seleccionada y a las frecuencias adyacentes, mientras que con un filtro quedan afectadas todas las frecuencias que estén por encima o por debajo de la frecuencia seleccionada. La segunda diferencia es que un ecualizador permite variar la atenuación de amplitud; mientras que con el filtro la atenuación ya está preseleccionada y es muy marcada.

Los filtros que tiene un ecualizador son:

- Paso Bajas
- Paso Altas
- Paso Banda
- Supresor de Banda

Paso Bajas

Su función es permitir el paso de todas las frecuencias bajas sin que sufran ningún tipo de atenuación. Desde cero hasta la frecuencia de corte establecida en el filtro.

Paso Altas

Actúa eliminando las frecuencias bajas desde la frecuencia de corte establecida, dejando pasar sin modificar las frecuencias altas.

Paso Banda

Se pueden seleccionar 2 frecuencias de corte (f_{c1}), (f_{c2}), dejando pasar sin ninguna atenuación toda la banda comprendida entre estas dos frecuencias, eliminando las restantes, comúnmente estos filtros están formados por la conjunción de los filtros paso bajas y paso altas.



Supresor de Banda

Actúa atenuando la banda de frecuencias de corte seleccionadas, dejando pasar libremente todas las demás.

Algunos parámetros que tienen los ecualizadores son:

Frecuencia Central f_0

Es el valor de la frecuencia sobre el que actúa cada filtro. Corresponde al valor sobre el cual su acción será máxima. La expresión de la frecuencia central en función de las frecuencias inferior y superior de corte f_{c1} y f_{c2} será:

$$f_0 = \sqrt{(f_{c1})(f_{c2})}$$

El ancho de banda determina la amplitud de la zona de trabajo. Indica la extensión a ambos lados de la frecuencia central que abarca la corrección efectuada por el filtro.

$$BW = (f_2) - (f_1)$$

El factor Q o selectividad indica la pendiente que tiene la curva de actuación del filtro. Cuanto menor sea este valor, la acción del filtro será más uniforme dentro de su ancho de banda. Es una medida de selectividad del filtro paso banda. Un Q alto indica que el filtro selecciona una banda de frecuencias más pequeña (es más selectivo).

Q se define como la siguiente relación:

$$Q = \frac{f_0}{BW}$$

La ganancia es la cantidad de amplificación o atenuación que provoca el filtro sobre la señal. Se expresa en dB para cada filtro y generalmente oscila entre $\pm 12 dB$.

El factor Q es una indicación del ancho de banda del filtro, es decir, del margen de frecuencias sobre las que actúa con relación a la frecuencia central.

Los márgenes de variación del factor Q oscilan entre valores de 0.3 y 15.

En ocasiones en los ecualizadores no se indican los valores entre los que el Q puede variar sino los valores entre los que varía el ancho de banda del filtro indicados en octava, pero en cualquier caso el efecto es el de alterar la agudeza del filtro.

ECUALIZADOR GRÁFICO

Un ecualizador gráfico está compuesto por un conjunto de filtros paso banda (tipo control de medios de 200 Hz a 2 kHz) conectados en paralelo y filtros supresor de banda cuyas frecuencias centrales y el ancho de banda de cada filtro son fijos, el conjunto de todos estos filtros abarca en toda su amplitud el espectro audible, cada filtro cubre una banda de frecuencia y puede realzar o atenuar la banda de frecuencia en la que trabaja.

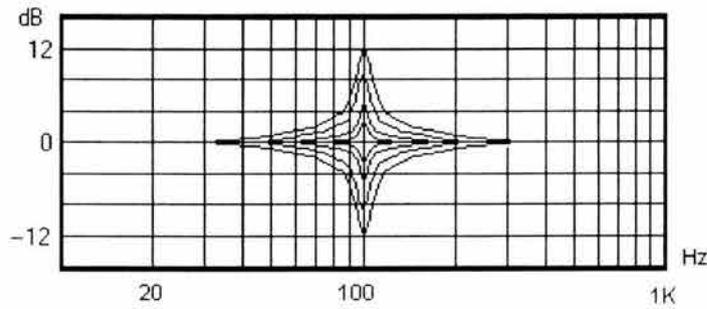


Figura 3.25. Respuesta en frecuencia de un filtro en diferentes posiciones

La figura 3.25 muestra la respuesta en frecuencia de uno de los filtros de un ecualizador gráfico para distintas posiciones de ganancia, de la ganancia máxima a la atenuación máxima.

Los controles que regulan el nivel de ganancia o atenuación en cada frecuencia son lineales con un punto central con retención para respuesta plana y están colocados uno al lado del otro de tal manera que cuando se sitúa cada control en la posición deseada el conjunto de estos controles dan una indicación visual o gráfica de la curva de respuesta en frecuencia que se aplica a la señal, de ahí su nombre de ecualizador gráfico. La variación de ganancia puede ser simétrica para realce y atenuación como se muestra en la figura 3.25.

En los ecualizadores gráficos, cada filtro debe de tener una anchura tal que si se colocan todos los mandos en la misma posición, la respuesta en frecuencia sigue siendo plana, pero con cierta ganancia añadida.

En la figura 3.26 se muestra la repuesta en frecuencia total de un ecualizador con cuatro filtros contiguos en posición de máxima ganancia (curvas negras) y el resto en posición neutra (0 dB).

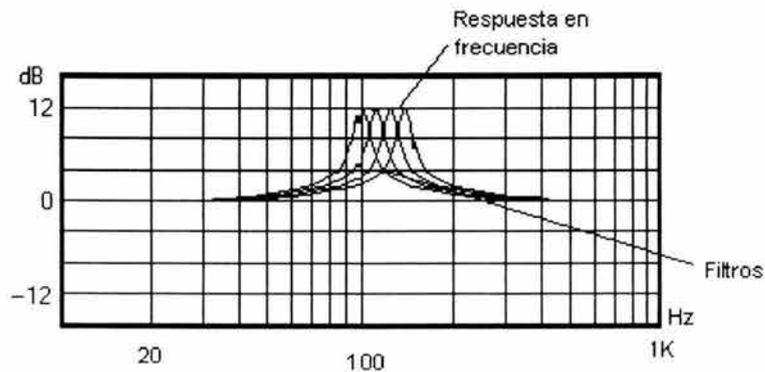


Figura 3.26. Respuesta en frecuencia de varios filtros

La mayoría de los ecualizadores gráficos son de una octava o de un tercio de octava con frecuencias centrales normalizadas por la recomendación de ISO (Organización Internacional para la Normalización).



El nivel máximo de ganancia o atenuación esta entre ± 12 y ± 18 decibeles y el Q de cada filtro es fijo y generalmente es igual para todos los filtros según el fabricante.

El ecualizador gráfico reduce los efectos de picos de resonancia y caídas en las bocinas y en menor grado, en la acústica del medio ambiente, reduciendo la tendencia a que ocurra la realimentación. Cuando la ganancia total del sistema de sonido (volumen) es llevado al máximo, la realimentación puede ocurrir primero a esa frecuencia donde el sistema tiene un pico. Típicamente empieza como un ligero zumbido, y llega a ser un fuerte aullido. Pero usando un ecualizador gráfico atenúa el primer pico.

La tecnología y el mercado tienen determinado que una octava del ecualizador gráfico es usada por lo general para correcciones de tono, y un tercio de octava del ecualizador gráfico son suficientes para evitar la realimentación.

Para "n" octavas entre dos frecuencias se tiene la siguiente relación:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^n$$
$$f_2 = 2^n f_1$$

Así $\frac{1}{3}$ de octava será:

$$f_2 = 1.26 f_1$$

Un ecualizador gráfico de $\frac{1}{3}$ de octava que es el mas común en equipos profesionales, de audio tiene las siguientes características operativas:

- 31 controles lineales con frecuencias centrales entre 20 Hz y 20 kHz y regulación de nivel de ± 12 dB
- Filtros paso altas y paso bajas adicionales con frecuencia de corte de 20 Hz y 20 kHz
- Selector de bypass o puentado de la señal para conectar directamente la entrada con la salida del ecualizador, sirve para comparar la señal no ecualizada con la señal ecualizada
- Conmutador para variar la regulación de nivel de todos los filtros entre ± 12 dB funcionamiento normal y ± 6 dB cuando se precisa un ajuste más exacto de nivel

Se pueden encontrar:

- Ecualizadores de 5 bandas en equipos HI-FI. Variación de ganancia típica ± 6 dB
- Ecualizadores de 1 octava (con 10 bandas) en semiprofesional. Variación de ganancia típica: ± 12 dB



- Ecualizadores de $\frac{1}{2}$ de octava (20 bandas) o $\frac{1}{3}$ de octava (31 bandas) en equipos profesionales. Variación de ganancia típica: ± 12 dB, pudiendo llegar a ± 18 dB. También existen variaciones asimétricas del tipo +12/-18 dB

La figura 3.27 muestra un ecualizador gráfico estéreo de 15 bandas de la marca Yamaha.

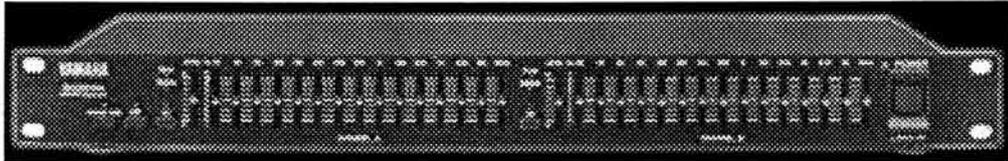


Figura 3.27. GQ2015A de Yamaha

Las principales aplicaciones de los ecualizadores gráficos son:

- Corrección. En esta aplicación se corrigen las deficiencias de la señal debidas a equipos con pobre respuesta en frecuencia, respuesta defectuosa de micrófonos, y ruidos debidos al mal funcionamiento del equipo
- Se utilizan para la eliminación de realimentación acústica entre bafles y micrófonos mediante la reducción del nivel en las frecuencias en las que se produce realimentación

ECUALIZADORES PARAMÉTRICOS

Los ecualizadores que proveen ambas frecuencias centrales de barrido y Q ajustable, con controles de ganancia/atenuación, son conocidos como ecualizadores paramétricos porque permiten ajustar todos los parámetros de la ecualización. Algunos ecualizadores paramétricos no tienen Q ajustable, y son ecualizadores de tipo barrido. Una de las ventajas del ecualizador paramétrico es que permite que la frecuencia necesaria pueda ser precisamente seleccionada y el Q puede ser ajustado, a una mínima cantidad de ganancia o atenuación, correspondiendo a pocos efectos indeseables en frecuencias adyacentes.

En un filtro supresor de banda, de banda angosta un Q alto, en el ecualizador paramétrico puede ser usado para el control de realimentación.

Los parámetros que se pueden ajustar son los siguientes:

- Frecuencia. Este parámetro indica la frecuencia central en la que se produce la máxima cantidad de ganancia o atenuación en (Hz) del nivel de frecuencias. El margen en el que se pueden variar la frecuencia depende del número de bandas de frecuencia del ecualizador y de la banda de frecuencias en las que se pretenda actuar



- Nivel. Este parámetro indica la cantidad de ganancia o atenuación a la frecuencia seleccionada
- El factor Q es una indicación del ancho de banda del filtro, es decir del margen de frecuencias sobre las que actúa con relación a la frecuencia central. Con valores de Q altos se logran filtros muy agudos y actúan sobre una banda de frecuencia muy estrecha; sin embargo, estos filtros de orden alto tienen problemas para manejar los transitorios. Mayores a 0.5 se produce una distorsión en la señal de audio que aumenta proporcionalmente.

Variación de la ganancia, en la figura 3.28 se muestra la respuesta en frecuencia del filtro paramétrico.

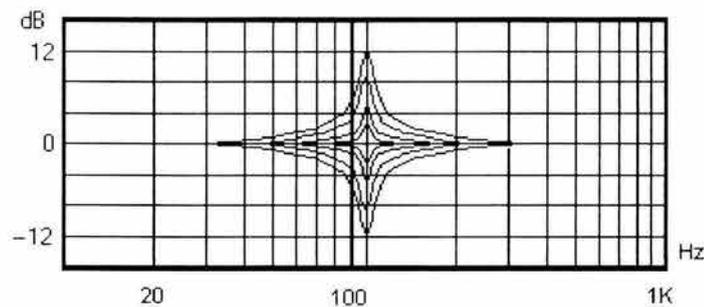


Figura 3.28. Respuesta en frecuencia de un filtro paramétrico en diferentes posiciones de ganancia

Variación del ancho de banda, se muestra en la figura 3.29 la respuesta en frecuencia en diferentes posiciones de Q .

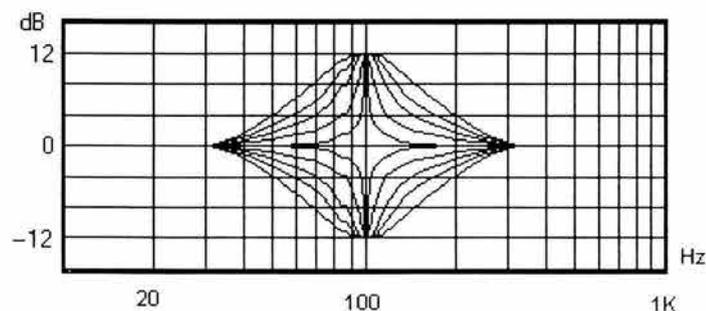


Figura 3.29. Respuesta en frecuencia de un filtro paramétrico para diferentes posiciones de Q

El ecualizador paramétrico permite una variación continua de frecuencias y de anchos de banda. Ya que las frecuencias y anchos de banda del ecualizador paramétrico se pueden variar continuamente, es posible cambiar la curva de ancho de banda haciéndola más ancha o más estrecha, por supuesto que si se alteran las frecuencias, se alteran también sus niveles. Esto proporciona una mayor flexibilidad y una mayor precisión en el control de la ecualización.

El ecualizador paramétrico permite posicionar los filtros en aquellos lugares exactos de la curva de respuesta en los que haya irregularidades. Es evidente, que para



efectuar una corrección adecuada de picos en la señal se exige que todos los parámetros de los filtros sean ajustables a través de todo el espectro de audio. En la figura 3.30 se muestra la variación de la frecuencia central o de sintonía.

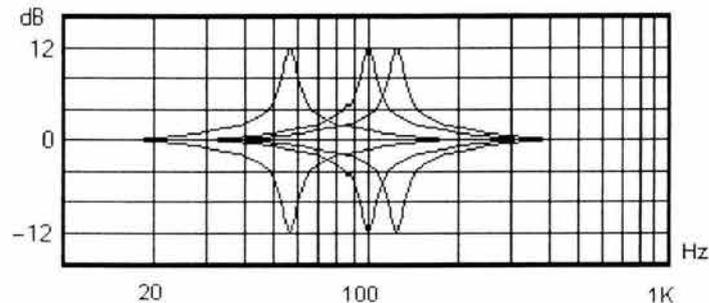


Figura 3.30. Respuesta en frecuencia de un filtro paramétrico para diferentes sintonizaciones

Con estas opciones se resuelve el problema que aparece cuando se pretende actuar sobre una frecuencia que no coincide con ninguna de las bandas del ecualizador gráfico, o cuando el ancho de banda de las frecuencias sobre las que se quiere actuar es menor que los anchos de banda del ecualizador gráfico. Por ejemplo, si se quiere atenuar la banda de bandas $1/3$ de octava de 315 Hz y el ecualizador gráfico es de octava, las más cercanas serán las de 250 Hz y 500 Hz, y si se atenúan, se estará actuando sobre 6 bandas de $1/3$ de octava en realidad y probablemente el resultado sea aún peor que antes.

Filtros Ranura o Notch

Estos filtros se pueden encontrar en un equipo aparte formando un banco de 3 a 5 filtros, o complementando a un banco de filtros paramétricos, sólo permiten atenuación. Permiten variar atenuación, frecuencia central y ancho de banda. La atenuación máxima es muy grande, llegando a los -30 dB y el ancho de banda puede llegar a ser muy estrecho (hasta $1/6$ de octava) con el fin de neutralizar una frecuencia específica afectando lo menos posible a las que la rodean. Se utilizan para eliminar frecuencias parásitas o frecuencias de realimentación (acople), figura 3.31.

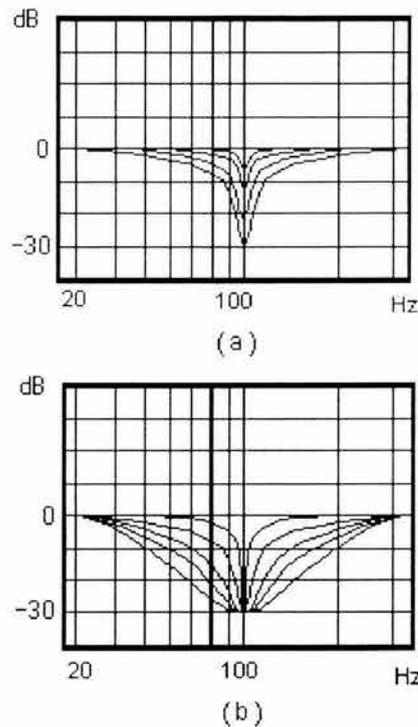


Figura 3.31. (a) Variación de la atenuación y (b) ancho de banda

Filtro Shelving

Un filtro tipo shelving aumenta o atenúa la amplitud de aquellas frecuencias superior o inferior a una frecuencia dada. Este tipo de filtro opera de forma semejante a un filtro paso altas o paso bajas, en la diferencia de que no sólo atenúan, si no que también pueden aumentar un intervalo de frecuencia dado.

En los filtros shelving contamos por lo general con dos parámetros ajustables, frecuencia y ganancia. El control de frecuencia determina a partir de qué frecuencia actuará el filtro, mientras que el control de ganancia determinara la cantidad de atenuación o aumento, por eso está calibrado en decibeles, desde una cantidad negativa hasta una cantidad positiva pasando por 0 dB, es importante recordar que la posición de 0 dB significa que el filtro se encuentra en ganancia unitaria, es decir, no esta aumentando ni atenuando. En la figura 3.32 se muestran la respuesta en frecuencia de dos filtros shelving.

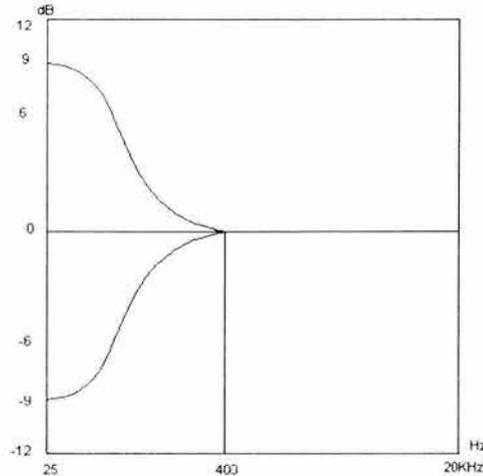


Figura 3.32. Respuesta en frecuencia de dos filtros shelving uno con ganancia de 9 dB , y otro con atenuación de 9 dB

Filtro Peaking

Un filtro tipo peaking o de campana por su parte aumenta o atenúa la amplitud de la frecuencia central, así como de las frecuencias adyacentes a esta mediante un control de ganancia similar al de una filtro shelving, mostrando una respuesta en frecuencia en forma de campana. Este tipo de filtro puede atenuar hasta -12 dB y su máxima amplitud en 12 dB , así como se muestra en la figura 3.33.

Es posible encontrar ecualizadores que además de utilizar filtros paramétricos tipo peaking, también usan filtros shelving, normalmente se les conoce como semiparamétricos, ese es el caso de muchos de los ecualizadores que se pueden encontrar en los canales de entrada de muchas consolas de mezcla.

Un shelving de graves, un shelving de agudos y uno o dos filtros peaking para medios.

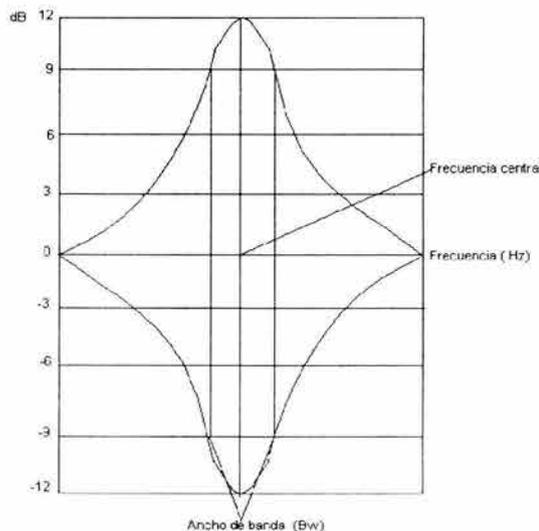


Figura 3.33. Filtro peaking con ganancia de 12 dB y atenuación de -12 dB



3.5 DISTRIBUIDOR DE SEÑAL

Los distribuidores de señal permiten distribuir una señal a varios equipos sin perder su ganancia unitaria, es decir el distribuidor dentro de sus características preamplifica la señal de entrada y la distribuye en varias salidas este equipo se utiliza en sistemas de sonorización profesional y cuando una misma señal de audio necesita llegar a varios lados.

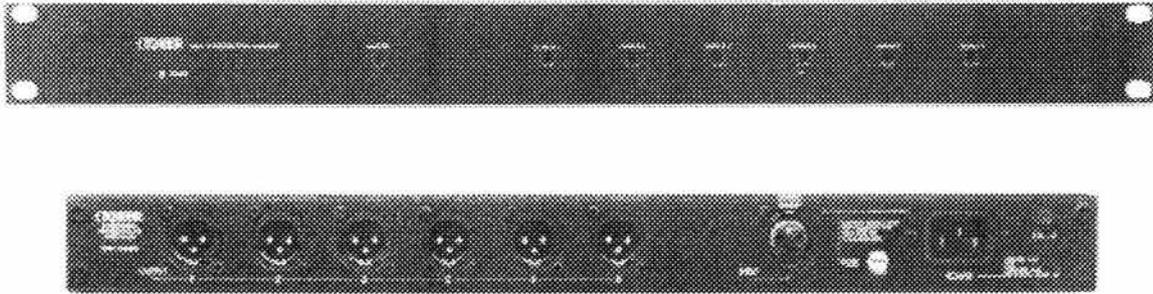


Figura 3.34. Distribuidor modelo Oxmoor MDA-26

3.6 LÍNEAS DE RETARDO

Se le llama línea de retardo a la trayectoria que sigue la señal hacia la bocina de retardo y que es retardada con un equipo llamado "Delay" con respecto al sistema principal de bocinas, es decir, Left (izquierdo) y Right (derecho). El tiempo de retardo es el tiempo entre el sonido directo y el primer reflejo que alcanza al oído, también es definido como la cantidad de tiempo por la cual una señal es retardada. Los equipos de retardo comúnmente aceptan las unidades de retardo en tiempo o metros.

Línea de retardo cuyo principio de funcionamiento se basa en la velocidad de propagación de las ondas sonoras, mediante el empleo de un equipo que introduce retardos de tiempo en la propagación de las ondas sonoras.

Controlando los tiempos de retardo se puede crear una cantidad de efectos sonoros. Normalmente, el retardo se puede producir electrónicamente con un equipo de retardo analógico o digital, y han llegado a ser una herramienta práctica en sistemas de sonorización y también como una mejora del sonido en auditorios.

El retardo tiene efecto en sonido, este puede ser escuchado en conjunto con el original, (sonido sin atraso). En el caso de sonidos viajando a través del aire, la longitud con su correspondiente tiempo de viaje es diferente para cada punto en el espacio. Un sonido puede ser percibido como original en el lugar del cual fue escuchado primero. El mismo sonido llega a un segundo lugar, este sonido puede ser percibido de diferente forma dependiendo del tiempo y nivel relativo que cuando se escucho el primero. En la figura 3.35 se muestra una línea de retardo.

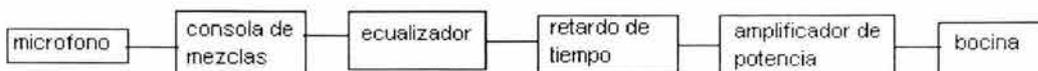


Figura 3.35. Línea de retardo común



Retardador “Delay”

Los equipos de retardo digital convierten una señal analógica en digital a la entrada y hacen el proceso inverso a la salida. La señal se almacena en una memoria y se lee en función del retardo de tiempo seleccionado. A mayor tiempo de retardo, mayor requerimiento de memoria. El tiempo de retardo máximo posible en una unidad de retardo varía con los modelos, rondando unas pocas unidades de segundo, no más de uno o dos segundos, en la figura 3.36 se muestra el modelo D5000 de Yamaha. Un uso muy común en producción de televisión es el ajuste de retardos entre la señal de vídeo y el sonido; siempre la señal a retardar es la de audio.



Figura 3.36. Unidad estéreo digital de retardo D5000 de Yamaha

En la figura 3.37 se muestra un sistema de retardo o línea de retardo que está a una distancia de 50 metros con respecto al sistema principal.

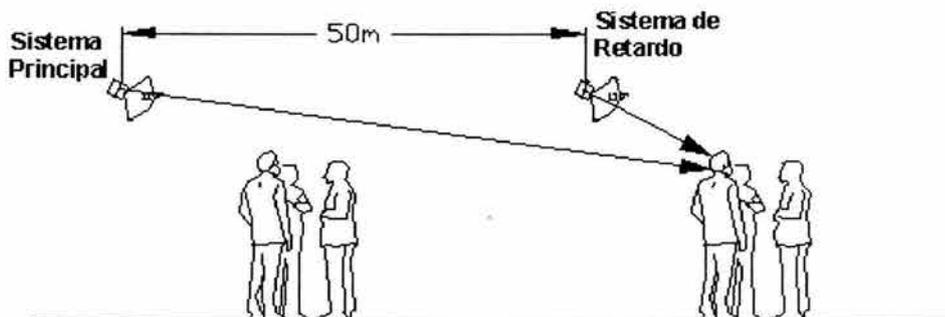


Figura 3.37. Sistema de retardo a 50 metros del sistema principal

Los equipos de retardo aceptan los datos de retardo en tiempo y en distancia, en el caso particular de la figura 3.37, se puede introducir la distancia entre las bocinas de retardo y la principal, pero también se puede calcular el tiempo de retardo t_r , como sigue:

$$t_r = \frac{d}{c}$$

Donde:

t_r es el tiempo de atraso

d es la distancia

c es la velocidad del sonido

teniendo los siguientes datos:



$$t_r = \frac{50 \left[\frac{m}{s} \right]}{344 \left[\frac{m}{s} \right]} = 0.145 [s]$$

Es decir, se tiene que introducir al equipo de retardo, ya sea la distancia de 50 metros ó el tiempo de retardo que es de 0.145 segundos.

3.7 PROCESADORES DE BOCINAS

El procesador de bocinas divide la señal, monitorea la potencia aplicada a la bocina, y además protege a las bocinas de los posibles excesos. Cuando los límites operativos de las bocinas son excedidos, los limitadores de señal del procesador de bocina actúan para evitar el exceso de señal, protegiendo así a las bocinas de posibles daños.

En la figura 3.38 la señal del procesador se divide en Hi (altos) y Low (bajos) que alimentan a sus respectivos amplificadores y esos a su vez a sus bocinas.

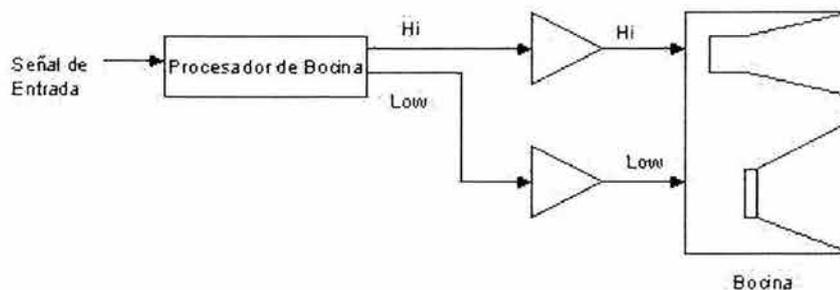


Figura 3.38. Trayecto de la señal de entrada hacia la bocina (Dos vías ó Biamplicada)

Existen diferentes tipos de limitadores en los procesadores de bocina:

- Limitadores de Operación RMS, que actúan sobre el nivel de la señal promedio, permitiendo a ciertos picos pasar relativamente sin alteración
- Limitadores de Excursión, que reaccionan rápidamente para proteger a las bocinas del daño ocasionado por excursión excesiva
- Limitadores Pico para controlar los picos en el nivel de señal

Umbral de Limitación de Señal

Los limitadores de señal solo actúan cuando la confiabilidad del sistema puede estar comprometida. Cada sistema de bocinas es rigurosamente probada tanto en periodos cortos de manejo de potencia como en periodos largos. Los umbrales de limitación de señal establecidos son determinados de acuerdo a los niveles máximos de presión sonora permitidos con el mínimo deterioro sonoro. Los límites no son simple materia de disipación en las bobinas sino que además contemplan las limitaciones de excursión de las bocinas así como sus límites mecánicos. La compleja impedancia acústica presentada por las bocinas o difusores, tendrá un



efecto dramático sobre la excursión. Es por eso que los fabricantes de bocinas contemplan sus propios procesadores por cada modelo de bocina. Las reglas generales para no afectar al sistema son:

- No se debe insertar equipo adicional entre un procesador y un amplificador
- Mantener la ganancia de voltaje entre 10 *dB* y 30 *dB*
- No se requieren limitadores adicionales para la protección del sistema ya que de hecho comprometerán la confiabilidad del sistema así como su intervalo dinámico
- No deberán insertarse aquí dispositivos de retardo ya que modificarán los tiempos de ataque y salida de los limitadores causando alteraciones audibles

Ganancia de Voltaje del Amplificador y del Procesador

Casi todas las bocinas profesionales requieren que la ganancia de voltaje de los amplificadores de potencia se encuentre entre 10 *dB* y 30 *dB* para que los circuitos de protección operen de manera correcta. Esta especificación permite a las bocinas estar totalmente protegidas con la mínima cantidad de limitación. Los limitadores de RMS usados en muchos sistemas tienen un carácter relativamente “suave”, lo anterior permite que los limitadores no se activen en periodos de tiempo de corta duración (picos), sino solamente en periodos de tiempo de mayor duración, la limitación en este caso tiene un carácter sonoro natural.

Los circuitos de limitación funcionan correctamente bajo condiciones normales, pero cuando la ganancia de voltaje es excesiva, la limitación se activará casi todo el tiempo, la distorsión será mayor, y por lo tanto el riesgo de dañar las bocinas será alto.

La figura 3.39 muestra la trayectoria de la señal básica en un sistema con procesador de bocinas. Es común que los fabricantes de bocinas realicen sus propios procesadores de bocinas para cada modelo de bocina o hay algunos que tienen en un procesador una base de datos de todos sus modelos existentes en el mercado, y así cada bocina podrá ser protegida y limitada de excesos de señal que podrían perjudicarla.

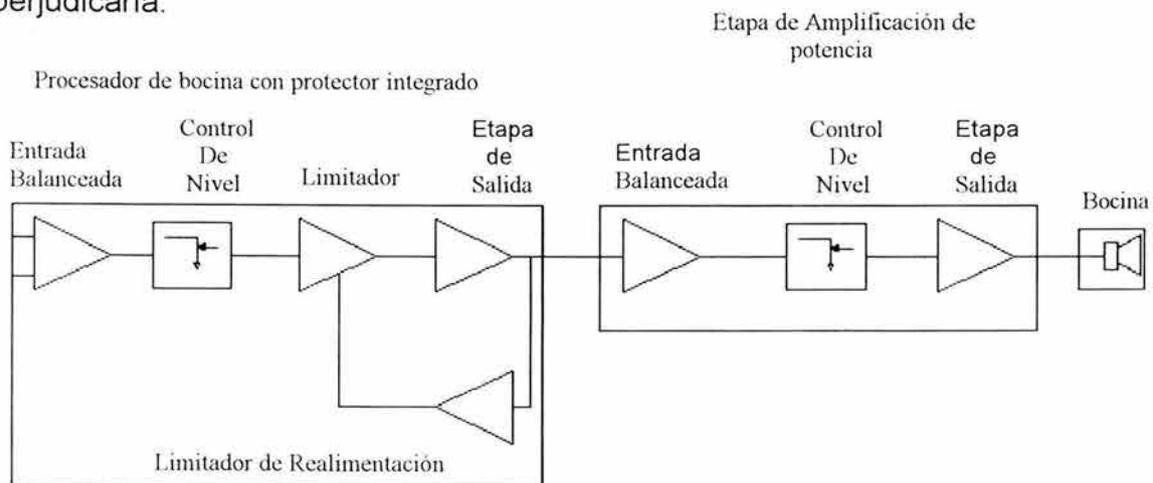


Figura 3.39. Configuración de un procesador de bocina



Se tiene un sistema cuyo limitador está encargado de proteger una bocina con capacidad de potencia de 100 Watts en periodos de tiempo largos, pero con muchísima más capacidad de potencia en periodos cortos de tiempo. En la tabla 3.1 se muestra la disipación y compresión de potencia para un sistema en varios niveles de voltaje, asumiendo un amplificador con ganancia de voltaje de 23 dB. Mientras el threshold de limitación es sobrepasado, la potencia puede incrementarse hasta 400 Watts antes de que actúe el limitador.

En la tabla 3.2 se muestra el mismo sistema con la ganancia de voltaje del amplificador incrementada a 32 dB. El procesador es capaz de mantener la potencia enviada hacia la bocina durante periodos de tiempo largos en 100 Watts. Pero se requiere de mucha más compresión en el circuito de limitación para lograr esto. Si la ganancia de voltaje es incrementada, la compresión requerida para proteger las bocinas será mayor, por lo tanto los limitadores operarán más tiempo, y las bocinas peligrarán. Hay que tener en cuenta que en este caso se necesitan 21 dB de compresión para proteger adecuadamente la bocina.

Es por eso que es recomendable usar los procesadores que el fabricante recomienda para sus modelos de bocinas en los cuales ellos ya tienen calculados los límites permitidos para cada modelo de bocina y así permitir que el sistema de bocinas alcance su máximo nivel de presión sonora establecido ya que los límites están basados exclusivamente en la capacidad de potencia de cada bocina.

	Entrada de Procesador	Compresión	Voltaje de Limitación	Amplificador	8Ω Bocina
Umbral límite = 100 Watts	Input	dB	Salida	Salida	Nivel de Potencia
Ganancia de Voltaje del Amplificador = 23 dB (14x)					
Abajo del límite de umbral	2 V	0 dB	2 V	28 V	100 Watts
Sobre el umbral (antes de inicio de la limitación)	4 V	0 dB	4 V	56 V	400 Watts
Sobre el umbral (después del inicio de la limitación)	4 V	6 dB	2 V	28 V	100 Watts
Sobre el límite permitido	8 V	12 dB	2 V	28 V	100 Watts

Tabla 3.1. Limitación del procesador con ganancia de voltaje en 23 dB

	Entrada de Procesador	Compresión	Voltaje de Limitación	Amplificador	8Ω Bocina
Umbral límite = 100 Watts	Input	dB	Salida	Salida	Nivel de Potencia
Ganancia de Voltaje del Amplificador = 32 dB (40x)					
Abajo del límite de umbral	0.7V	0 dB	0.7 V	28 V	100 Watts
Sobre el umbral (antes de inicio de la limitación)	4 V	0 dB	4 V	160 V	3200 Watts
Sobre el umbral (después del inicio de la limitación)	4 V	15 dB	0.7 V	28 V	100 Watts
Sobre el límite permitido	8 V	21 dB	0.7 V	28 V	100 Watts

Tabla 3.2. Limitación del procesador con ganancia de voltaje en 32 dB



Desventajas de los Procesadores Predictivos o de uso General

La limitación predictiva se define como aquella que asume un cierto nivel de potencia en la bocina cuando existe un determinado voltaje en la salida del procesador y esa limitación se la da el usuario. Con el fin reducir costos, algunos fabricantes de sistemas de bocinas utilizan limitación predictiva utilizando cualquier marca de “crossovers” o “procesadores”. Esto es esencialmente el equivalente a la propuesta antigua de utilizar limitadores externos antes o después del divisor de frecuencias o procesador. Esta propuesta no es muy recomendable debido a sus obvias limitaciones en términos de intervalo dinámico y protección. Esta suposición es particularmente dependiente de la ganancia de voltaje del amplificador que puede variar ampliamente de un modelo a otro y puede ser cambiada por el control de nivel del amplificador, esto es lo más común en la mayoría de los sistemas de varios fabricantes aunque ellos recomiendan y se calibran los amplificadores para dar las ganancias de voltaje requeridas por sus procesadores. Se puede recordar, que la ganancia de voltaje excesiva del amplificador puede reducir la efectividad del circuito protector. Y en sistemas basados en limitación predictiva, estos mismos cambios pueden ser peligrosos para las bocinas.

Un sistema cuyo limitador ha sido ajustado a 2 Volts en la salida del controlador encargado de proteger a una bocina con capacidad de potencia de 100 Watts en periodos de tiempo largos, (y que fácilmente puede dañarse si la potencia excede de 100 Watts en periodos prolongados de tiempo. La tabla 3.3 muestra la disipación de potencia y compresión para un sistema asumiendo un amplificador con ganancia de voltaje de 23 *dB*. El resultado en este caso será similar al de la tabla 3.1.

	Entrada de Procesador	Compresión	Voltaje de Limitación	Amplificador	8Ω Bocina
Umbral límite = 100 Watts	Input	<i>dB</i>	Salida	Salida	Nivel de Potencia
Ganancia de Voltaje del Amplificador = 23 <i>dB</i> (14x)					
Abajo del límite de umbral	2 V	0 <i>dB</i>	2 V	28 V	100 Watts
Sobre el umbral (antes de inicio de la limitación)	4 V	0 <i>dB</i>	4 V	56 V	400 Watts
Sobre el umbral (después del inicio de la limitación)	4 V	6 <i>dB</i>	2 V	28 V	100 Watts
Sobre el límite permitido	8 V	12 <i>dB</i>	2 V	28 V	100 Watts

Tabla 3.3. Limitación del procesador con ganancia de voltaje en 23 *dB*

La tabla 3.4 muestra el mismo sistema con la ganancia de voltaje del amplificador incrementada a 32 *dB*. La compresión ocurre como antes pero la potencia actual mandada a la bocina se ha incrementado a 800 Watts. Esto por su puesto destruirá la bocina. Lo inverso ocurrirá si la ganancia de voltaje del amplificador es reducida, (como cuando un control de nivel de un amplificador se disminuye demasiado) causando que los limitadores entren en acción prematuramente. Además de las consideraciones antes descritas, la limitación predictiva no considera el incremento de potencia ya que no monitorea las salidas de este. Hay que notar que a pesar de la compresión la bocina recibe 800 Watts.



3. ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN ELECTROACÚSTICA

	Entrada	<i>dB</i>	Sensor	Amplificador	8Ω bocina
Umbral límite = 100 Watts	Controlador	Compresión	Salida	Salida	Nivel de Potencia
Ganancia de Voltaje del Amplificador = 32 <i>dB</i> (40x)					
Abajo del límite de umbral	2 V	0 <i>dB</i>	2 V	80 V	800 Watts
Sobre el umbral (antes de inicio de la limitación)	4 V	0 <i>dB</i>	4 V	160 V	3200 Watts
Sobre el umbral (después del inicio de la limitación)	4 V	6 <i>dB</i>	2 V	80 V	800 Watts
Control de nivel aumentados futuros	8 V	12 <i>dB</i>	2 V	80 V	800 Watts

Tabla 3.4. Limitación predictiva con ganancia de voltaje en 32 *dB*

Para poder ser efectiva, la limitación predictiva debe reajustarse con cada cambio en la ganancia de voltaje, debe saber cuando un amplificador clipéa y debe saber exactamente cuanta potencia debe ser la bocina capaz de disipar en periodos cortos y largos de tiempo. Cualquier cambio en estos parámetros requerirá recalibración de los limitadores para que el intervalo dinámico y la capacidad de protección del sistema sean preservados.

Comúnmente los fabricantes manejan de la siguiente forma sus conexiones:

- Entrada balanceada de señal de línea hacia el procesador
- Salidas balanceadas del procesador para alimentar el amplificador de potencia
- Conexión del amplificador hacia las bocinas

Es muy común manejar varios amplificadores de potencia con un solo procesador. Cuando se realice esto, se debe revisar que cumpla con las normas del sistema a alimentar, es decir, que el procesador se conecte al número de amplificadores que indique el fabricante y no sobrepasar esto, ya que existe el peligro de daño.

Además de la acción de los limitadores de los procesadores muchos sistemas de sonorización utilizan compresores externos, parchados ó conectados ya sea en las entradas, canales, subgrupos o las salidas principales de las mezcladoras. En caso de utilizar dichos compresores los siguientes puntos deben ser considerados:

- Los compresores/limitadores en las salidas principales no incrementan la confiabilidad del sistema, de hecho, pueden comprometerla significativamente
- Los limitadores pico y pared (brickwall) en particular, degradaran el rendimiento de sistema y la confiabilidad del mismo. Estos limitadores reducirán la señal pico con funciones de ataque rápido. Por supuesto, estos picos son los que los procesadores dejan pasar, ya sea que no ponen en peligro a las bocinas
- Eliminar picos ocasiona que el ingeniero de audio incremente el nivel de señal manejado para mantener la potencia dinámica. Esto eventualmente ocasiona, que la señal que activa los limitadores RMS de los procesadores sea más densa, comprimida, y distorsionada, además los limitadores estarán activados



más tiempo porque la dinámica es insuficiente para permitir que se desactiven los limitadores

- Como la capacidad de potencia pico del sistema de bocinas ha sido removida, el resultado es una reducción de 10 dB a 12 dB de presión en picos. Esto ocasiona que el ingeniero de audio le suba y las bocinas quedan en peligro de quemarse

Redes de Cruce

Las redes de cruce también llamadas crossover, se usan para asignar a cada bocina, la energía correspondiente en la zona del espectro que ha de cubrir. Cada bocina que pertenece a un sistema de varias vías es capaz de cumplir los requerimientos de calidad y fidelidad sólo en una reducida zona de frecuencia. Por este motivo es necesario que la salida de cada bocina fuera de su zona de trabajo sea lo más reducida posible, este es el trabajo de las redes de cruce. Además se debe cuidar el diseño para asegurar que en las zonas de frecuencia, donde se traslapan las respuestas de cada bocina, la suma de señales proporcione una respuesta total plana. La red de cruce se adapta para que la impedancia del conjunto de bocinas sea la apropiada para el amplificador.

En la figura 3.40, se muestra como los filtros de cruce de un sistema de sonorización de dos vías divide la señal de entrada en la señal portadora de bajas frecuencias y la portadora de las altas frecuencias. De este modo se reparte a cada bocina la señal que tiene que reproducir.

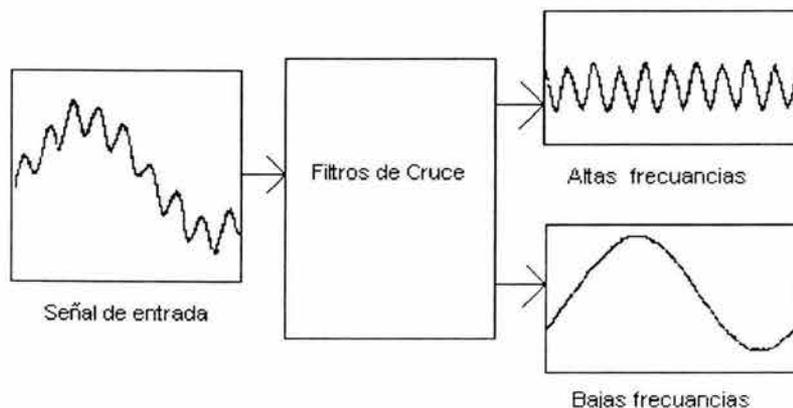


Figura 3.40. Gráficas que genera un procesador de bocinas o crossover

Los filtros de cruce mejoran el aprovechamiento de la energía. La energía acústica de un programa de (música o voz) no se distribuye por igual en todas las frecuencias, sino que se concentra más en las bajas frecuencias. En la figura 3.41, se muestra la curva de distribución de la energía acústica en un programa musical.

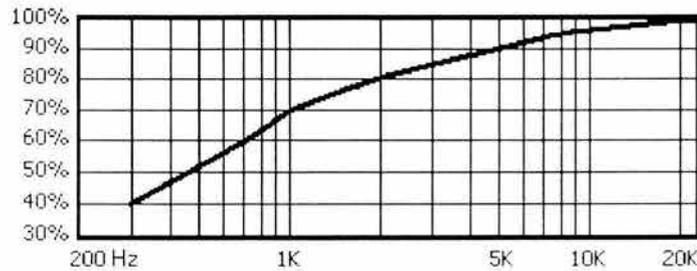


Figura 3.41. Curva de porcentaje de potencia correspondiente a cada vía en función de la frecuencia de corte del filtro

Si se trata de una bocina de dos vías y el filtro de cruce tiene la frecuencia de cruce fijada en 1000 Hz, a la bocina de graves le corresponderá el 70% de la potencia del amplificador y al de agudos el 30% restante.

Las bocinas de medios y de agudos manejan menos potencia que las bocinas de graves, ya que un programa musical tiene más componentes de baja frecuencia. Además, las bocinas de agudos tienen un diafragma más ligero, los puede hacer más eficientes.

Si se tiene una bocina de 3 vías, y se colocan las frecuencias de cruce en 1.2 kHz y 5 kHz, según la curva de porcentaje de la figura 3.41, corresponderá a la vía de graves el 73% de la potencia, a la de medios el 19% (92 - 73) y a la vía de agudos el 8% (100 - 92) de la potencia total para una señal musical normal. Si se pretende que el sistema de sonorización tenga 150 W de potencia, a cada bocina le corresponderá la potencia que se indica en la tabla 3.5.

Bocina	Potencia que corresponde	Potencia nominal recomendable
Graves	$150W \times 0.73 = 109.5 W$	125 W
Medios	$150W \times 0.19 = 28.5 W$	35 W
Agudos	$150W \times 0.08 = 12 W$	15 W

Tabla 3.5. Potencia correspondiente por cada vía

La potencia recomendable se fija sumando un margen de seguridad del 10% sobre la potencia máxima de trabajo. Como los valores obtenidos son poco comunes, se redondea hacia arriba para aumentar el margen. De esta manera se obtienen bocinas de varias vías dimensionadas.

Se puede tener diferentes sensibilidades en las distintas vías. Suele ocurrir que la bocina de agudos sea más sensible, que las otras vías. Este hecho está contemplado en ciertas redes de cruce, permitiendo añadir una a tener diferente sensibilización variable por pasos a la vía cuya sensibilidad de la bocina es mayor al resto, igualando en nivel, las respuestas de las diferentes bocinas que componen el sistema. La figura 3.42, representa un procesador de bocina.

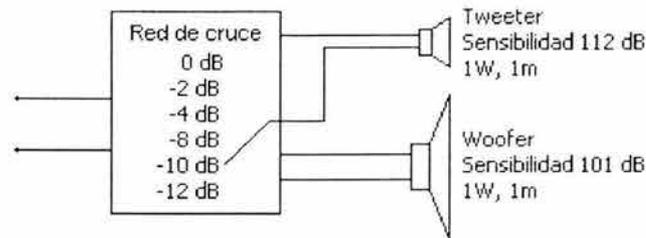


Figura 3.42. Red de cruce de dos vías con atenuación por pasos en la vía de alta frecuencia

Otra forma de realizar ajustes es cambiar las impedancias de las bocinas, sabiendo que una disminución del 50% en potencia equivale a 3 dB menos en la respuesta en frecuencia.

Los filtros de cruce se implementan mediante circuitos electrónicos cuando son pasivos se basan en resistencias, condensadores, bobinas y hay otros digitales. En los filtros de cruce son comunes los diseños basados en el tipo Butterworth.

Una red de cruce de dos vías consiste en un filtro paso bajo (vía de graves) y uno paso alto (vía de agudos). Una red de cruce de 3 vías consiste en un filtro paso bajo, uno paso banda (vía de medios) y uno paso alto. Una red de 4 vías implementa 1 filtro paso bajo, 2 paso banda y 1 paso alto. Otra forma de conseguir el mismo resultado es combinando filtros de cruce de 2 vías, como muestra la figura 3.43.

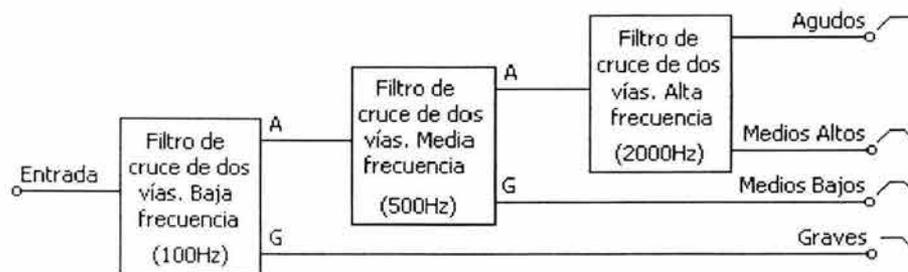


Figura 3.43. Diagrama de bloques de un filtro de cruce de cuatro vías

Los filtros o redes de cruce se clasifican en dos grandes categorías: alto nivel y bajo nivel.

Filtros de alto nivel son aquellos que trabajan con señal de alto nivel en lo que a tensión eléctrica e intensidad de corriente se refiere. Es decir, trabajan con la señal que entrega el amplificador o etapa de potencia. Los filtros de alto nivel se colocan entre el amplificador (único) y los altavoces. Estos filtros están compuestos exclusivamente por elementos pasivos: condensadores, resistencias y bobinas.

Filtros de bajo nivel son aquellos que trabajan con señal de línea, es decir, de poco voltaje e intensidad. Estos filtros están contruidos con elementos pasivos y activos como amplificadores operacionales y transistores. Se colocan antes de la amplificación, que será múltiple (un amplificador por vía), es decir, son parte de los



procesadores de bocinas. Al ser activos, estos filtros necesitan alimentación eléctrica para funcionar, como cualquier otro equipo activo. Un sistema con filtros de cruce activos de 3 vías estéreo, requerirá 3 amplificadores por canal (izquierdo y derecho), por este motivo estos filtros se suelen encontrar en grandes instalaciones.

Aunque las respuestas de transferencia de ambos tipos de filtros han de ser similares, los filtros de alto nivel tienen el inconveniente de que deben trabajar con la impedancia de la bocina conectada a su salida y ofrecer una buena impedancia global al amplificador, por este motivo su funcionamiento nunca es mejor que los de bajo nivel.

Por el uso que se da a los filtros de bajo nivel o activos, pueden permitir ajustes tales como frecuencias de cruce, ganancia de entrada o atenuaciones en las distintas vías. Los filtros de cruce para sistemas de sonorización de baja y media potencia, van insertos en las propias bocinas. Están compuestos por elementos pasivos, como resistencias y condensadores, por eso se llaman filtros pasivos. Los filtros activos se usan en equipos profesionales y se insertan antes de los amplificadores.

3.8 AMPLIFICADORES

Con mucha frecuencia las señales no tienen la amplitud necesaria para efectuar su función, por lo tanto es preciso aumentarla, sin modificar ninguna otra de las características de las señales. A esto se le llama amplificación y los circuitos que la efectúan, reciben el nombre de amplificadores. Básicamente un amplificador es un circuito que recibe una señal de entrada y entrega como salida la misma señal pero con amplitud aumentada.

Los amplificadores se clasifican por frecuencia y ancho de banda, considerándose que la frecuencia de señal de entrada y que el ancho de es el intervalo de frecuencia que pueden amplificarse sin que se distorsionen excesivamente.

El amplificador recibe una señal de algún transductor de captación o de cualquier otra fuente de entrada, y proporciona una versión más grande de la señal a cierto dispositivo de salida o a otra etapa de amplificación. La señal del transductor de entrada es, por lo general, pequeña (unos cuantos milivolts para una entrada de casete o de disco compacto, o de algunos microvolts para una antena) y requiere amplificarse lo suficiente para poder operar un dispositivo de salida (una bocina o cualquier dispositivo de manejo de potencia). Para los amplificadores de pequeña señal, los principales factores son, por lo general, la linealidad de la amplificación y la magnitud de la ganancia. Dado que el voltaje y la corriente de la señal son pequeños en un amplificador de pequeña señal, la magnitud de la capacidad de manejo de potencia y la eficiencia de potencia no son cuestiones de consideración. Un amplificador de voltaje ofrece amplificación de voltaje principalmente para incrementar el voltaje de la señal de entrada. Por otro lado, los amplificadores de gran señal o de potencia, proporcionan principalmente potencia suficiente a una carga de salida para activar una bocina o algún otro dispositivo de potencia, con frecuencia, en magnitudes de algunos Watts o de decenas de éstos. Las principales características de un amplificador de gran señal son la eficiencia de potencia del



circuito, la máxima cantidad de potencia que es capaz de manejar el circuito y el acoplamiento de impedancia con el dispositivo de salida.

Características de los amplificadores

Las más importantes de estas características son:

- Ganancia
- Ancho de banda
- Distorsión
- Capacidad de potencia

Ganancia

Es el termino que se usa para decir que tanta amplificación puede dar el amplificador, así pues con una ganancia de 20 producirá una ganancia de salida cuya amplitud será 20 veces mayor que la señal de entrada. La ganancia de un amplificador es una variable dependiente de la frecuencia, es decir no es la misma para todas las frecuencias de las señales de entrada. La forma en que varia la ganancia con la frecuencia depende de la fidelidad o respuesta en frecuencias que tiene un amplificador.

Ancho de banda

El ancho de banda de un amplificador es el intervalo de frecuencias de señal dentro del cual la ganancia del amplificador es relativamente constante. En la práctica se suele considerar como tal el intervalo de frecuencias representadas entre los dos puntos de la curva de respuesta en frecuencia donde la ganancia es igual a 0.707 del valor máximo. Cuando este intervalo de frecuencias es grande, se dice que el amplificador tiene un ancho de banda grande. Cuando el intervalo de frecuencias es estrecho se dice que amplificador tiene una banda angosta.

Distorsión

Anteriormente se menciona que la onda de salida de un amplificador es idéntica a la de entrada, excepto que aumenta su amplitud. Esto solo es cierto para un amplificador ideal. En la practica, la salida de un amplificador nunca es exactamente igual a la entrada, ya que además del aumento de amplitud, siempre ahí ciertos cambios en la forma de onda. Este cambio se conoce como distorsión y generalmente es indeseable ya que puede alterar la información contenida en la señal portadora.



Capacidad de potencia

Depende de ciertos factores:

1. La duración de tiempo de la señal reproducida
2. El intervalo de frecuencia reproducido
3. El valor de la impedancia de entrada del transductor (bocinas)
4. El nivel de distorsión aceptado

Entre mas bajos sean los valores de los tres primeros factores la capacidad de potencia aumenta y viceversa. Entre mas bajo sea el valor del ultimo factor la capacidad de potencia disminuye y viceversa.

La capacidad de potencia será mayor si la duración de la señal de entrada es 1 mseg, en lugar de 1 hora, los sistemas sonoros comúnmente funcionan en tiempo continuo.

La capacidad de potencia del amplificador será mayor si la señal de entrada comprende 1 kHz es decir un tono, en lugar de "ruido rosa" o música/voz, los sistemas de sonorización trabajan con estas ultimas.

La capacidad de potencia será mayor si el valor de impedancia del transductor (impedancia de carga) es 1Ω en lugar de 8Ω . Entre mas baja la impedancia de carga el esfuerzo del amplificador aumenta, y la probabilidad de fallas eléctricas y mecánicas de la bocina aumentan.

La capacidad de potencia del amplificador será mayor si el nivel de distorsión armónica (THD) es de 1 % en lugar de 0.1%. Para estandarizar la manera de realizar las mediciones de capacidad de potencia de los amplificadores un organismo llamado FTC (Federal Trade Commission) estableció que los amplificadores deberán medirse utilizando una señal de entrada de 20 Hz a 20 kHz, por un periodo de tiempo prolongado, y cuya distorsión sea menor a 1%.en la tabla 3.6 se muestra la capacidad de potencia de un amplificador profesional.

	Señal de audio con duración de un ciclo				
	Ω	20Hz	50Hz	1kHz	7kHz
estereo ambos canales	2	685	885	1050	1060
	4	515	620	770	750
	8	350	375	420	410

Tabla 3.6. Capacidad de potencia

Las medición se realizó en las siguientes frecuencias con su respectivo periodo de tiempo:

- 20Hz (duración de 0.05 segundos)
- 50Hz (duración de 0.02 segundos)
- 1kHz (duración de 0.001 segundos)
- 7kHz (duración de 0.00014 segundos)



Se puede apreciar que a 7 kHz a 2Ω, la capacidad de potencia de dicho amplificador es 1060 Watts, pero a 8Ω, la capacidad e potencia disminuye a 410 Watts (lo cual cumple el tercer factor a mayor impedancia menos potencia).

Se puede apreciar que a 2Ω a 7 kHz, (duración de 0.00014 segundos) la capacidad de potencia de dicho amplificador es 1060 Watts, pero a 20Hz (duración de 0.05 segundos), la capacidad de potencia disminuye a 685 Watts (lo cual cumple el primer factor, a menor duración mayor potencia).

Promedio Máximo				
	Ω	a 0.1% de THD	a 0.1% de THD	a 0.05% de THD
		1 kHz	20 Hz – 20 kHz	1 kHz
estereo ambos canales	2	675	585	660
	4	480	450	480
	8	310	295	305

Tabla 3.7. Capacidad de potencia

La tabla 3.7 se muestra otra tabla de capacidad de potencia del mismo amplificador profesional, puede observarse que se presenta información a diferentes cargas de impedancia (2, 4 y 8Ω).

Para el promedio máximo se realizaron las siguientes pruebas:

- 1kHz a 0.05% de THD en un periodo de tiempo prolongado
- 1kHz a 0.1% de THD en un periodo de tiempo prolongado
- Barrido de frecuencia desde 20 Hz hasta 20 kHz a 0.1% de THD en un periodo de tiempo prolongado

Al utilizar como señal de prueba 1 kHz a 2Ω a 0.1%, de THD, la capacidad de potencia de dicho amplificador es 675 Watts, pero a 0.05% de THD, la capacidad e potencia disminuye a 660 Watts (lo cual cumple el cuarto factor, a menor distorsión menor potencia).

Al utilizar un barrido de frecuencia desde 20 Hz hasta 20 kHz la capacidad de potencia disminuye a 585 Watts (debido que la prueba comprende otras frecuencias además de 1 kHz).

Promedio continuo FTC a 0.1 de THD			
	Ω	1 kHz	20 Hz – 20 kHz
		estereo ambos canales	4
8	305		295

Tabla 3.8. Capacidad de potencia

La tabla 3.8 muestra la capacidad de potencia del mismo amplificador (Crown Macro-tech 1200). Presenta información a diferentes cargas de impedancias (4 y 8Ω), pero se excluye información con carga de 2Ω.



Para el promedio continuo FTC a 0.1 de THD se realizaron las siguientes pruebas:

- 1 kHz a 0.1% de THD en un periodo de tiempo prolongado
- Desde 20 Hz hasta 20 kHz a 0.1% de THD en un periodo de tiempo prolongado

Se puede apreciar que 1 kHz a 4Ω , la capacidad de potencia de dicho amplificador es de 475 Watts, pero a desde 20 Hz hasta 20 kHz simultáneos (ruido rosa), la capacidad de potencia disminuye 425 Watts (lo cual cumple con el segundo factor), a mayor intervalo de frecuencias reproducido menos potencia).

También se nota que no existe información con cargas de 2Ω , debido a que incluso el fabricante no recomienda operar el amplificador con cargas menores de 4Ω en un periodo de tiempo prolongado.

Si comparamos la especificación de potencia de la tabla 3.6 a 7 kHz, 2Ω (1060 Watts), con la especificación de potencia de la tabla 3.8 a 4Ω desde 20 Hz hasta 20 kHz (425 Watts), se obtiene una gran diferencia de potencia.

Un método utilizado para clasificar amplificadores es mediante su clase, básicamente, las clases de amplificador representan el grado con el que varía la señal de salida durante un ciclo de operación, para un ciclo completo de la señal de entrada. A continuación se presenta una breve descripción de las clases de amplificador.

Clase A: La señal de salida varía durante los 360° completos del ciclo. Esto requiere que el punto Q se polarice en un nivel en el que al menos la mitad de la excursión de la señal de la salida pueda variar hacia arriba y hacia abajo, sin llegar a un voltaje lo suficientemente grande como para ser limitado por el voltaje de alimentación, o demasiado bajo como para acercarse al nivel inferior de alimentación, o 0 V en este caso, esta clase A de amplificador tiene una eficiencia de 25% a 50%.

Clase B: Un circuito clase B, proporciona una señal de salida que varía durante una mitad del ciclo de la señal de entrada, o por 180° de la señal.

El punto de polarización de dc para la clase B es 0 V, entonces la salida varía a partir de este punto de polarización durante un medio ciclo. La salida no será una reproducción fiel de la entrada si solamente un medio ciclo está presente. Se requerirán dos operaciones de clase B: una para proporcionar salida durante el medio ciclo de salida positivo, y otra para proporcionar operación durante el medio ciclo negativo de salida. Por lo que los medios ciclos combinados proporcionan una salida para los 360° completos de operación. Este tipo de conexión se denomina operación en contratase, La clase B logra una eficiencia máxima de 78.5%.

Clase AB: Es posible polarizar un amplificador en un nivel de dc por encima del nivel de corriente base cero de la clase B y por encima de una mitad del nivel del voltaje de alimentación de la clase A; esta condición de polarización es la clase AB. Esta clase sigue requiriendo de una conexión en contra fase, para obtener un ciclo



completo de salida, sin embargo, el nivel de polarización de dc es, por lo general, más cercano al nivel de corriente de base cero, para una mejor eficiencia de potencia. Para la operación clase AB, la excursión de la señal de salida ocurre entre 180° y 360° y no se trata de una operación clase A ni clase B.

Dado que la clase AB se encuentra entre la clase A y la clase B en polarización, ésta también se encuentra entre sus valores de eficiencia: entre 25% (o 50%) y 78.5%.

Clase D: Esta clase de operación es una forma de operación de amplificación que utiliza señales de pulso (digitales), las cuales se encuentran encendidas durante un intervalo pequeño, y apagadas durante un intervalo mayor. Mediante técnicas digitales es posible obtener una señal que varía durante el ciclo completo (por medio de un circuito de muestreo y retención) para reconstruir la salida a partir de varios segmentos de la señal de entrada. La principal ventaja de la operación clase D es que el amplificador solamente se encuentra encendido (empleando potencia) durante intervalos pequeños y la eficiencia total puede ser prácticamente muy alta. Mediante este tipo de circuito se logra una eficiencia de aproximadamente 90%.

Ganancia de Voltaje de los Amplificadores de Potencia

Los amplificadores incrementan el nivel de línea (+4 *dBu*) de la señal de audio a un nivel de potencia adecuado para excitar a las bocinas.

Las especificaciones técnicas indican la ganancia de voltaje de 3 formas:

- Ganancia de voltaje en *dB*
- Multiplicador (razón de salida – entrada de voltaje)
- Sensibilidad (voltaje de entrada requerido para alcanzar el máximo voltaje de salida)

El objetivo de controlar la ganancia de voltaje de un amplificador es para determinar la señal de entrada requerida para manejar una amplificación a un nivel de salida determinado. Los amplificadores con mayor ganancia requieren menos voltaje de entrada para alcanzar su máxima potencia en comparación con aquellos de menos ganancia.

Se puede suponer que conviene tener mayor ganancia. No se incrementará el headroom del sistema incrementando la ganancia. Lo anterior es válido solamente si las etapas que alimentan al amplificador (la salida de la mezcladora, por ejemplo) están saturando (clipeando) antes de que lo haga el amplificador. Lo cual es poco posible. Si el amplificador es el primer componente del sistema en saturar (clipear), entonces, incrementar su ganancia resulta contraproducente.

Hay que tener en cuenta que cualquier etapa de ganancia amplificará no solo la señal del audio, sino también el ruido producido por cada etapa anterior. El amplificador es el último componente de las cadenas antes de las bocinas. Entre mas alta sea su ganancia, más alto será el nivel del ruido cuando el sistema esté en funcionamiento.



Exceso de ganancia significa que el amplificador pasará más tiempo saturando. Si la capacidad de potencia del amplificador excede la capacidad de potencia de las bocinas, el clípeo dañará las bocinas.

La interpretación errónea más común relacionada con la ganancia de los amplificadores es que los amplificadores con más ganancia tienen más potencia, y que bajarle a un amplificador será desperdiciar potencia o headroom. De hecho, la ganancia moderada de un amplificador optimizará el intervalo dinámico manteniéndolo alejado del ruido pero proporcionando toda la potencia del amplificador.

Intervalo de Ganancia de Voltaje Recomendado

La ganancia de voltaje del amplificador de potencia es la relación entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida. Este número determina la cantidad de voltaje de entrada requerido para que el amplificador alcance su máxima potencia y es independiente de la capacidad de potencia. La efectividad del circuito que protege a las bocinas depende tanto de la capacidad máxima de salida del amplificador como de su ganancia de voltaje, la cual debe estar entre 10 dB y 30 dB para una operación adecuada del amplificador.

Especificaciones de Ganancia de Voltaje

Las hojas de especificaciones de los amplificadores indican la ganancia de voltaje de 3 formas:

- Ganancia de voltaje en dB_{GV}
- Multiplicador (relación de salida de voltaje contra entrada)
- Sensibilidad (voltaje de entrada requerido para alcanzar el máximo voltaje de salida)

La ganancia de voltaje se obtiene de la siguiente expresión:

$$dB_{GV} = 20 \log \frac{V_{salida}}{V_{entrada}}$$

El multiplicador de voltaje es la razón del voltaje de salida entre el voltaje de entrada:

$$Mv = \frac{V_{salida}}{V_{entrada}}$$

Por ejemplo si tenemos $20X$, el voltaje de entrada será multiplicado por 20 y da como resultado el voltaje de salida.

Para ejemplificar el uso de la gráfica tenemos el siguiente ejemplo:

$$dB_{GV} = 20 \log \left(\frac{20}{1} \right)$$



$$dB_{GV} = 26 \text{ dB}$$

Como una alternativa, se puede usar la figura 3.44 para observar la ganancia de voltaje en dB_{GV} para el multiplicador.

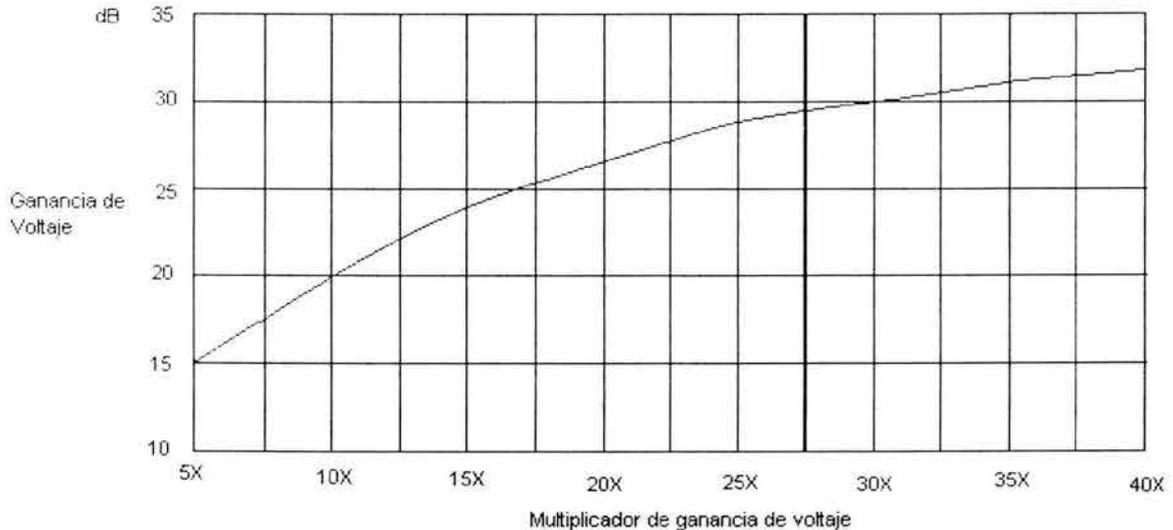


Figura 3.44. Gráfica de ganancia de voltaje contra multiplicador

Si el fabricante especifica sensibilidad:

Sensibilidad = 0.775 V de señal de entrada para la máxima salida especificada.

Los fabricantes de amplificadores que utilizan la misma sensibilidad para diferentes modelos, utilizan diferente ganancia de voltajes para cada modelo de amplificador ya que tienen diferente potencia de salida. Los modelos que especifican la sensibilidad requieren un cálculo más complejo ya que es necesario determinar el nivel de voltaje en la salida cuando la potencia especificada es alcanzada. Es recomendable utilizar la especificación de 8Ω ya que el voltaje de salida tiende a variar al disminuir la impedancia de carga Z_R , por lo que la medición de la ganancia de voltaje puede variar.

Para determinar el voltaje de salida máximo se utiliza la siguiente expresión:

$$V_{s \max} = \sqrt{[P_{\max} (Z_R)]}$$

Para encontrar la ganancia de voltaje de un amplificador con 313 Watts con una carga de 8Ω y una sensibilidad de 0.775 V para su salida máxima. Primero resolvemos el voltaje de salida máximo:

$$V_{s \max} = \sqrt{[313 * 8]}$$

$$V_{s \max} = \sqrt{2504}$$

$$V_{s \max} = 50 \text{ Volts}$$



Después de determinar el voltaje de salida máximo, el multiplicador se puede localizar dividiendo el voltaje de salida máxima entre el voltaje de entrada (la sensibilidad).

$$Mv = \frac{50}{0.775}$$

$$Mv = 64.5$$

Una vez que se determina el multiplicador, la ganancia de voltaje es:

$$dB_{GV} = 20\log(64.5)$$

$$dB_{GV} = 36.2 \text{ dB}$$

Como este valor excede el intervalo máximo de algunos amplificadores, debe ser atenuado. En la figura 3.45 las curvas representan la sensibilidad a 0.775 y 1 Volt. Se puede verificar la ganancia de voltaje de 36.2 dB que corresponde a una potencia de 313 Watts con una carga de 8 Ω del ejemplo anterior.

Hay una diferencia importante entre los modelos de amplificadores que son fabricados con un estándar de ganancia de voltaje en dB y aquellos con sensibilidad. Los amplificadores con la especificación de sensibilidad incrementan su ganancia de voltaje cuando son más potentes. Se observa también que cuando la ganancia de voltaje ha excedido 30 dB, la efectividad del circuito que se puede ver comprometida o simplemente las bocinas están en peligro de quemarse y el sistema esta desequilibrado. La sensibilidad de entrada es la misma para todos los modelos (0.775 Volts RMS para alcanzar la potencia máxima). Con esta sensibilidad la ganancia de voltaje de cualquier amplificador con potencia mayor a 150 Watts a 8 Ω excede los niveles de confiabilidad.

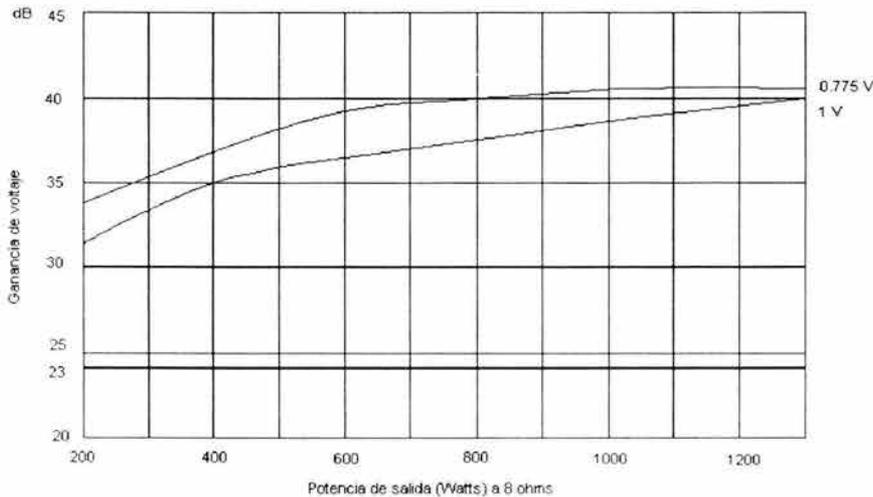


Figura 3.45. Gráfica de ganancia de voltaje contra potencia

La ganancia de voltaje se indica como multiplicador en la parte de atrás del amplificador. Las ganancias típicas son:

14X (23 dB) Estándar Europeo



20X (26 dB) Estándar Americano

40X (32 dB) Estándar de Crest para el modelo Profesional Series se debe atenuar 3 dB al control de nivel de entrada. Esto no reduce la potencia de salida máxima del amplificador sino que mejora la acción del procesador además de disminuir el nivel de ruido del sistema.

A menos que se especifique lo contrario cada modelo de amplificador tiene diferente ganancia de voltaje, pero la sensibilidad de entrada es la misma para todos los modelos (1 Volt RMS para alcanzar la máxima potencia). Con esta sensibilidad la ganancia de voltaje de cualquier amplificador con potencia mayor 200 Watts a 8Ω excede los niveles de confiabilidad.

Todo esto depende del modelo y marcar de bocinas que se escogerán para el sistema ya que cada fabricante de bocinas tiene su propio procesador para cada modelo y sugiere marca de amplificadores para que su sistema sea confiable y funcione a su máxima capacidad cuando se le requiera con máxima calidad audible.

Control de Nivel de los Amplificadores

Los datos de placa para el control de nivel de los amplificadores de potencia son en dB de atenuación. Esto puede ser confuso cuando consideramos el hecho de que los amplificadores no son atenuadores. De hecho su función es opuesta a la atenuación. Los datos de placa del control de nivel se refieren solo a los dB de reducción de la ganancia de voltaje relativo a su posición máxima.

El control de nivel en un amplificador:

- No reduce capacidad de potencia máxima del amplificador (a menos de que se disminuya tanto a la consola de mezcla que envía la señal al amplificador y se satura antes de que el amplificador alcance su máxima salida)
- No necesariamente correlaciona entre diferentes amplificadores (incluso entre diferentes modelos del mismo fabricante) a menos que posean la misma ganancia de voltaje en su capacidad máxima

Para hacer que el control de nivel de los amplificadores de potencia sea usado como control de nivel relativo:

- Se deberán llevar todos los amplificadores de su sistema a ganancia de voltaje estándar
- Si los niveles de algunos modelos no pueden ser llevados al nivel de ganancia estándar, entonces se deberá marcar la posición de atenuación que correlacione con su estándar

Uno de los errores más frecuentes al usar sistemas de 2 vías es la operación de amplificadores agudos y bajos con diferente ganancia de voltaje. Es decir, si hay muchos graves se disminuye al amplificador de graves. Si el sonido es muy brillante se disminuye al amplificador de agudos. Desafortunadamente al disminuir los graves



o agudos conlleva a algunos efectos secundarios serios como el mover la frecuencia de corte entre las dos vías y esto podría tener graves consecuencias.

Cuándo en lugar de atenuar graves en el ecualizador se disminuye al amplificador de graves, se tiene el riesgo de dañar las bocinas de agudos. Una práctica común es disminuir al amplificador de graves.

El resultado de disminuir la ganancia al amplificador de graves es:

- Los graves reproducidos por la bocina se suman en la habitación. Disminuyendo los graves del amplificador se pueden ahorrar algunos filtros de ecualización de frecuencias graves
- Un arreglo de bocinas se suma en graves. Disminuyendo al amplificador de graves se puede ahorrar de nuevo algunos filtros de ecualización

Ahora veamos que sucede cuando disminuimos al amplificador de graves:

- Disminuye el nivel de graves
- Se desplaza la frecuencia de corte del punto acústico hacia abajo
- La bocina de agudos tiene que reproducir las frecuencias desplazadas de la bocina de graves
- Se desajusta la relación de fase en punto de corte acústico lo que puede ocasionar cancelaciones de fase
- Se altera la direccionalidad en el punto de corte
- Se produce una caída en el área del punto de corte debido a que la suma de ambas bocinas (graves y agudos) no alcanza el punto de corte acústico
- Se incrementa la distorsión en el área del punto de corte. Debido a que el punto de corte acústico se ha desplazado hacia abajo

La suma de las frecuencias graves (a causa de un arreglo o de una habitación) de hecho es un beneficio. La suma de las frecuencias graves significa que se tiene más potencia, esto se traduce en más headroom y menos distorsión. Y puede ecualizarse con facilidad si se desea. Si se le baja al amplificador de graves disminuirán los beneficios de la suma de frecuencias graves, además de forzar a la bocina de agudos por desplazar su punto de corte acústico hacia abajo.

Existe una enorme diferencia entre ecualizar la energía sumada y bajarle al amplificador de graves.

- Al ecualizar la energía sumada de graves
- No se modifica el punto de corte acústico
- Se mantiene optimizada la respuesta de potencia de las bocinas de graves y agudos
- No se modifica la relación de fase en el punto de corte
- Se mantiene optimizado la direccionalidad
- No se produce una caída en el área del punto de corte
- Se minimiza la distorsión de la bocina de agudos

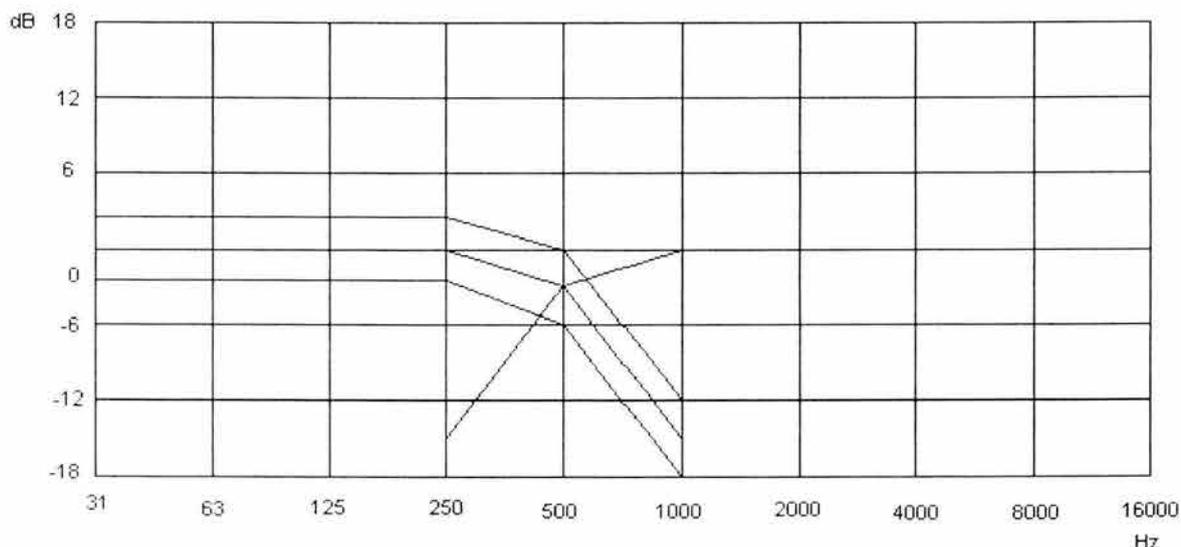


Figura 3.46 Punto de corte acústico, que varía dependiendo de la ganancia del canal de graves

En la figura 3.46 el punto de corte acústico es afectado por la ganancia relativa del amplificador. En la figura 3.46, el punto de corte es de 500 Hz cuando las ganancias son iguales. Si la ganancia del canal de graves aumenta 3 dB, el punto de corte se desplaza hasta 630 Hz. Si por el contrario se atenúa 3 dB, el punto de corte se desplaza hasta 400 Hz. Esto ocasiona que alguna bocina, que en este caso podrían ser las altas frecuencias se le este exigiendo producir frecuencias que no reproduce y puede fallar, además que el sonido no resultaría óptimo.

Polaridad de los Amplificadores

La sección de entrada de un amplificador de potencia es prácticamente la última etapa de manejo de señal balanceada. La sección de salida es típicamente desbalanceada con una terminal positiva y una terminal de referencia de tierra. Por lo general en los amplificadores la terminal 2 del conector de entrada es positivo y la terminal 3 es negativo, como se muestra en la figura 3.47, debido al estándar AES (Acoustic Electrical Society).

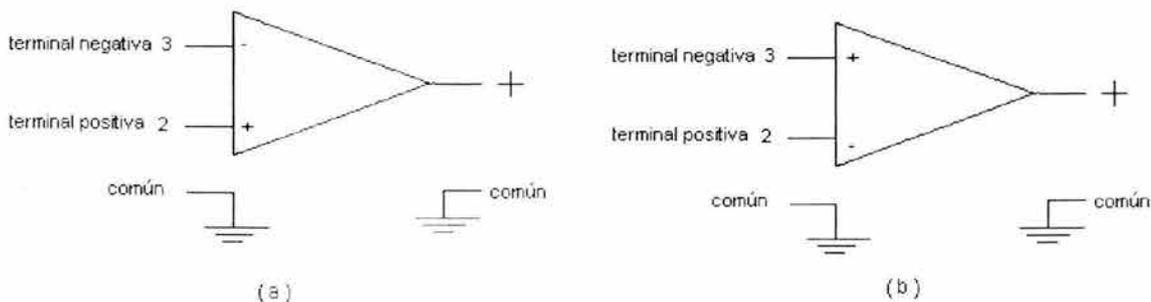


Figura 3.47. (a) Amplificador con terminal 2 positiva y (b) Amplificador con terminales invertidas



Existen algunos amplificadores que tienen la terminal 2 como negativa y la terminal 3 positiva, esta conexión se muestra en la figura 3.47.

Al conectar varios amplificadores debe seguirse un orden en las terminales de entrada para no causar defasamiento de la señal de audio, esto puede provocar cancelaciones acústicas.

Operación en Modo Puentes

Cuando el amplificador es utilizado en el modo puente, los dos canales de amplificación de un amplificador estereo (o dual mono) son utilizados como un solo canal. La bocina se debe conectar a las terminales positiva de salida de ambos canales, lo que ocasiona que se duplique el voltaje máximo proporcionado a la bocina. Con los amplificadores de alta potencia actuales, el modo puente es capaz de proporcionar elevados niveles de voltaje para las bocinas a través de las terminales de salida. Se recomienda tomar algunas precauciones. El modo puente puede, en el mejor de los casos, incrementar la potencia proporcionada a la bocina en 4 veces. Esto no es usualmente el caso, debido a que la impedancia de carga de la bocina es vista por el amplificador como la mitad. Por esta razón la capacidad de potencia del amplificador es reducida. En otras palabras, una bocina de 4Ω es vista como si tuviera 2Ω en modo puente, así la capacidad de potencia esta limitada por la capacidad de corriente más que por el voltaje de salida.

El modo puente no sólo incrementa la salida máxima de potencia si no además duplica su ganancia de voltaje ($+6 \text{ dB}$). Se tienen que ver que las especificaciones de capacidad de potencia máxima y de ganancia de voltaje esten dentro de los límites de operación de la bocina antes de usar amplificadores en modo puente. Además se debe determinar la polaridad del amplificador en modo puente (que canal es positivo) consultando las especificaciones del fabricante, en la figura 3.48 se muestra la conexión en modo puente.

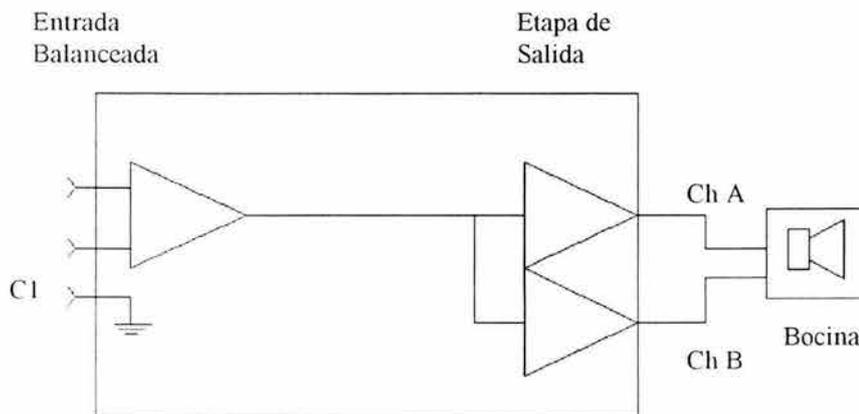


Figura 3.48. Amplificador en modo puente



3.9 BOCINAS

Es un dispositivo capaz de convertir la energía eléctrica en energía acústica que se radia al aire, a este dispositivo se le llama transductor electroacústico. La transformación de energía, se hace en dos fases. El modelo teórico de un transductor electroacústico, se basa en un transductor electromecánico y un transductor mecánico-acústico. Esto significa, que se estudia por un lado la transformación de la energía eléctrica en mecánica, ya que se genera un movimiento, por otro lado se estudia la transformación de la energía mecánica en acústica, ya que el movimiento genera energía acústica.

El transductor electromecánico se llama "motor", por el movimiento que genera, este movimiento se transmite al segundo transductor, el mecánico-acústico, que se llama diafragma, se muestra en la figura 3.49, el diagrama.

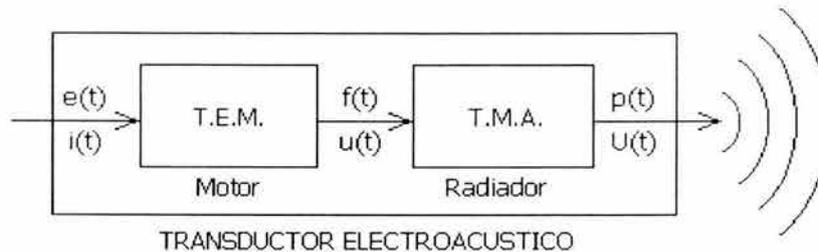


Figura 3.49. Representación gráfica de un transductor electroacústico

En el proceso general en el que la señal de audio pasa por los equipos de la cadena de audio (procesadores, mesa de mezcla, etapa de potencia), se tratan principalmente de dos unidades: voltaje $e(t)$ y corriente $i(t)$ que varían en función del tiempo. Esta energía es transformada en energía mecánica en el transductor electromecánico, ahora se miden las magnitudes de fuerza $f(t)$ y velocidad $u(t)$. Al pasar por el transductor mecánico-acústico, se tiene energía acústica, con las magnitudes presión $p(t)$ y potencia acústica $U(t)$. La energía acústica, se radia y se transmite a través del aire, y se percibe como sonido.

Los fenómenos físicos en los que se basa la bocina admiten múltiples configuraciones en función de la necesidad a cubrir. Por este motivo, se pueden clasificar de varios modos que se describen a continuación.

- Electrodinámico
- Electroestático
- Piezoeléctrico

Electrodinámico

Una bobina móvil se encuentra en un campo magnético creado por un imán permanente, la bobina se desplaza porque es empujada por la fuerza electromotriz debida a los cambios de corriente en su interior. Esta corriente procede del amplificador o etapa de potencia. La bobina está pegada a la cúpula, que puede ser



todo el diafragma o sólo la parte central, véase la figura 3.50. Son los más comunes en audio profesional.

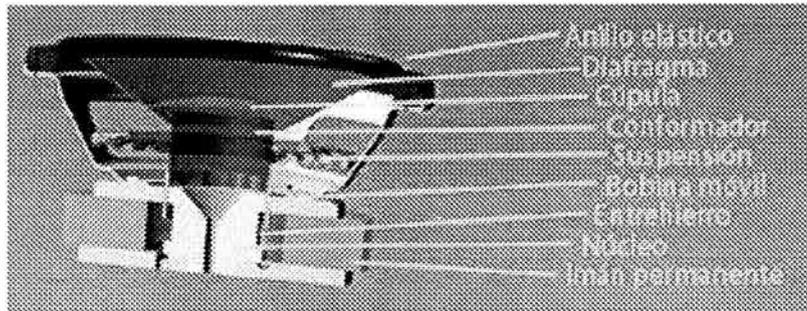


Figura 3.50. Partes de una bocina electrodinámica de bobina móvil

Electrostáticos

Se basan en una placa cargada eléctricamente que ejerce de diafragma y se mueve por la fuerza electrostática que se produce al variar la carga de las dos placas entre las que se encuentra. Se trata de un doble condensador, donde la placa central es el diafragma. Destacan por ofrecer una respuesta en frecuencia amplia y plana; por otro lado son extremadamente voluminosos, necesitan de alimentación de la red y electrónica adicional, además son muy delicados, su precio es muy elevado, figura 3.51. Las bocinas electrostáticos son de radiación directa.



Figura 3.51. Bocina electrostática de la marca Quad

Piezoeléctricos

Se basan en la propiedad de los materiales piezoeléctricos de contraerse ante impulsos eléctricos. Tienen un gran rendimiento, sin embargo la superficie de radiación es muy pequeña por lo que son usados en dispositivos de alta frecuencia de audio. También se usan en muchas aplicaciones que requieren frecuencias superiores a las de audio, como dispositivos de sonar o de ecografía, en la figura 3.52 se muestra un tweeter piezoeléctrico.

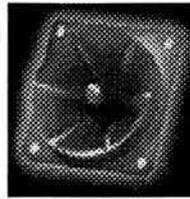


Figura 3.52. Tweeter piezoeléctrico

Otros se clasifican en función del transductor mecánico-acústico:

- Radiación directa
- Radiación indirecta

De radiación directa

El diafragma es el elemento que radia directamente al aire, figura 3.53. Son los más comunes al ser más sencillos que los de radiación indirecta.

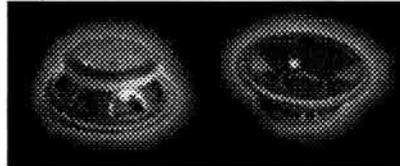


Figura 3.53. Bocina electrodinámica de radiación directa

De radiación indirecta

Una bocina adapta la alta impedancia del diafragma a la baja impedancia del aire. De este modo se mejora el rendimiento de la bocina. Es decir, se transforma más energía eléctrica en acústica, si no se usará la bocina, se emplearía la misma energía eléctrica obteniendo menos energía acústica. Son más aparatosos y se usan en ámbitos profesionales de sonorización de grandes recintos o montadas en grandes cajas acústicas. Las bocinas de radiación indirecta están compuestas de dos partes, la bocina y el motor de compresión. El motor de compresión es en realidad una bocina electrodinámica de bobina móvil, aunque tiene algunas diferencias, como una cámara de compresión, un diafragma pequeño y ligero y la estructura para ser anclado a la bocina.

Las bocinas de la figura 3.54 son del tipo exponencial de boca rectangular.

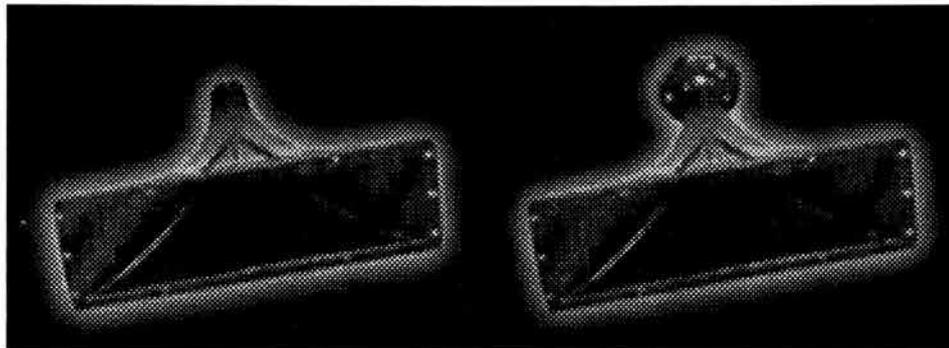


Figura 3.54. Bocina sola (izquierda) y con el motor de compresión montado (derecha)



Clasificación en función del margen de frecuencia en el que operan:

- Banda ancha
- Bajas frecuencias
- Frecuencias medias
- Altas frecuencias

Banda Ancha

Son bocinas que cubren la una banda extensa del espectro de audio.

Bajas Frecuencias

Woofers y sub-woofers. Son bocinas que cubren el margen de frecuencia por debajo de los 400 Hz a 700 Hz, para woofers y por debajo de los 80 Hz, para los sub-woofers. Los woofers no llegan a cubrir con buena respuesta la zona de baja frecuencia próxima a los 20 Hz, por eso se desarrollan los sub-woofers que trabajan exclusivamente esa zona reforzando la respuesta en baja frecuencia.

Frecuencias Medias

Cubren el margen de frecuencia que va desde los 400 Hz a 700 Hz hasta los 3 kHz a 8 kHz. Se le nombra banda de medios.

Altas Frecuencias

Tweeters y ultra-high-tweeters. Cubren las frecuencias por encima de los 3 kHz a 8 kHz, para los tweeters y por encima de los 12 kHz a 14 kHz, para los ultra-high-tweeters. Ambos no llegan más allá de los 20 kHz. Esta zona de frecuencias es llamada también banda de agudos. Los tweeters tienen dificultad en llegar a cubrir con buena respuesta la zona de frecuencia próxima a los 20 kHz. Por eso se desarrollan los ultra-high-tweeters que trabajan exclusivamente esa zona reforzando la respuesta en altas frecuencias, véase la figura 3.55.

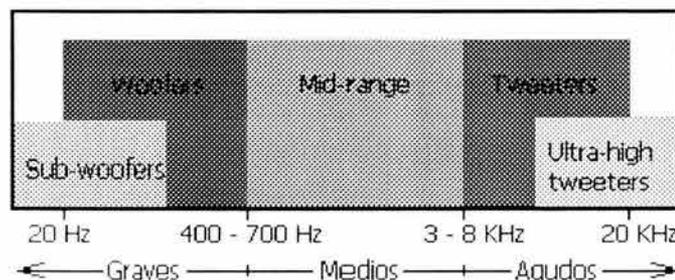


Figura 3.55. Distribución aproximada de las bandas de frecuencia habituales



CARACTERÍSTICAS

Respuesta en Frecuencia

La respuesta en frecuencia es uno de los parámetros principales de una bocina, junto con la potencia. Por razones mecánicas y de diseño, una bocina sólo no puede cubrir todo el margen de audio, por lo que se construyen bocinas especializadas en reproducir ciertas bandas de audio: sub-graves, graves, medios, agudos y súper-agudos, figura 3.56.

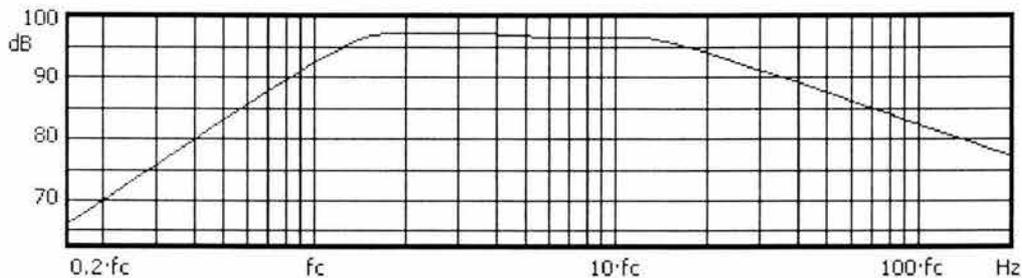


Figura 3.56. Módulo de la respuesta en frecuencia de una bocina montada en un caja cerrada

Siendo f_c la frecuencia de resonancia en caja cerrada. Este valor puede ser de varias decenas de hertz. Si $f_c = 60$ Hz, la zona plana de la respuesta llegaría hasta poco más de los 600 Hz.

Impedancia Eléctrica de Entrada

Es la relación compleja (módulo y fase) entre la tensión en bornes de la bocina y la corriente que circula por el. La impedancia eléctrica de entrada varía mucho con la frecuencia, sobre todo cerca de la frecuencia de resonancia de la bocina, en la figura 3.57, se representa el modulo de impedancia de entrada de una bocina.

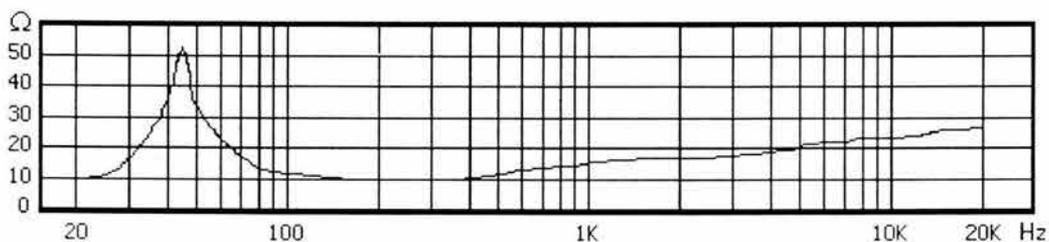


Figura 3.57. Gráfica del módulo de la impedancia de entrada de una bocina electrodinámico de radiación directa

Frecuencia de Resonancia

Es la frecuencia donde el sistema mecánico entra en resonancia. Se debe especificar el valor de la frecuencia para la cual el módulo de la impedancia eléctrica de entrada tiene su primer máximo. En el caso de la figura superior la frecuencia de resonancia está en 45 Hz.



Impedancia Nominal

Para facilitar los cálculos de instalaciones y equipos, y para trabajar con un dato único y no una compleja gráfica, el fabricante da el valor de la impedancia nominal. Este valor es por lo general de 4 Ω , 6 Ω , 8 Ω ó 16 Ω . Este valor se toma de la zona plana que hay superior a la frecuencia de resonancia, como se observa en la gráfica de la impedancia eléctrica de entrada; aunque se admite una variación de hasta el 20%. En la gráfica superior, la zona plana se encuentra entre los 150 Hz y los 400 Hz. y el valor es de 10 Ω , con lo que se puede decir, incluyendo el margen del 10%, que la impedancia nominal de la bocina es de 8 Ω

Potencia Eléctrica de Pico o musical

Es la potencia eléctrica que la bocina es capaz de disipar con una señal de prueba de ruido rosa filtrado (simulando una señal musical) sin sufrir daños permanentes. La duración de la prueba es de 1 segundo y se repite 60 veces a intervalos de 1 minuto. El valor de la potencia se calcula sobre el valor nominal de la impedancia.

Potencia Eléctrica Nominal o RMS

Es la potencia eléctrica que la bocina es capaz de disipar con una señal de prueba de ruido rosa (que simula un programa musical) sin sufrir daños permanentes. La duración de la prueba es de 1 minuto y se repite 10 veces a intervalos de 2 minutos.

Potencia Continua Sinusoidal

Es la potencia eléctrica que la bocina es capaz de disipar con una señal de prueba, que es un barrido continuo dentro del margen de trabajo de señal senoidal, sin sufrir daños mecánicos o térmicos. La duración de la prueba es de 100 horas consecutivas. Este dato no suele ser facilitado, ya que los dos anteriores aportan suficiente información.

La norma usada en cada caso para la medida, determina el espectro de la señal banda ancha, el tipo de señal (ruido rosa generalmente) y el tiempo de duración de la prueba. Normas conocidas son las normas AES, IEC, EIA. El valor de potencia eléctrica que se está aplicando a la bocina se calcula midiendo la tensión eficaz en bornes de la bocina para el valor de impedancia nominal.

$$P = \left(\frac{V^2}{Z_{NOM}} \right) [W]$$

Expresión empleada para calcular la potencia eléctrica consumida

Sensibilidad

Se define como el nivel de presión sonora (SPL) medido a 1 m de distancia en la dirección del eje de mayor radiación de la bocina, cuando es excitado con un 1 W de



potencia eléctrica, medida esta sobre su impedancia nominal. La señal que se utiliza es de banda ancha, preferiblemente un ruido rosa, cuyo espectro se parece más a la señal musical o vocal. Se puede dar el dato para radiación esférica o hemisférica (montado en pantalla infinita). Entre dos bocinas de iguales características de respuesta en frecuencia, potencia nominal, impedancia de entrada y directividad, es preferible el que mayor sensibilidad tenga.

Esta medida, así como la mayoría de las medidas de sonido, se hacen sin que influyan las posibles reflexiones del sonido en elementos cercanos, lo que adulteraría la medida. Para evitar estas reflexiones se usan cámaras anecoicas que están construidas con un diseño y materiales que hacen que no existan reflexiones en su interior, ni se introduzcan ruidos externos.

Los elementos del centro de la cámara son usados para colocar las fuentes a medir y los dispositivos de medida.

Eficiencia

La eficiencia es el resultado de la división de la potencia acústica radiada por la bocina, entre la potencia eléctrica consumida en la bocina. Normalmente se da en porcentaje. La eficiencia también se calcula de igual modo, y sus valores se dan en unidades. Sin embargo la forma de calcular las potencias acústica y eléctrica para rendimiento y eficiencia son diferentes, ya que el rendimiento incluye las pérdidas mecánicas del sistema. Es decir, la resistencia al movimiento de la suspensión del diafragma.

El dato del rendimiento es el más ajustado a la realidad. Tanto el rendimiento como la eficiencia son valores que varían con la frecuencia, igual que la resistencia eléctrica de entrada. En ambos casos y para ciertas frecuencias los valores pueden superar el valor máximo de 100% o 1 respectivamente. A pesar de la fidelidad de estos parámetros a la realidad, para saber si una bocina radiará mucha energía acústica, es más fácil fijarse en su sensibilidad. Una bocina poco sensible necesitará consumir más energía eléctrica que otra muy sensible, para lograr el mismo nivel de presión sonora.

Directividad

Es la variación del nivel de presión sonora a una distancia fija en función del ángulo de giro de la bocina. La directividad se especifica mediante gráficas para bandas de tercio de octava de ruido rosa, con distintas frecuencias centrales y para giros de 10° a 15°. Las bandas que se usan que en realidad son tonos tienen las siguientes frecuencias: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8kHz y 16 kHz. El registro de estas mediciones se realizan en cámaras anecoicas, las mediciones se hacen situando la bocina en un banco giratorio, se reproduce un tono y se mide el nivel de presión sonora (SPL) que emite la bocina comúnmente a una distancia fija, esta distancia según normas internacionales es de 1 metro, se va girando la bocina en el plano horizontal de 15 en 15 grados y midiendo la caída de SPL con respecto al valor



de SPL a 0° . Se repite el procedimiento para cada tono. Si la bocina es de simetría circular, la directividad vertical y horizontal será la misma. Si no lo es, habrá que hacer el mismo procedimiento girando la bocina en el plano vertical.

Las curvas de directividad suelen ser simétricas respecto al eje de radiación, al menos en el plano del que se trate. Es decir, en directividad horizontal, se dan iguales pérdidas a 300° que a 60° para una misma frecuencia, figura 3.58. Por este motivo y para no saturar la gráfica, sólo se representa un lado de la curva para cada frecuencia, entendiendo que el lado que falta es simétrico respecto al eje de 0° a 180° . Si el sistema tiene simetría de revolución, la directividad vertical será igual.

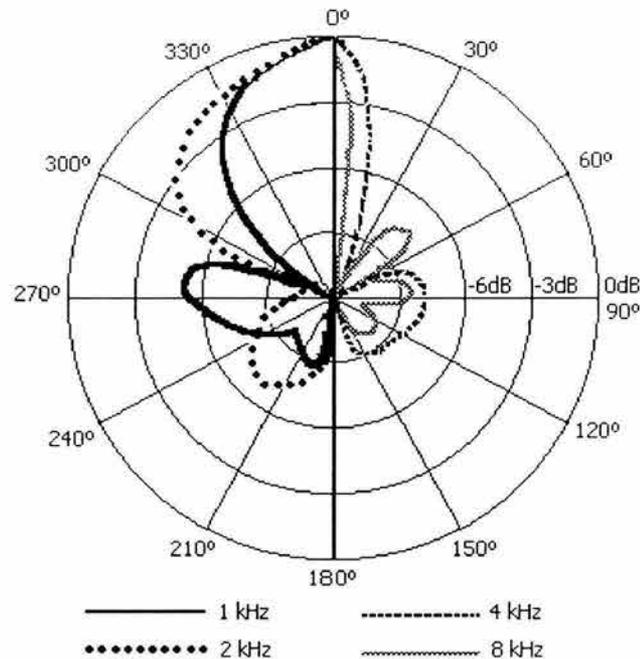


Figura 3.58 Diagrama de directividad horizontal con cuatro frecuencias significativas

Ancho de Cobertura

Es un valor que se expresa en grados sexagesimales (de 0° a 360°), e indica la porción del espacio situado frente a la bocina, horizontal o vertical, en donde la caída del SPL respecto al eje es menor de 6 dB . El ancho de cobertura se mide de lado a lado de la cobertura. Normalmente se suele dar el valor de ancho de cobertura a -6 dB , aunque a veces se da para -3 dB ; siempre se especifica. Este dato es muy útil para realizar proyectos de refuerzo sonoro, para distribuir las bocinas de forma que toda la audiencia quede cubierta con un nivel suficiente. Valores típicos de ancho de cobertura para bocinas son 20° , 40° , 60° , 90° ó 120° , en la figura 3.59 se muestra un ejemplo de como se observaría una cobertura.

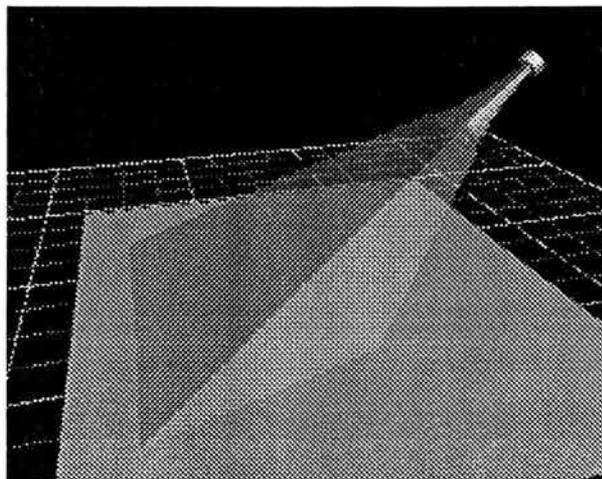


Figura 3.59. Cobertura de una bocina

Índice de Directividad

Es la relación, expresada en dB , entre la intensidad acústica radiada por la bocina medida en el eje, y la intensidad acústica radiada por una bocina omnidireccional, medido en las mismas condiciones. Una bocina omnidireccional, tiene un índice de directividad de valor uno. Cuanto más directivo sea una bocina, mayor será su índice de directividad. Los datos sobre directividad son muy importantes, ya que en la mayoría de las aplicaciones profesionales, los escuchas no se sitúan únicamente en el eje de las bocinas que reproducen el sonido.

Existen dos configuraciones en las cajas acústicas, las de caja cerrada, y las de abertura en la caja, a continuación se describirán las dos configuraciones.

Configuración de caja cerrada

El montaje en caja cerrada añade nuevos problemas al sistema, como el hecho de que la respuesta en frecuencia se vea modificada por la creación de modos propios dentro de la cavidad de la caja, figura 3.60. Por otro lado, al reducirse el volumen de aire en el lado posterior del diafragma, este tiene más dificultad para moverse sobretodo en baja frecuencia, donde en la mitad del ciclo trabajará para comprimirlo. Como resultado la respuesta en graves de una bocina, se recorta al montarlo en caja cerrada respecto a la que tenía montado en pantalla infinita.

Este recorte es del orden de decenas de Hertz. Sin embargo, calculando adecuadamente el volumen interno de la caja, se puede conseguir un realce en baja frecuencia que compensa en cierto modo el recorte por estar montado en caja cerrada.



Figura 3.60. Bocina montado en caja cerrada

Configuración de Abertura en la Caja

Esta configuración consigue aprovechar parte de la radiación posterior del diafragma, que se disipa en el interior de la caja, para reforzar la radiación frontal de la bocina en baja frecuencia. Esto se consigue mediante una abertura o puerta en la caja, que permite salir al exterior el caudal del interior de la caja, en función de las variaciones de presión en el interior de esta. Con este sistema aumenta el caudal total radiado al exterior de la caja.

A esta configuración se le puede llamar como sistema de reflexión de graves (bass reflex) puede ser un simple agujero en una pared de la caja, o estar formado por un tubo que se suele adentrar en la caja. La nueva frecuencia de resonancia del sistema se llamará f_b y dependerá de nuevo, de las características mecánicas de la bocina, de las características físicas de la caja y de las dimensiones de la puerta, la figura 3.61 muestra una bocina bass reflex. Mediante el estudio pormenorizado de las características del sistema, se puede diseñar una puerta para conseguir que la frecuencia de resonancia del sistema bass reflex se dé exactamente a la frecuencia deseada.

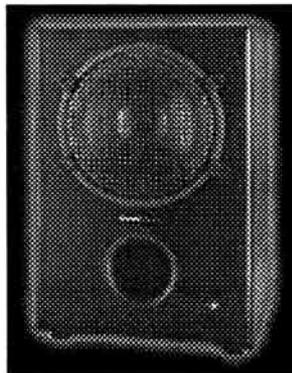


Figura 3.61. Bocina de graves con refuerzo bass reflex

Las dimensiones que definen la puerta son diámetro para puertas circulares o superficie efectiva para puertas con otra forma y longitud. A veces la caja tiene más de una puerta, de nuevo lo importante es la superficie efectiva total. Además habrá



que cumplir unas especificaciones mínimas que garanticen que a través de la puerta se puede radiar el volumen de aire calculado sin que se produzca ruido de viento.

Varias Vías

Como se ha indicado antes, las distintas bocinas tienen una respuesta en frecuencia concreta, esto significa que unas cubren mejor unas frecuencias que otras. Dado que el espectro de audio es demasiado amplio para que solo una bocina cubra todo, se emplean agrupaciones de varios tipos de bocinas, de forma que radiando todos a la vez, cada uno en una zona del espectro, todo el espectro quede cubierto.

Las agrupaciones más frecuentes son las de dos bocinas, figura 3.62, (uno para frecuencia medias-bajas y otro para medias-altas) y 3 bocinas (woofer, frecuencias medias y tweeter). Las vías son el número de particiones del espectro, que generalmente, coincide con el número de bocinas de un sistema o de una caja acústica. Así un sistema de 3 vías suele tener un woofer, un mid-range y un tweeter; aunque podría, por ejemplo, tener 2 tweeters.

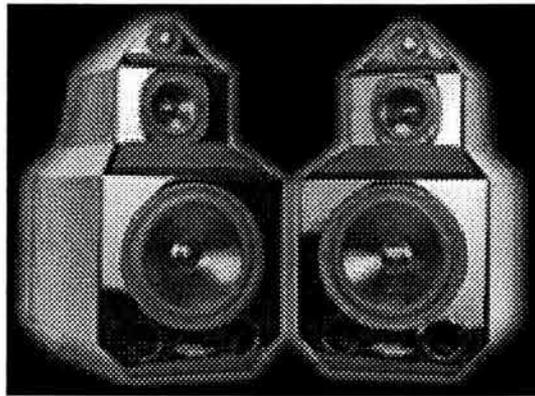


Figura 3.62. Pareja de bocinas de tres vías con aberturas bass reflex

Las bocinas que forman un sistema de varias vías también pueden estar por separado, algo que es habitual en sistemas de gran potencia, donde cada elemento es muy grande. En sistemas para conciertos se pueden ver las cajas que soportan la vía de graves a poca altura del suelo, mientras que el sistema de media y alta frecuencia están colgados a los lados del escenario, a gran altura. Sistemas de semejante tamaño, suelen incluir además, amplificación por separado para cada vía.

También es fundamental la posición relativa de los transductores dentro de una misma bocina. Además, será de vital importancia el sistema de filtros de cruce (crossover), que son los que separan la señal total, en las distintas vías o anchos de banda que alimentarán a cada bocina. Cuando se tienen varias vías, la zona más crítica del espectro es aquella donde las respuestas de las dos bocinas se traslapan, ya que se pueden dar cancelaciones si las dos señales tienen una fase relativa de 180° a ciertas frecuencias.



3.10 HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN

Los equipos más usados para medir la intensidad del sonido son los siguientes:

- Medidor de nivel sonoro
- Dosímetro
- Analizador de frecuencias

Medidor de Nivel Sonoro

Es un instrumento básico para toda medición acústica, tiene una gran variedad de usos, entre los cuales destacan los ruidos de maquinas, del transito y del medio ambiente. Es un instrumento indispensable para los higienistas industriales en la determinación de la aceptabilidad de ruidos.

El Medidor de nivel sonoro se puede acoplar con analizadores de espectro, registradores magnéticos o gráficos, con los que se amplía la gama de informaciones que puede brindar.

Los medidores de nivel sonoro están previstos de filtros correctores para distintas frecuencias.

Con un diagrama de bloques se ejemplifica mejor el funcionamiento del medidor de nivel sonoro, como se muestra en la figura 3.63.

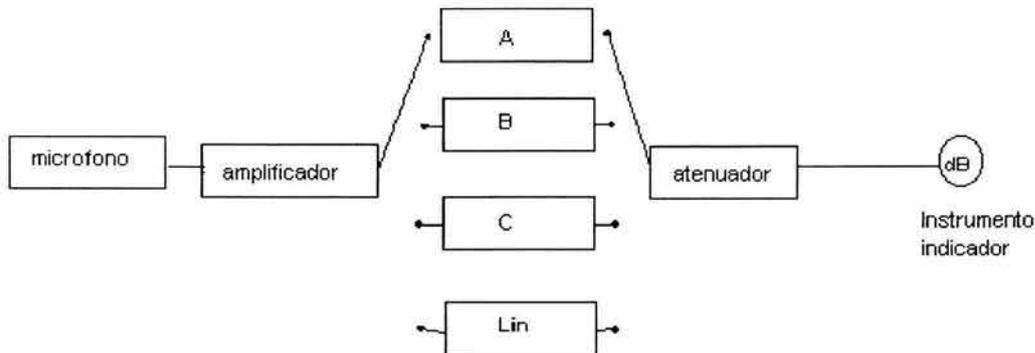


Figura 3.63. Diagrama de bloques de un medidor de nivel sonoro

El micrófono transforma las señales acústicas en tensiones eléctricas pasan por el amplificador, que está equipado con un atenuador calibrado en dB . Se ubican 3 filtros eléctricos A, B y C cuyas respuestas se asemejan a la respuesta del oído humano para ruidos de distintos niveles.

Las medidas de presión sonora, compensadas mediante los 3 filtros, se denominan dB (A), dB (B) o dB (C). Una gran cantidad de normas nacionales e internacionales se refieren a los dB (A) cuando se trata de calificar los niveles relacionados con la audición (niveles peligrosos o molestos), los dB (B) son los de niveles medios, los dB (C) se utiliza para niveles bajos.

El medidor de nivel sonoro permite apreciar valores de niveles sonoros proporcionales a la sensación auditiva que produce un determinado ruido.



Las lecturas abarcan el intervalo entre 20 y 140 dB . Estas lecturas son las correspondientes a la presión sonora, cuando el selector de compensación esta en posición "Lin" o sea lineal, en este caso todos los sonidos de distintas frecuencias pero de igual presión sonora producen la misma lectura en el instrumento, finalmente un instrumento indicador permite leer el nivel en dB .

En la figura 3.64 se muestra un medidor de nivel sonoro.



Figura 3.64. Medidor de nivel sonoro

Dosímetro

El dosímetro es un instrumento que permite calcular la dosis de ruido a la que esta expuesta una persona.

La exposición sonora se puede representar matemáticamente por la siguiente expresión:

$$Leq = 10 \log \left(\frac{1}{N} \right) 10^{h/10}$$

Leq es el nivel de exposición sonora

li es el nivel sonoro instantáneo

N es el número de mediciones instantáneas.

El dosímetro trabaja similar a un medidor de nivel sonoro integrador, acumula y procesa la información en el tiempo que ha estado funcionando. Físicamente, el dosímetro es de tamaño reducido para poder llevarse en el bolsillo de la camisa. Un cable extendido conecta el dosímetro al micrófono, que se suele llevar prendido al cuello de la camisa, de esa manera, el micrófono recoge señales similares a las que le llegan al oído de la persona que lo lleva, en la figura 3.65, se muestra un dosímetro.



Figura 3.65. Dosímetro

Analizador de Frecuencias

Este instrumento necesario para trabajos en acústica, el medidor del nivel sonoro proporciona una información integral del sonido, o del ruido, sin discriminar el nivel relativo en cada frecuencia, un ruido de un nivel elevado o de un tono puro puede ser muy peligroso para el oído si esta comprendido dentro del intervalo de 104 kHz. No obstante, la lectura del medidor de nivel sonoro puede no ser alterada mayormente por su presencia, o sea que la deflexión podría ser igual con este ruido o sin el.

El analizador puede medir el nivel de los ruidos comprendidos en una determinada banda de frecuencias prescindiendo del resto, para lo que contiene una serie de filtros de frecuencia variable y de mayor o menor agudeza, de acuerdo con sus especificaciones. Existe una gran variedad de tipos de analizadores, de acuerdo con sus características. Las diferencias fundamentales consisten por lo general en el ancho de banda que se utiliza. Al respecto existen 3 grandes grupos: analizadores de ancho de banda constante, de ancho de banda porcentual constante y de bandas nominales (octavas, medias y tercios), En la figura 3.66 se muestra como es un analizador de frecuencias



Figura 3.66. Analizador de frecuencias



4. FACTORES ACÚSTICOS

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta como identificar cuando y donde ocurrirán las cancelaciones acústicas en aplicaciones de un sistema de sonorización. Conociendo el concepto de cancelación acústica podemos implementar un sistema de sonorización eficiente y lo más fiable posible, donde el objetivo es reducir los efectos por la combinación e interacción entre bocinas, micrófonos y señales directas.

Los atrasos de tiempo y los desajustes de nivel por lo general se consideran al mismo tiempo para lograr disminuir los efectos de las cancelaciones acústicas significativamente.

También se contemplan los arreglos de bocinas, en los cuales pueden presentarse cancelaciones acústicas en un sistema de sonorización. Dentro de los arreglos de bocinas se describen sus características como son cobertura, nivel de presión sonora (SPL), distribución de nivel, distribución de respuesta en frecuencia y como se comporta el arreglo de bocinas al ser colocadas en un espacio acústico. Para implementar un arreglo de bocinas que tenga la mínima cancelación acústica se deben tener en cuenta las reflexiones producidas en el recinto.

4.1. CANCELACIONES ACÚSTICAS

El tema de cancelaciones acústicas se encuentra presente bajo cualquier interacción entre bocinas, bocinas y micrófonos, bocinas y espacios acústicos, etc. El entender las cancelaciones acústicas es la forma principal de acondicionar la respuesta de un sistema de sonorización.

Existen varias formas en las que se presentan las cancelaciones en un sistema de sonorización. En la figura 4.1 se muestran cuatro ejemplos comunes de



cancelaciones. El resultado final es el mismo en los cuatro ejemplos, es decir una cancelación, y esto afecta la respuesta en frecuencia del sistema, la respuesta de fase y la relación señal a ruido.

Las causas más comunes de cancelaciones acústicas son:

- Reflexión
- Interacción entre bocinas
- Interacción entre micrófonos
- Interacción entre señal directa y de micrófono

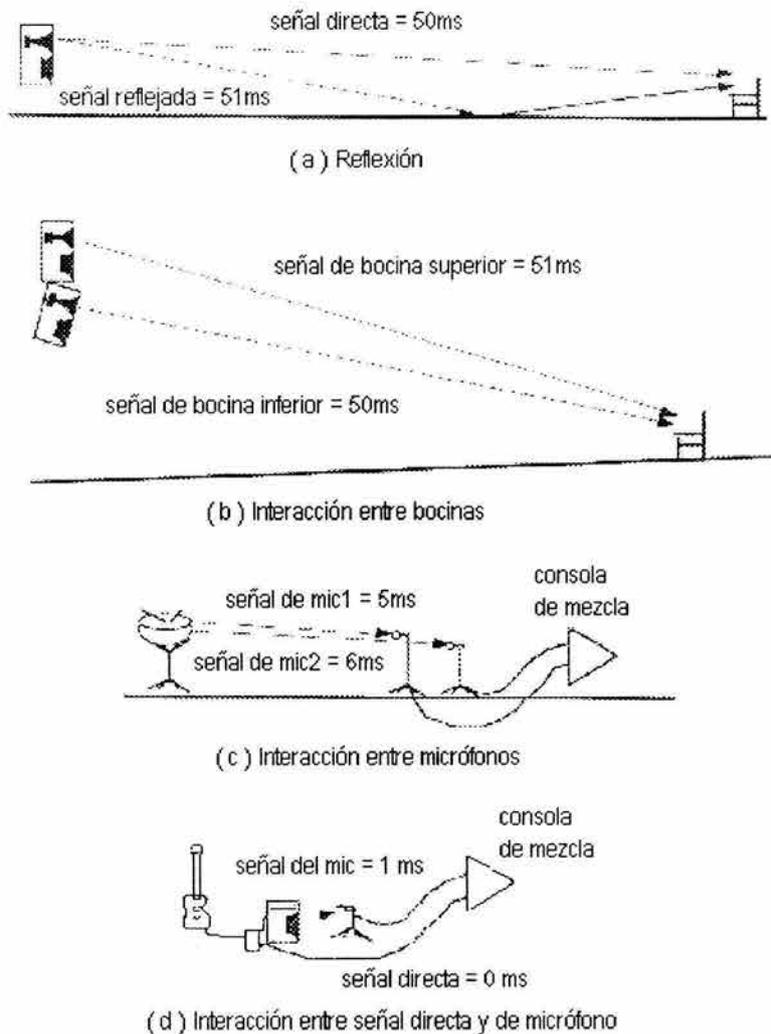


Figura 4.1. Ejemplos de cancelaciones acústicas

En la figura 4.1 (a) se muestra que existe 1ms de atraso de tiempo, entre el sonido directo y el reflejado esto causa cancelaciones acústicas con 1 kHz de frecuencia a lo largo de la posición de la persona, (b) se muestra 1 ms de atraso de tiempo, entre las dos bocinas, este arreglo causa cancelación acústica con 1 kHz, a lo largo de la



posición de la persona, (c) se muestra 1 ms de atraso de tiempo entre dos micrófonos en diferente posición. Esto causa cancelación acústica cuando las señales de los micrófonos son sumadas en la consola de mezcla, (d) se muestra 1ms de atraso de tiempo entre dos señales, una del micrófono y otra directa, causa cancelación acústica cuando las señales son sumadas en la consola de mezcla.

Existen dos factores que determinan de manera independiente la respuesta en frecuencia y la respuesta de fase de las cancelaciones, que son el nivel y la fase de la onda acústica de la señal reflejada con respecto a la original o del sonido directo. Para ambos factores se observa que:

- Cuando los niveles acústicos relativos se acercan a la unidad, es decir la relación de nivel acústico del sonido directo entre el nivel acústico del sonido indirecto, la magnitud de los picos y las pendientes de las señales aumentan en la gráfica de respuesta en frecuencia
- Al aumentar el atraso de tiempo, la frecuencia de la cancelación más audible disminuye

La frecuencia de cancelación se expresa de la siguiente manera:

$$f = \left(\frac{1}{T_0} \right)$$

La frecuencia de cancelación es:

$$\text{Si } T_0 = t_a$$

$$f_n = \left(\frac{1}{t_a} \right)$$

Donde:

f_n es la frecuencia de cancelación

t_a es el atraso de tiempo

La primera cancelación ocurrirá a media octava antes de la frecuencia de cancelación. Tomando en cuenta los ejemplos de las cancelaciones acústicas de la figura 4.1, donde todos los atrasos de tiempo son de 1 ms y aplicando la expresión de la frecuencia de cancelación, se tiene que la frecuencia de cancelación es:

$$f_n = \left(\frac{1}{0.001} \right)$$

$$f_n = 1000 \text{ Hz}$$

Entonces la primera cancelación será a partir de 500 Hz que es la media octava de 1 kHz.



Para la medición y visualización de la respuesta en frecuencia, la respuesta de fase, relación señal/ruido y atraso de tiempo de dos señales se usa un equipo RTA (Analizador de Tiempo Real), este equipo proporciona lecturas de alta resolución y exactitud, analizando la respuesta en frecuencia, la fase, y la señal / ruido con una resolución de 1/24 de octava y los atrasos de tiempo (Delayfinder) entre componentes con una precisión de $\pm 20 \mu\text{s}$.

La figura 4.2 muestra el tiempo de atraso entre la onda acústica directa y la indirecta o reflejada y tiene un atraso de 1 ms. La llegada de la señal directa y reflejada se muestra como picos discretos desplazados horizontalmente por 1ms. La señal atrasada señalada como eco se reduce ligeramente en amplitud por efectos de atenuación.

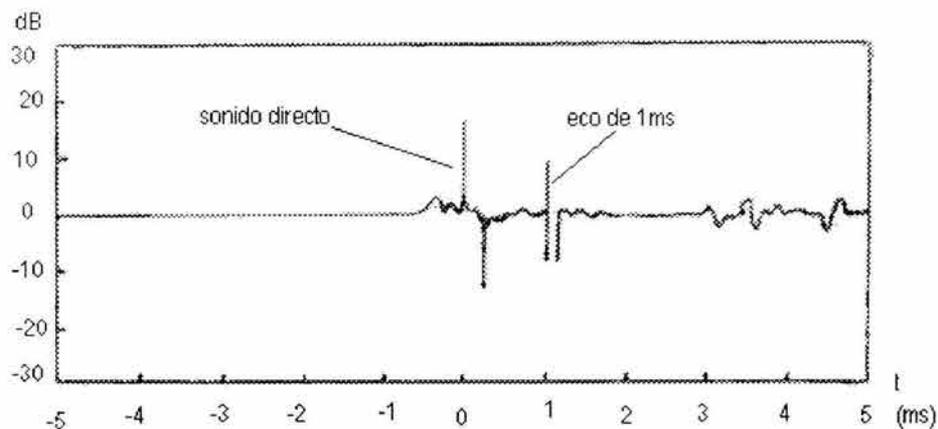


Figura 4.2. Respuesta del atraso de tiempo de las señales directa y atrasada "Delayfinder"

La figura 4.3 muestra la respuesta en frecuencia y fase de dos señales medidas por separado, antes de la suma. El intervalo de frecuencias altas de la señal atrasada ha sido ligeramente atenuado, se comienza a atenuar a 250 Hz, esto es similar a la absorción que puede presentarse en superficies suaves al momento de reflejar un sonido. La respuesta de fase revela el atraso de tiempo entre la señal directa y la señal atrasada, y se puede observar donde ocurrirán las sumas y las cancelaciones de la onda resultante. La suma máxima ocurrirá cuando se encuentren en fase las señales. Cuando las respuestas de fase se encuentren defasadas 120 grados, no existirán sumas ni cancelaciones. La cancelación acústica máxima ocurrirá cuando la respuesta de fase se encuentre a 180 grados.

La forma de onda de la respuesta de fase de la señal atrasada se mueve súbitamente de la parte inferior de la pantalla hacia la parte superior en 500 Hz, 1500 Hz, etc. Esta es una función de despliegue del RTA. Cuando la respuesta de fase alcance -180 grados (parte inferior de la pantalla) esta se transporta hacia $+180$ grados (parte superior de la pantalla) y hacia adelante. En 360 grados de cambios de fase el trazo ha regresado al centro de la pantalla (0 grados). Para esta aplicación dicho despliegue es preferible ya que es posible observar siempre la respuesta de fase relativa, de manera que muestre dónde ocurrirán las sumas y cancelaciones.

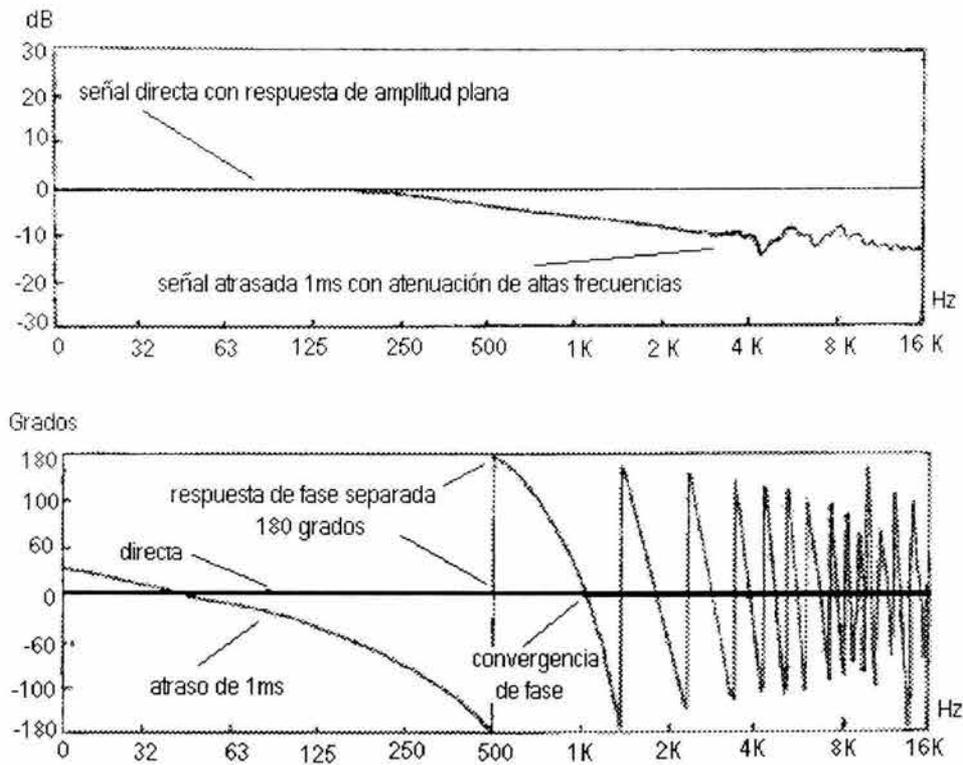


Figura 4.3. La respuesta en frecuencia y la respuesta de fase de las señales directa y atrasada medidas en forma separada

La respuesta en frecuencia y de fase sumada de las dos señales se muestra en la figura 4.4, donde se observa que las posiciones máxima y mínima se correlacionan con los defasamientos de las señales de la figura 4.3, donde la respuesta de fase se junta y se aleja respectivamente. Se observa también que la ondulación en la respuesta en frecuencia (su desviación sobre y debajo de 0 dB) disminuye al aumentar la frecuencia, esto es debido a la atenuación de altas frecuencias de la señal atrasada lo que incrementa el desajuste de nivel entre la señal directa y la señal atrasada.

Las frecuencias resultantes de la suma de las dos ondas tendrán una suma máxima o cresta al ser múltiplos enteros de la frecuencia de cancelación en este caso cada 1 kHz. La suma ocurre debido a que la relación de fase entre las dos señales es un múltiplo de 360 grados, resultando en una suma de fase. La cancelación máxima ocurrirá en un punto intermedio entre las sumas, en este caso a 500 Hz, 1500 Hz, 2500 Hz, etc. Esto es debido a la cancelación de fase que ocurre cuando las señales se encuentran separadas 180 grados.

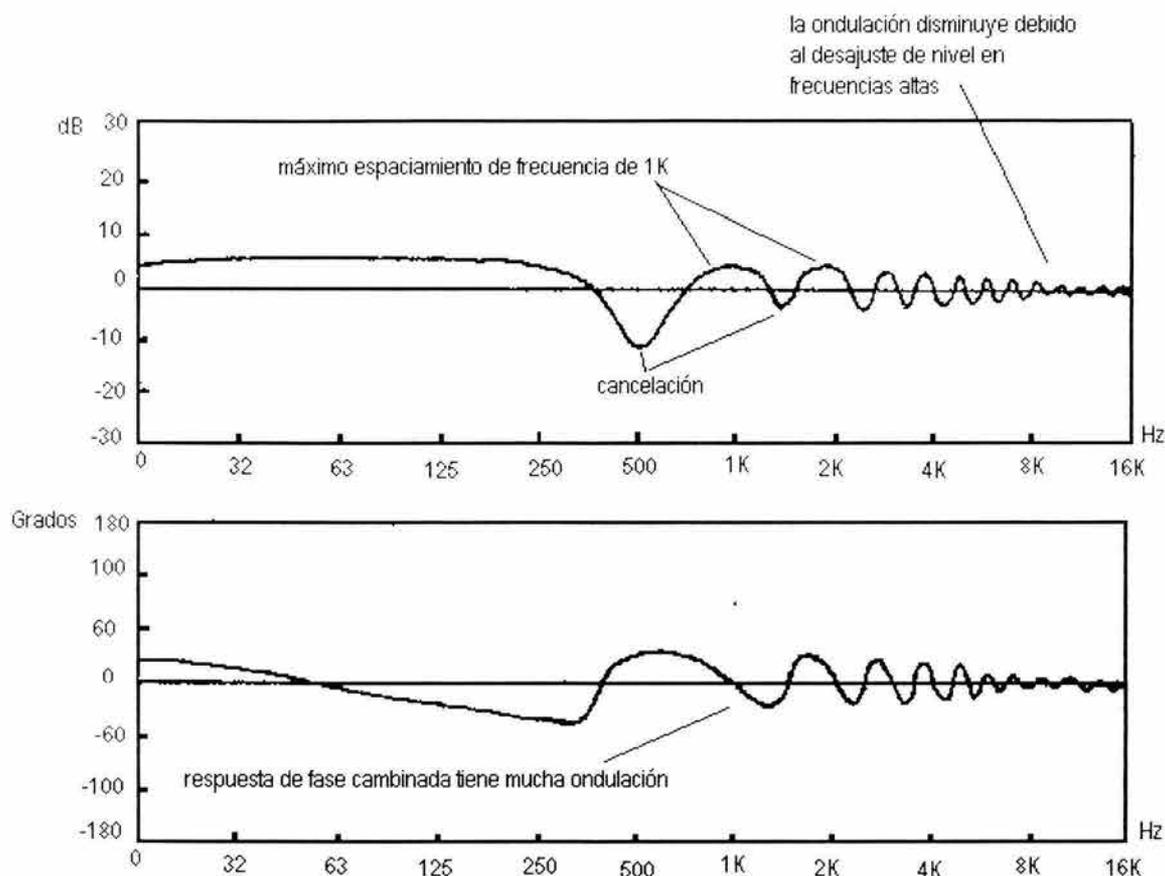


Figura 4.4. Respuesta en frecuencia y de fase de las señales directa y atrasada sumadas

Frecuencia de las Cancelaciones Acústicas

El término de cancelaciones acústicas parte del hecho de que los crestas y los valles de la señal se asemejan a las cerdas de un peine en una pantalla de eje de frecuencia lineal. Pero ya que la percepción humana del sonido responde logarítmicamente, la imagen del peine es engañosa cuando se visualiza el efecto del sonido de las cancelaciones acústicas. Para nuestros oídos el espaciamiento entre los picos y las cancelaciones no es nada constante. Cuando se observa en una escala logarítmica como en la figura 4.4, se ve tal como se escucha, con amplios picos en las frecuencias graves que se van comprimiendo al aumentar la frecuencia. Las frecuencias donde la cancelación acústica empezará dependen del atraso de tiempo. Mientras aumente el atraso de tiempo, la frecuencia de la primera cancelación disminuirá. Esto se muestra en las figuras 4.5 a 4.7. Es solamente la frecuencia de inicio donde ocurre la primera cancelación la que cambia con el atraso de tiempo. Arriba de la primera cancelación la forma de la respuesta es la misma, ilustrando como el mismo efecto de sonido se mueve a través del intervalo de audio mientras cambia el atraso de tiempo. En cada caso el segundo pico (este es el pico entre la primera y la segunda cancelación) tiene un ancho de 1 octava. Los picos



4. FACTORES ACÚSTICOS

sucesivos tienen un ancho de $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ de octava etc. Mientras aumenta el atraso de tiempo los picos y los valles son comprimidos hacia la izquierda pareciéndose al movimiento de un acordeón.

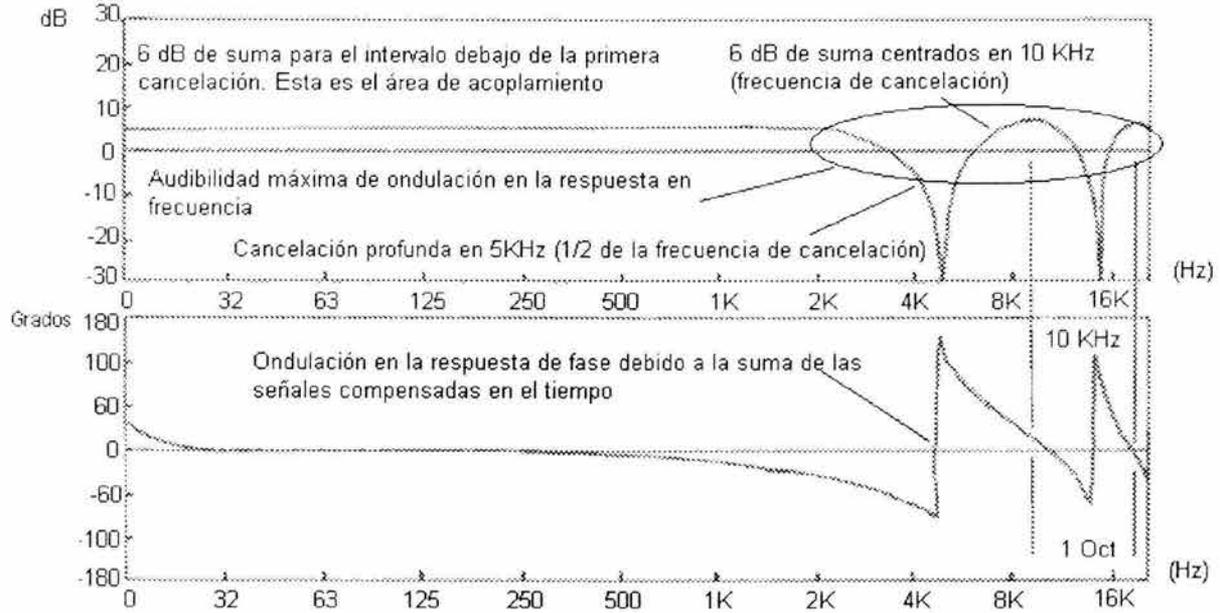


Figura 4.5. Cancelaciones acústicas con 0.1 ms de atraso de tiempo entre señales (0 dB de desajuste de nivel)

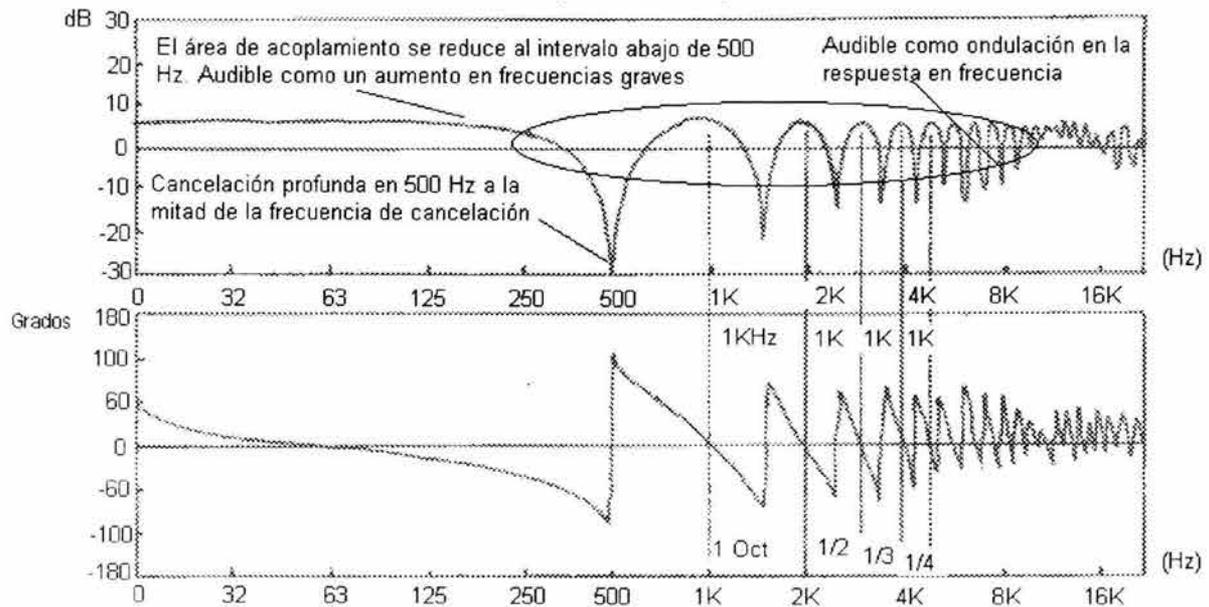


Figura 4.6. Cancelaciones acústicas con 1 ms de atraso de tiempo entre señales (0 dB de desajuste de nivel)

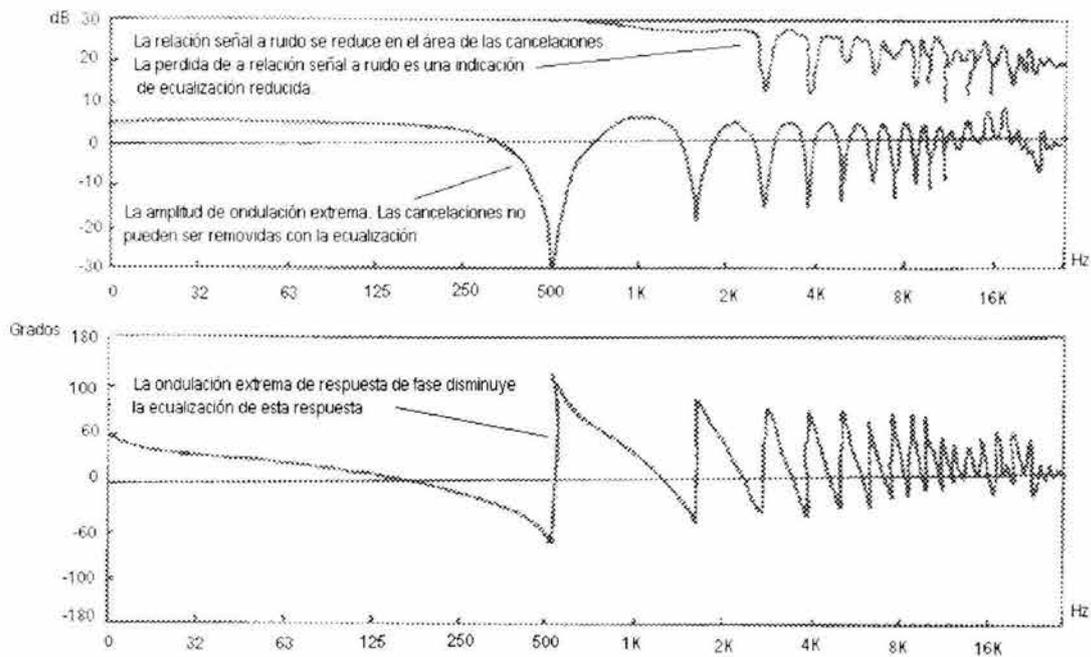


Figura 4.7. Cancelación acústica con 10 ms de atraso de tiempo entre señales (0 dB de desajuste de nivel)

Nivel de las Cancelaciones Acústicas

La suma máxima de 6 dB ocurre cuando dos señales de igual nivel se combinan. Este es uno de los aspectos potencialmente más positivo de la cancelación acústica. El ancho de banda de los picos y los valles es asimétrico, siendo los picos más anchos que los valles.

Mientras que el tamaño de los picos puede reducirse con ecualización, los valles son demasiado profundos y angostos para ser ecualizados prácticamente.

Al aumentar el desajuste de nivel, el tamaño de los picos y los valles se reduce y la pendiente de las formas del filtro se vuelve menos severa. Esto permite que el sistema sea más adaptable a ecualizar.

Para que la ecualización sea efectiva, el ecualizador debe tener ancho de banda y frecuencia media ajustables.

Una vez agotados los métodos de alineación del sistema (como reposicionar, ajustar atrasos y ajustar niveles) habrá usted minimizado los atrasos de tiempo y maximizado los desajustes de nivel. La ondulación en la respuesta que queda será solucionado ecualizando la señal. Sin embargo, no se puede corregir la cancelación acústica con frecuencias centrales fijas y componentes de ancho de banda tales como ecualizadores gráficos de $\frac{1}{3}$ de octava. Estos pueden tener, a lo más, un intervalo de frecuencia donde su ancho de banda coincida con la respuesta del sistema. Luego debe este intervalo de frecuencias caer dentro de una de las frecuencias centrales estándar de ISO. El ecualizador gráfico no puede crear la amplitud complementaria y la respuesta de fase del sistema a ser ecualizado. Por



esta razón, los ecualizadores paramétricos han sido empleados exclusivamente por usuarios de sistemas de alineación de alta resolución.

La figura 4.7 muestra el desajuste de nivel a 0 dB mientras en las figuras 4.8 y 4.9 se muestran el mismo atraso de tiempo (1 ms) con niveles relativos de 6 dB y 12 dB.

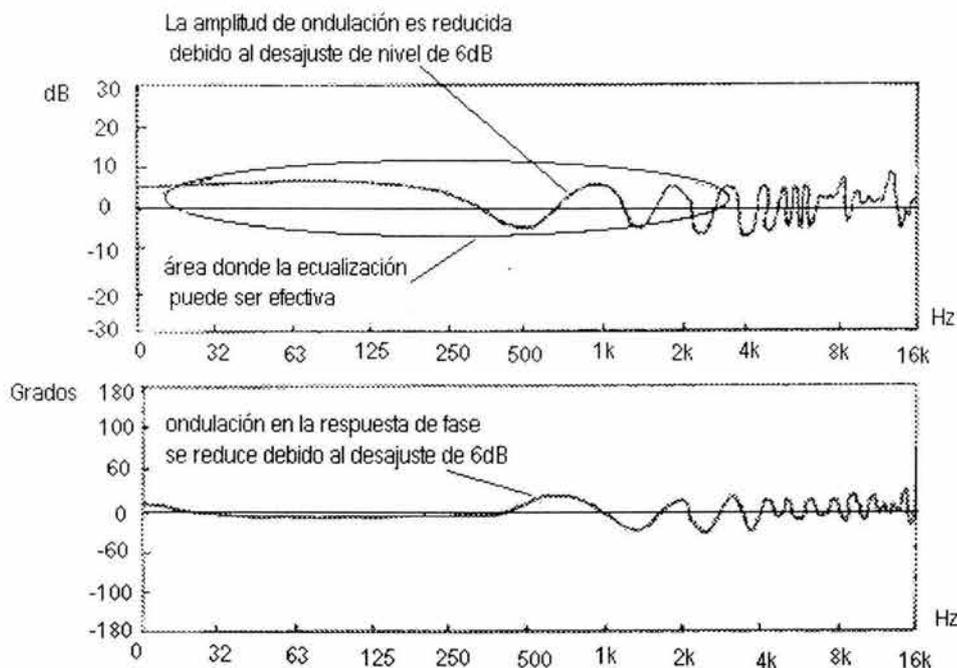


Figura 4.8. Muestra cancelaciones acústicas con 1 ms de atraso de tiempo entre señales (desajuste de nivel de 6 dB)

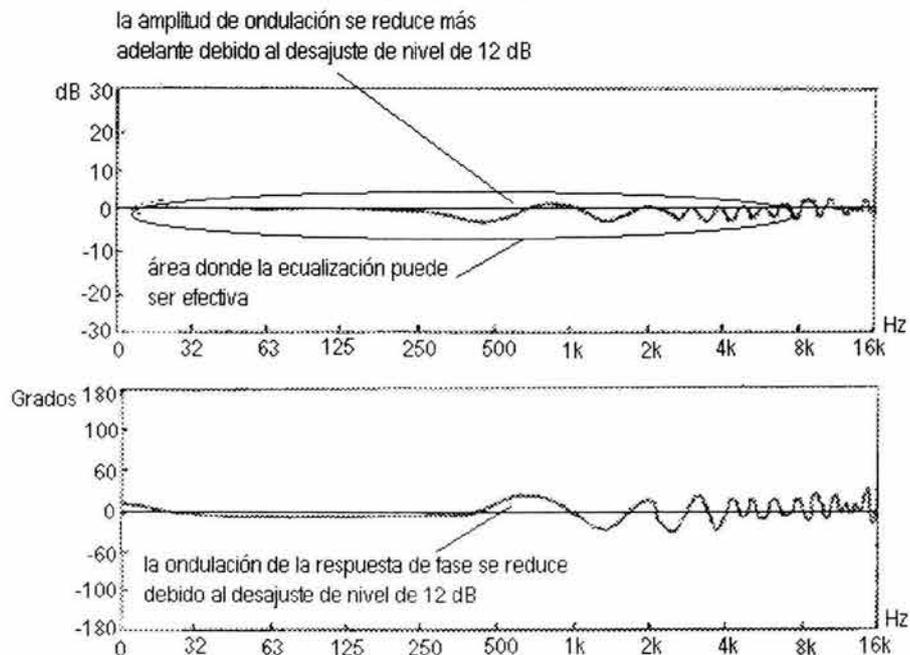


Figura 4.9. Muestra cancelación acústica con 1 ms de atraso de tiempo entre señales (12 dB de desajuste de nivel)



4.2 INTERACCIÓN ENTRE BOCINAS

La interacción entre sistemas de múltiples bocinas causará cancelaciones acústicas, por esta razón es importante que los sistemas se encuentren diseñados para un mínimo empalme entre los subsistemas de bocinas.

Una interacción típica entre bocinas se muestra en la Figura 4.10. El lóbulo inferior de la bocina superior llega hacia el área del público, desafortunadamente llega 1 ms tarde, y existirá un efecto llamado cancelación acústica tipo peine en el intervalo de medios y agudos.

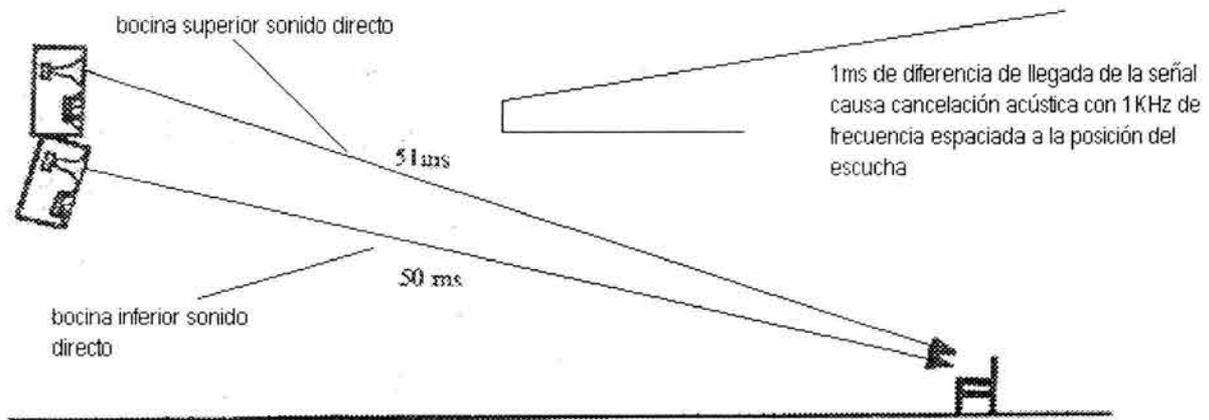


Figura 4.10. Interacción entre dos bocinas con atraso de tiempo de 1ms

La cantidad de atenuación axial dependerá del ángulo y del patrón de cobertura de la bocina contaminante. El atraso de tiempo de la propagación es resultado de tiempos de llegada diferentes entre bocinas. Esto podría ser favorable o desfavorable dependiendo de cual señal de la bocina llegue primero. La pérdida de propagación relativa y la pérdida en el aire de altas frecuencias se debe a la diferencia en la longitud de las trayectorias entre las bocinas.

Factores que Afectan la Interacción entre Bocinas

Acoplamiento: Ocurre cuando el atraso de tiempo y el desajuste de nivel se acercan a cero. En este caso las señales llegan en fase y pueden sumar hasta 6 dB máximo en el nivel de presión sonora. Esto es más fácil de lograr en arreglos de bajas frecuencias donde la longitud de onda es larga. Por lo tanto el desajuste físico de varios componentes no se vuelve demasiado grande y los frentes de onda se mantienen en fase. Esta técnica es usada para lograr suma de potencia en arreglos y para estrechar la cobertura.

Combinación: Aparece cuando el atraso de tiempo es bajo y el desajuste de nivel es alto, para lograr esto los componentes deben encontrarse muy próximos de aquí el atraso de tiempo pequeño pero debe tener un método para obtener un desajuste de nivel grande. Esto puede ser logrado utilizando sistemas de bocinas direccionales



acomodados como un punto de origen. Esta técnica es utilizada para ampliar la cobertura.

Cancelación: Ocurre cuando el atraso de tiempo es grande pero el desajuste de nivel es pequeño, esto ocurre cuando las bocinas se encuentran acomodadas con patrones de cobertura redundantes, tales como arreglos paralelos. Mientras esto nos puede dar una suma sustancial, muy dependiente de la posición y causa grandes variaciones en la respuesta en frecuencia y baja inteligibilidad. Esto debe evitarse.

Eco: Ocurre cuando el atraso de tiempo es grande y el aislamiento es bajo de manera que los sistemas suenen como fuentes discretas. Estos también causa grandes variaciones en la respuesta en frecuencia y baja inteligibilidad y debe ser evitado.

Reverberación: Cuando el atraso de tiempo es grande y el aislamiento es suficientemente grande de manera que la interacción suene como el carácter de decaimiento normal de una habitación. Si es mantenido al mínimo no afectará drásticamente la inteligibilidad del sistema. Esto es preferible en extremo a la cancelación o al eco.

Aislamiento: Acontece cuando el desajuste de nivel es lo suficientemente grande como para que la segunda bocina tenga un poco o ningún efecto audible sobre la respuesta de la primera bocina. Mientras el atraso de tiempo aumenta, mayor cantidad de desajuste de nivel será requerido para lograr el aislamiento lo cual es recomendable.

Consideraciones en los Arreglos de Bocinas

Los arreglos de bocinas implican constantes consideraciones entre los siguientes parámetros:

Cobertura: Al aumentar el empalme la cobertura se estrecha y al disminuir el empalme la cobertura disminuye.

SPL en el eje: Al aumentar el empalme, el nivel de presión sonora sobre el eje aumenta significativamente. Al disminuir el empalme el nivel de presión sonora sobre el eje no aumenta mucho.

Distribución de nivel: Al aumentar el empalme, la distribución del nivel se vuelve muy variable, mas notablemente en la forma de (hot spots) en el área central. Al disminuir el empalme la distribución de nivel se vuelve más suave.

Distribución de la respuesta en frecuencia: Al aumentar el empalme, la distribución de respuesta en frecuencia se vuelve muy variable. Al disminuir el empalme la distribución de respuesta en frecuencia se vuelve más suave.



Ecualización: Cualquier arreglo es ecualizable en un solo punto. Se asume que el objetivo es proveer una curva de ecualización que sea conveniente para una amplia parte del área de cobertura, de esta manera los arreglos con patrones de distribución constante responderán mejor.

Interpretación de los Arreglos de Bocinas

En los arreglos de bocinas que se muestran a continuación se realiza el estudio comparativo de la interacción entre ellas, monitoreando la respuesta en cada uno de los 8 arreglos de bocinas con un patrón de cobertura de 80 grados. Tomando en cuenta los siguientes aspectos.

Interpretación de las figuras en los arreglos

Las posiciones representan los puntos de 10 grados desde (-40 grados hasta +40 grados) sobre un arco a una distancia de 8 metros de la bocina. Una línea se dibuja desde la segunda bocina representando su señal de llegada dentro del área de cobertura de la primera. Las figuras se encuentran sombreadas para representar la extensión de la interferencia, con sombras progresivamente más oscuras representando una interferencia mayor, lo que causa grandes cantidades de ondulación de la respuesta en frecuencia.

Interpretación de las tablas en los arreglos

Los atrasos de tiempo y los desajustes de nivel entre las bocinas se muestran en la tabla debajo de cada figura. El cálculo del atraso de tiempo se basa en las diferencias en la distancia de propagación y la atenuación axial. Esto a su tiempo produce ondulación en la respuesta en frecuencia. Mientras aumenta el atraso de tiempo, más grande será la ondulación.

El atraso de tiempo determina el intervalo de la frecuencia más afectado por la interacción. La frecuencia donde ocurre la primera cancelación se muestra en la tabla debajo de cada figura de los arreglos.

Arreglos de Bocinas

Existen 8 tipos básicos de arreglos de bocinas los cuales son:

- Arreglos estrechos de punto de origen
- Arreglos amplios de punto de origen
- Arreglos separados de punto de origen
- Arreglos en paralelo
- Arreglos separados estrechos en paralelo
- Arreglos separados amplios en paralelo
- Arreglos de fuego cruzado estrechos
- Arreglos separados de fuego cruzado



Cada arreglo tiene diferentes ventajas y desventajas, y la mayoría son convenientes para alguna aplicación en particular.

A continuación se describen cada uno de estos arreglos.

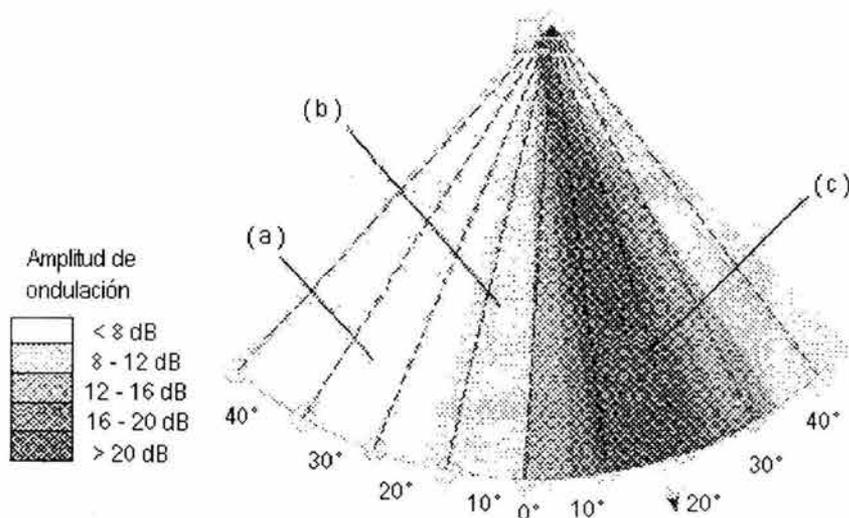
Arreglos Estrechos de Punto de Origen

Cuando dos bocinas se encuentran acomodadas en un arco en donde los patrones individuales de las bocinas son más amplios que el ángulo del arreglo. Esto resulta en un estrechamiento del patrón (entre puntos de -6 dB).

Los arreglos de cobertura estrecha pueden ser construidos colocando las bocinas en forma adyacente. Dichos arreglos tenderán a aumentar la potencia sobre el eje pero tendrán un menor efecto de amplitud en la cobertura del que se puede esperar sobre una sola unidad, y puede incluso estrechar el patrón de cobertura. Estos sistemas son altamente interactivos porque los módulos se encuentran acomodados en ángulos más cerrados que los ángulos de cobertura individual. Esto se muestra en la figura 4.11.

El punto sobre el eje del arreglo contiene la mayoría del empalme, causando una suma sustancial en la presión sobre el eje, cuando se separa del eje de empalme, la suma de presión disminuye al moverse hacia los extremos. Ya que el ángulo de cobertura se especifica con la relación de la presión sobre el eje, la suma ahí puede causar que el ángulo disminuya aun con la suma de las bocinas.

La acumulación sobre el eje puede ser reducida mediante la técnica de disminución de amplitud la que ampliará la cobertura del arreglo. En el inciso (a) de la figura 4.11 se observa que los extremos solo ven la suma de medios. Las regiones de medios y agudos se encuentran aisladas, (b) al moverse fuera del área de empalme la ondulación se reduce. El sistema relativamente se ecualiza en esta área debido al atraso de tiempo. (c) el centro tiene la máxima suma de potencia. El área de empalme al salir del centro tiene una respuesta de agudos altamente variable.





	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	1.1 ms	1 ms	0.8 ms	0.65 ms	0.45 ms	0.1 ms	0.1 ms	0.3 ms	0.5 ms
primera cancelación	455 Hz	500 Hz	625 Hz	769 Hz	1.1 kHz	5 kHz	5 kHz	1.6 kHz	1 kHz
desajuste de nivel	6.4 dB	8.3 dB	8.8 dB	6.7 dB	4.2 dB	1 dB	0 dB	2.1 dB	6.2 dB
ondulación	9 dB	6.5 dB	6 dB	8.5 dB	11.5 dB	24 dB	30 dB	19 dB	9 dB

Figura 4.11. Arreglo de cobertura estrecha de punto de origen

Las características de este tipo de arreglo son:

- Cobertura: La acumulación central provoca que el área entre los puntos de -6 dB se estreche
- SPL sobre el eje: Suma máxima
- Distribución de nivel: Suma grande en el área central, menor en los lados. Buen acoplamiento de graves y medios
- Distribución de respuesta en frecuencia: El área de empalme grande crea un área amplia con mucha ondulación alrededor del centro, más suave a los lados
- Ecuación: No se ecualiza bien en el área de empalme central

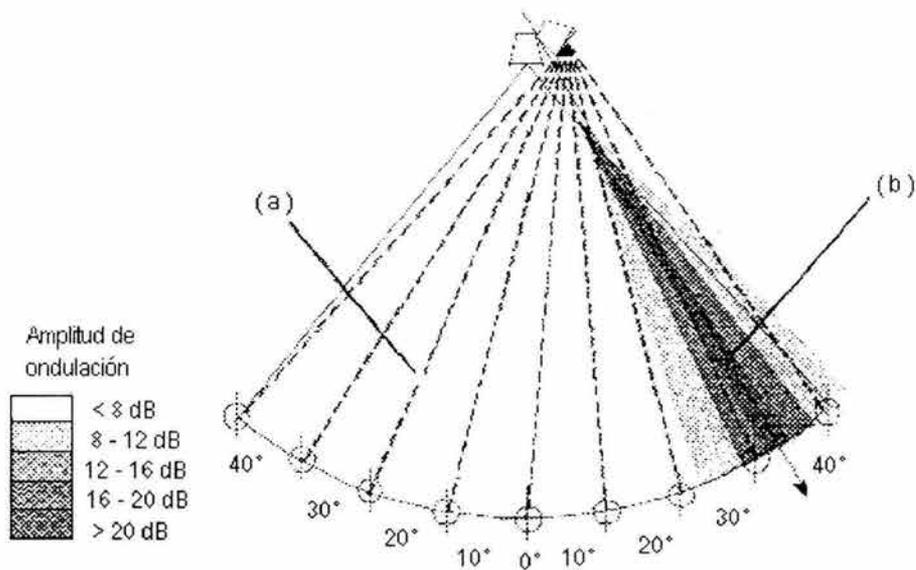
Donde usarlo: Aplicaciones de tiro largo, cuando el ángulo deseado de cobertura es menor que el de una sola bocina.

Arreglos Amplios de Punto de Origen

Este tipo de arreglos se presenta cuando dos bocinas se acomodan en un arco en donde los patrones individuales de ambas bocinas se aproximan al ángulo del arreglo. Esto resulta en una ampliación del patrón (entre los puntos de -6 dB).

Un método alternativo para lograr un arreglo de punto de origen de amplia cobertura consiste en separar las partes frontales de las bocinas. Esto reduce el área de empalme en el centro y distribuye la energía sobre un área mayor. Esta configuración claramente tiene menos ondulación que cualquier configuración de arreglo de bocinas. Esto da una respuesta en frecuencia más consistente y por tanto, la más ecualizable.

En el inciso (a) de la figura 4.12 las áreas de los lados ven solamente suma en graves. Las regiones de medios y agudos se encuentran aisladas. La mayoría del área de cobertura tiene muy poca ondulación y una alta ecualización, (b) el centro presenta una suma máxima de potencia, el área de empalme central tiene una respuesta de agudos altamente variable. No trate de ecualizar en esta área.



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	2.2 ms	2.1 ms	1.7 ms	1.5 ms	1.1 ms	0.7 ms	0.3 ms	0.1 ms	0.25 ms
primera cancelación	227 Hz	238 Hz	294 Hz	333 Hz	455 Hz	714 Hz	1.6 kHz	5 kHz	2 kHz
desajuste de nivel	12.7 dB	13.7 dB	14.6 dB	13 dB	11.4 dB	9.2 dB	7.1 dB	2 dB	5.1 dB
Ondulación	4 dB	3.5 dB	3.5 dB	4 dB	4.5 dB	6 dB	8 dB	19 dB	10 dB

Figura 4.12. Arreglo amplio de punto de origen

Las características de este tipo de arreglo son:

- Cobertura: Acumulación central mínima, por lo tanto el patrón se amplía
- SPL sobre el eje: Suma mínima
- Distribución de nivel: Suave debido a la ausencia de empalme
- Distribución de respuesta en frecuencia: Un área pequeña de empalme da un área estrecha con mucha ondulación alrededor del centro. Es muy suave excepto en el área central
- Ecuilización: Responde muy bien, excepto en el área central

Donde usarlo: Cuando el ángulo de cobertura deseado es mayor que el de una sola bocina.

Arreglos Separados de Punto de Origen

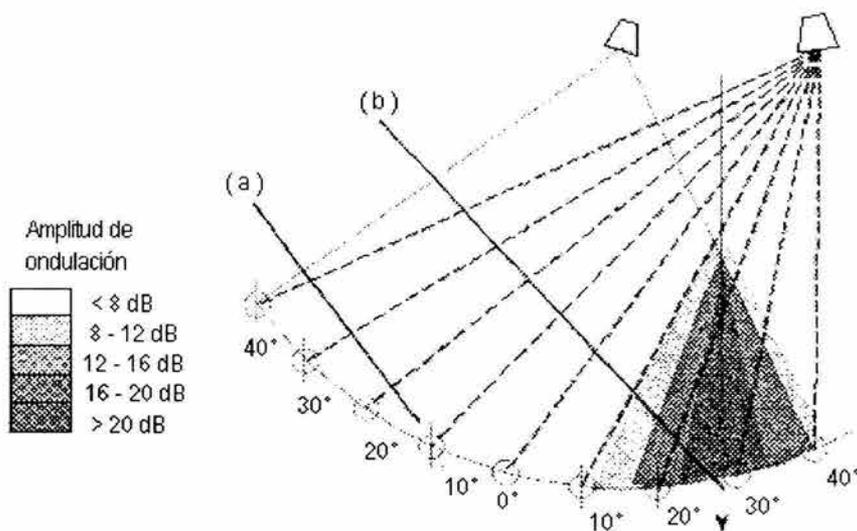
Cuando las bocinas se acomodan en un arco extendido simularán una sola bocina puntual. Este tipo de arreglos es todavía relativamente consistente, pero le falta un acoplamiento en bajas frecuencias.



Un arreglo alternativo para sistemas de patrón amplio es el de punto de origen separado. Las bocinas pueden ser colocadas juntas y alcanzar un empalme mínimo utilizando la atenuación axial de las bocinas. Este tipo de arreglo trabajará mejor si la cobertura tiene forma de arco. La profundidad del área de cobertura puede ser mayor que para los arreglos paralelos ya que el ángulo entre las bocinas mantiene el área de empalme relativamente pequeña.

Las áreas de empalme tienen un desajuste de nivel mayor que en el arreglo separado estrecho en paralelo, esto reduce la ondulación y mejora el aislamiento mostrado en la figura 4.13.

Estos tipos de arreglos pueden ser ecualizados de manera efectiva en el área sobre el eje de una de las bocinas, se debe evitar ecualizar la señal en el área de empalme de las bocinas. En el inciso (a) de la figura 4.13 al movernos hacia los extremos la diferencia de atenuación axial aumenta el aislamiento, (b) el punto de origen separado tiene un aislamiento mucho mejor que el arreglo separado estrecho en paralelo.



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	9 ms	8.2 ms	7 ms	6 ms	4.5 ms	3 ms	1.4 ms	0.6 ms	2.4 ms
primera cancelación	56 Hz	61 Hz	71 Hz	83 Hz	111 Hz	167 Hz	357 Hz	833 Hz	208 Hz
desajuste de nivel	9.7 dB	12.5 dB	13.1 dB	11.9 dB	9.4 dB	7.5 dB	3 dB	0.7 dB	6.8 dB
ondulación	5 dB	4 dB	4 dB	4 dB	5 dB	8 dB	14.5 dB	26 dB	8 dB

Figura 4.13. Interacción de un arreglo separado de punto de origen

Las características de este tipo de arreglo son:

- Cobertura: Amplia



- SPL en el eje: El mismo que con una sola bocina más una suma mínima en el área central. El acoplamiento de graves será mínimo
 - Distribución de nivel: Buena
 - Distribución de respuesta en frecuencia: Las bocinas actúan independientemente. El área de empalme es mucho menor que con los arreglos separados en paralelo
 - Ecuación: La interacción es solo ecualizable en frecuencias muy bajas donde el arreglo se asemeja a una sola fuente. Los intervalos de frecuencias graves y medios deben ser solo ecualizados como fuentes individuales
- Dónde usarlo: Aplicaciones de relleno donde la profundidad de cobertura es muy corta y amplia.

Arreglos en Paralelo

Cuando dos bocinas se acomodan en un plano paralelo. Los patrones se empalman y crean una respuesta altamente inconsistente, como se muestra en la figura 4.14.

Este tipo de arreglo tiene empalme máximo. Sin embargo, mientras el atraso de tiempo aumenta el desajuste de nivel no aumenta, esto causa cancelaciones altamente variables. El alinear las bocinas en una fila con orientación horizontal provocará una respuesta de frecuencia desigual en el área del público, es decir, una cobertura redundante. Mientras dichos arreglos pueden generar grandes cantidades de potencia acústica, la cobertura redundante formara grandes cantidades de cancelaciones, provocando respuestas pobres ante la ecualización.

Se observa en la siguiente tabla que los atrasos de tiempo son relativamente bajos, sin embargo, no existe virtualmente ningún desajuste de nivel en ninguna posición ya que la orientación axial es casi la misma para ambas bocinas en cualquier posición, esto resulta en demasiada ondulación en frecuencias altas (agudos).

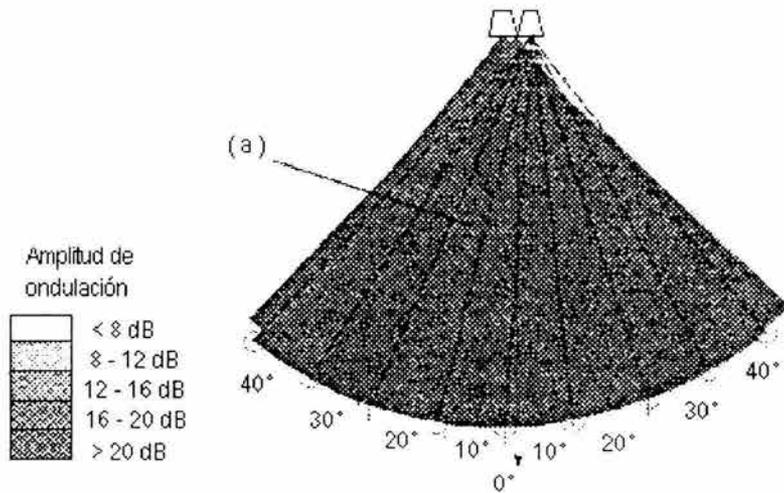
La configuración paralela es útil solo para componentes de frecuencias graves donde el efecto de acoplamiento puede resultar útil. En este caso el atraso de tiempo es lo suficientemente pequeño como para que la primera cancelación se encuentre sobre el punto de corte de frecuencias altas de los subwoofers.

En el inciso (a) de la figura 4.14 el desajuste de nivel es demasiado bajo. Esto provoca una respuesta en frecuencia altamente dependiente de la posición a lo largo de toda el área de cobertura, es ecualizable para solo un punto.

Las características de este tipo de arreglo son:

- Cobertura: Misma cobertura que con una sola bocina
- SPL en el eje: Suma máxima
- Distribución de respuesta en frecuencia: Cada posición tiene su respuesta en frecuencia particular, la ondulación de agudos es severa en todas las posiciones
- Ecuación: Se puede ecualizar solamente para un punto. La ecualización deberá ser severa para rectificar el sistema

Donde usarlo: Solo en subwoofers



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	1.2 ms	0.8 ms	0.7 ms	0.4 ms	0.06 ms	0.04 ms	0.7 ms	1 ms	1 ms
primera cancelación	417 Hz	625 Hz	714 Hz	1.2 kHz	8.3 kHz	12.5 kHz	714 Hz	500 Hz	500 Hz
desajuste de nivel	0.4 dB	0.3 dB	0.2 dB	0.1 dB	0 dB	0 dB	0.2 dB	0.3 dB	0.3 dB
ondulación	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB

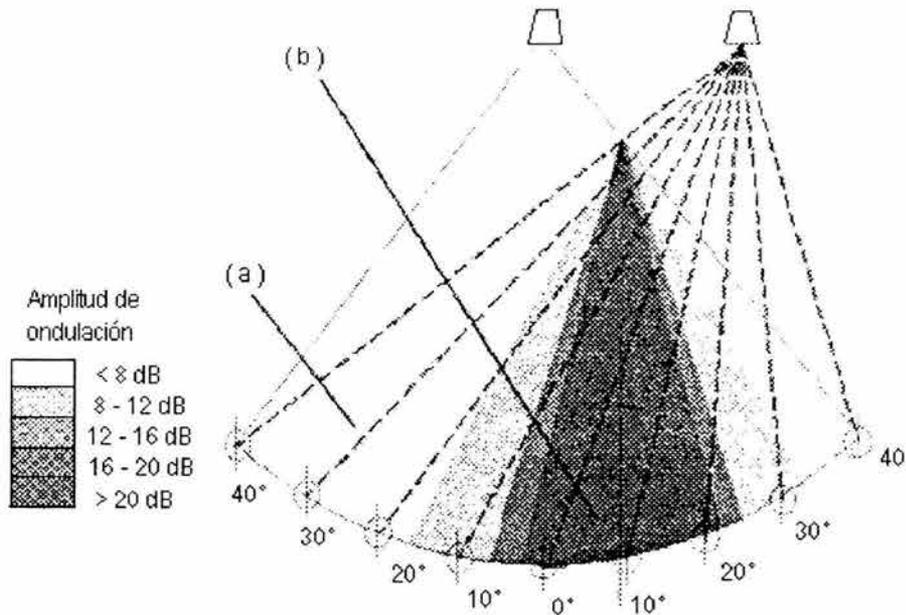
Figura 4.14. Arreglo en paralelo

Arreglos Separados Estrechos en Paralelo

Los arreglos separados estrechos en paralelo son utilizados comúnmente para sistemas de cobertura de relleno. Este tipo de arreglo trabajará mejor si la profundidad de cobertura es pequeña, permitiendo una distribución de nivel suave sobre un área mayor. La clave para usar este tipo de arreglo es minimizar las zonas de empalme, las cuales son propensas a una ondulación severa.

La respuesta es variable y la ondulación es profunda. El mejor método para trabajar con este arreglo es simplemente desactivar una de las bocinas y ecualizar para la interacción bocina / habitación de la bocina activa. Luego reactivar la otra bocina.

Los ejemplos siguientes muestran lo que sucede cuando la profundidad de cobertura es demasiado profunda. Las áreas de empalme tienen atrasos de tiempo muy grandes y una ondulación alta, se muestra en la figura 4.15. Esto provoca una inteligibilidad muy baja y una respuesta en frecuencia altamente variable. En el inciso (a) de la figura 4.15 al moverse hacia los extremos no existe mucha diferencia en la atenuación axial relativa. Esto mantiene la ondulación alta aun en los extremos. Existe combinación a través de toda la región de graves, (b) el atraso de tiempo es demasiado bajo. Existen cancelaciones profundas a través de los intervalos de medios y agudos.



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	7.5 ms	6 ms	5 ms	3.5 ms	2 ms	0.37 ms	1.3 ms	3.1 ms	5 ms
primera cancelación	67 Hz	83 Hz	100 Hz	143 Hz	250 Hz	1.3 KHz	385 Hz	161 Hz	100 Hz
desajuste de nivel	5.3 dB	6.9 dB	7.6 dB	3.1 dB	1.2 dB	0.1 dB	0.4 dB	3 dB	7.6 dB
ondulación	10 dB	8 dB	7.5 dB	14.5 dB	24 dB	30 dB	30 dB	14.5 dB	8 dB

Figura 4.15. Interacción de un arreglo separado estrecho en paralelo

Las características de este tipo de arreglo son:

- Cobertura: Amplia
- SPL en el eje: Causa suma en área central
- Distribución de respuesta en frecuencia: Muy pobre. El área grande de empalme tiene atrasos grandes de tiempo causando una ondulación profunda dentro del intervalos de graves. La combinación de frecuencias cambia muy rápidamente al movernos fuera del centro
- Ecuilización: La interacción es solo ecualizable en frecuencias muy bajas donde se parece más a una sola fuente. Los intervalos de medios y agudos solamente deben ser ecualizados como fuentes individuales y no como un sistema combinado

Donde usarlo: En aplicaciones de relleno donde la profundidad de cobertura es pequeña y amplia.

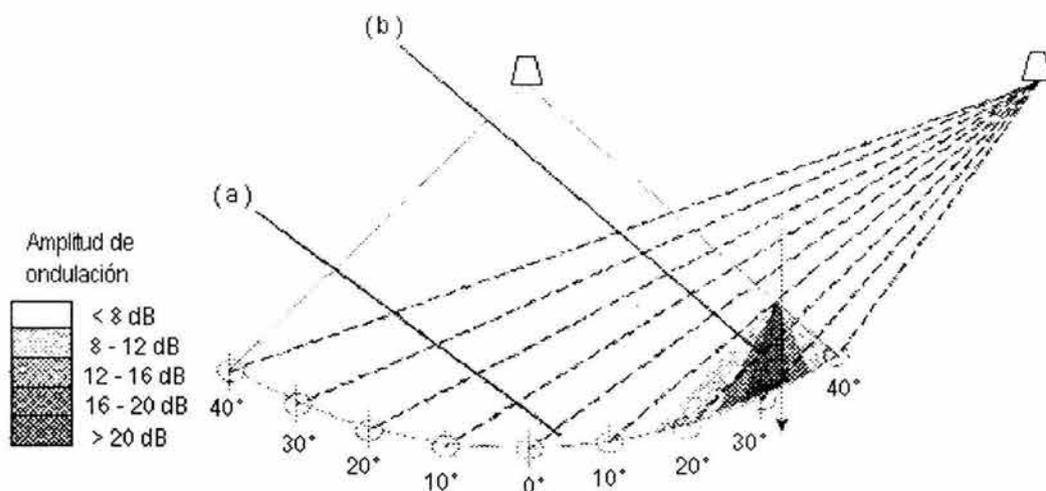


Arreglos Separados Amplios en Paralelo

Cuando se utiliza la distancia apropiada entre bocinas este tipo de arreglo trabajará bien, considerando que la profundidad de cobertura es pequeña. Esto provoca una distribución de nivel suave sobre un área amplia y zonas mínimas de empalme.

Este tipo de arreglos pueden ser ecualizados muy efectivamente en el área sobre el eje de una de las bocinas. No intente ecualizar en las zonas de empalme) figura 4.16.

El siguiente ejemplo muestra lo que sucede cuando la extensión de la cobertura es baja. Las áreas de empalme son pequeñas, dejando a la mayoría del área de cobertura con ondulación muy baja. En el inciso (a) de la figura 4.16, al moverse hacia los extremos la diferencia en la pérdida de la propagación y la atenuación axial dan un buen aislamiento, (b) el área de empalme es pequeña, el atraso de tiempo es relativamente pequeño.



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	22 ms	20 ms	17.5 ms	15 ms	11.5 ms	8.5 ms	5 ms	1.3 ms	3.5 ms
primera cancelación	23 Hz	25 Hz	29 Hz	33 Hz	43 Hz	59 Hz	100 Hz	385 Hz	143 Hz
desajuste de nivel	10.5 dB	13.1 dB	14.6 dB	12.1 dB	10.8 dB	9 dB	7.6 dB	1.4 dB	5.1 dB
ondulación	5 dB	4 dB	3.5 dB	4 dB	4 dB	6 dB	8 dB	22 dB	10 dB

Figura 4.16. Interacción de un arreglo separado amplio en paralelo

Las características de este tipo de arreglo son:

- Cobertura: Amplia
- SPL en el eje: El mismo que con una sola bocina más una audición mínima en el centro. El acoplamiento de graves será mínimo.



- Distribución de nivel: Buena
- Distribución de respuesta en frecuencia: Las bocinas actúan independiente. Existirá ondulación en el área de empalme pero el área sobre el eje tendrá un aislamiento suficiente para que la ondulación sea baja
- Ecuación: La interacción es solo ecualizable en frecuencias muy bajas donde se parece mucho a una sola fuente. Los intervalos de medios y agudos deben ser solo ecualizados como fuentes individuales y no como un sistema combinado

Donde usarlo: En aplicaciones de relleno donde la profundidad de cobertura es muy corta y amplia.

Arreglos de Fuego Cruzado Estrechos

Este tipo de arreglo se presenta cuando dos bocinas se acomodan de manera que los patrones se cruzan directamente al frente de la trompeta. Esto conlleva a mayor interferencia en comparación con el punto de origen.

Los arreglos de fuego cruzado estrechos funcionan en forma similar a los arreglos de punto de origen estrechos pero tiene demasiadas cancelaciones. No existen ventajas de los arreglos de fuego cruzado sobre los de punto de origen.

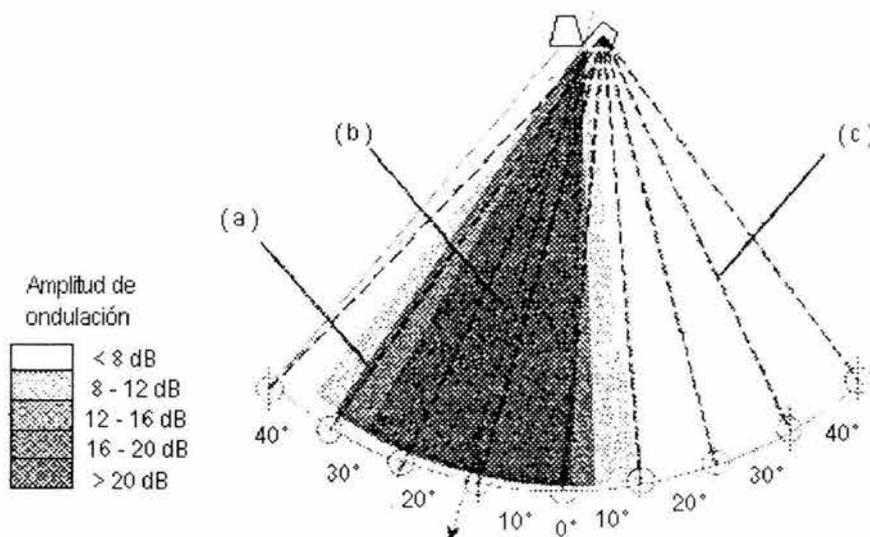
Se observa que en la Figura 4.17, la zona de empalme cubre la mayoría del área de cobertura de la bocina principal. Esto provoca una gran cantidad de suma de potencia en el área central. Comparando los atrasos de tiempo con los desajustes del arreglo de punto de origen estrecho descritos anteriormente se nota que son consistentemente mayores que los del arreglo de punto de origen estrecho, debido a que se crea una área mayor de cancelaciones en el área central. En el inciso (a) de la figura 4.17 el poco aislamiento con un atraso de 1 ms provoca cancelaciones en la banda media, (b) el atraso de tiempo es muy bajo. Esto provoca una respuesta muy dependiente de la posición, no es ecualizable, (c) los patrones de empalme reducen el aislamiento, los atrasos de tiempo son pequeños. Marginalmente ecualizable.

Las cancelaciones en este tipo de arreglo son profundas y altamente variables haciendo difícil encontrar una solución de ecualización que pudiera funcionar para más de una posición.

Las características de este tipo de arreglo son:

- Cobertura: La acumulación central provoca un estrechamiento del área entre los puntos de -6 dB
- SPL en el eje: Suma máxima
- Distribución de respuesta en frecuencia: Pobre, la mayoría del área central tiene demasiada ondulación
- Ecuación: Pobre, existe una alta variabilidad a través del área de cobertura

Donde usarlo: Los arreglos de fuego cruzado solo se utilizan para espacios pequeños, en casos donde se quiera tener más nivel de presión sonora y menos fidelidad.



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	1.4 ms	1 ms	0.6 ms	0.2 ms	0.2 ms	0.65 ms	0.9 ms	1.6 ms	1.9 ms
primera cancelación	357 Hz	500 Hz	283 Hz	2.5 kHz	2.5 kHz	769 Hz	556 Hz	313 Hz	263 Hz
desajuste de nivel	6.5 dB	2.3 dB	0.2 dB	0.1 dB	1.1 dB	5.2 dB	7.3 dB	7.5 dB	5.6 dB
ondulación	9 dB	17.5 dB	30 dB	30 dB	24 dB	10 dB	8 dB	8 dB	10 dB

Figura 4.17. Interacción del arreglo de fuego cruzado

Arreglos Separados de Fuego Cruzado

Funciona de forma contraria al arreglo de punto de origen. El punto focal es el punto de destino central de las bocinas. Este tipo de arreglo es útil cuando se quiere cubrir un área central desde los lados. Esto, sin embargo, produce un sonido muy inconsistente en el área central se recomienda usar este arreglo en áreas pequeñas. La respuesta de los arreglos separados de fuego cruzado es la más variable de todos los arreglos separados. Debe de tomarse mucha precaución al diseñar estos arreglos en su sistema. Este tipo de arreglo tiene áreas extremadamente grandes de empalme y tiene una atenuación axial muy pequeña.

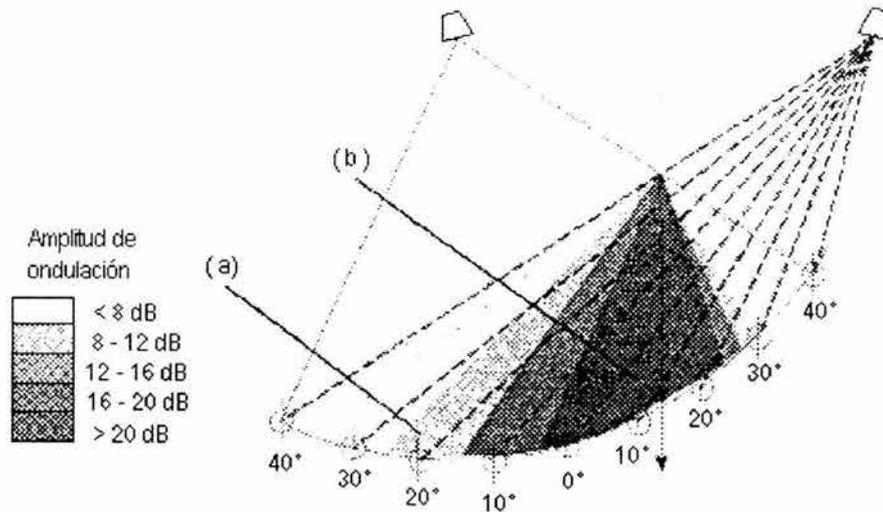
El mejor uso de estos arreglos es para aplicaciones en relleno. La clave es minimizar el nivel para estos sistemas de manera que solamente el área central sea cubierta. Entre más grande sea el área cubierta, menor será la combinación.

Se puede notar una semejanza de este tipo de arreglo con la configuración estéreo estándar. Los sistemas estéreo contienen diferentes señales para los canales izquierdo y derecho (L & R). Por lo tanto, la interacción es al azar debido a la diferencia de señales, esto es normal para estéreo, de cualquier forma, si la señal se panea al centro, la interacción ocurrirá como se muestra en la figura 4.18. En el inciso (a) al moverse hacia los extremos se mantiene la posición sobre el eje de las dos bocinas. La baja pérdida de propagación da un aislamiento pobre. Los atrasos



de tiempo son muy grandes creando una cancelación de intervalo completo, (b) los atrasos de tiempo aumentan rápidamente pero el desajuste de nivel es mínimo. Existen cancelaciones profundas.

El mejor método para este tipo de arreglo es simplemente desactivar una bocina y equalizar la interacción bocina / habitación de la restante. Después reactivar la otra bocina.



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	16.6 ms	14 ms	11 ms	8 ms	4.5 ms	1.5 ms	2 ms	6 ms	10 ms
primera cancelación	30 Hz	36 Hz	45 Hz	63 Hz	111 Hz	333 Hz	250 Hz	83 Hz	50 Hz
desajuste de nivel	8.4 dB	5.9 dB	3.2 dB	2.4 dB	1.4 dB	0.5 dB	0.7 dB	3.9 dB	8.9 dB
ondulación	7 dB	9 dB	14.5 dB	17 dB	22 dB	30 dB	28 dB	12 dB	6 dB

Figura 4.18. Interacción de un arreglo separado de fuego cruzado

Las características de este tipo de arreglo son:

- Cobertura: Angosta
- SPL en el eje: Suma máxima
- Distribución de nivel: Área de acumulación central grande
- Distribución de respuesta en frecuencia: Cada posición tiene su respuesta en frecuencia propia. La ondulación en agudos es severa justo fuera del centro, moviéndose hacia abajo en frecuencia mientras el escucha se mueve a los lados

Donde usarlo: Para cubrir un área central cercana. La profundidad de cobertura debe mantenerse al mínimo o el empalme excesivo causará cancelaciones profundas.



4.3 REFLEXIONES

Una superficie reflejante puede ser identificada como una bocina fantasma con otro punto de origen que añade energía en el área de cobertura. Al igual que en el caso de la interacción entre bocinas, la energía reflejada puede ser útil. Si el atraso de tiempo y desajuste de nivel de la energía reflejada es muy bajo, se tendrá acoplamiento. En el caso de colocar dos bocinas (subwoofers), en el piso o en una esquina la energía reflejada duplica o cuadruplica la eficiencia de la bocina.

Por lo tanto no es aconsejable colocar bocinas de agudos junto al piso, ya que el atraso de tiempo es muy alto y en lugar de producir acoplamiento produce cancelaciones.

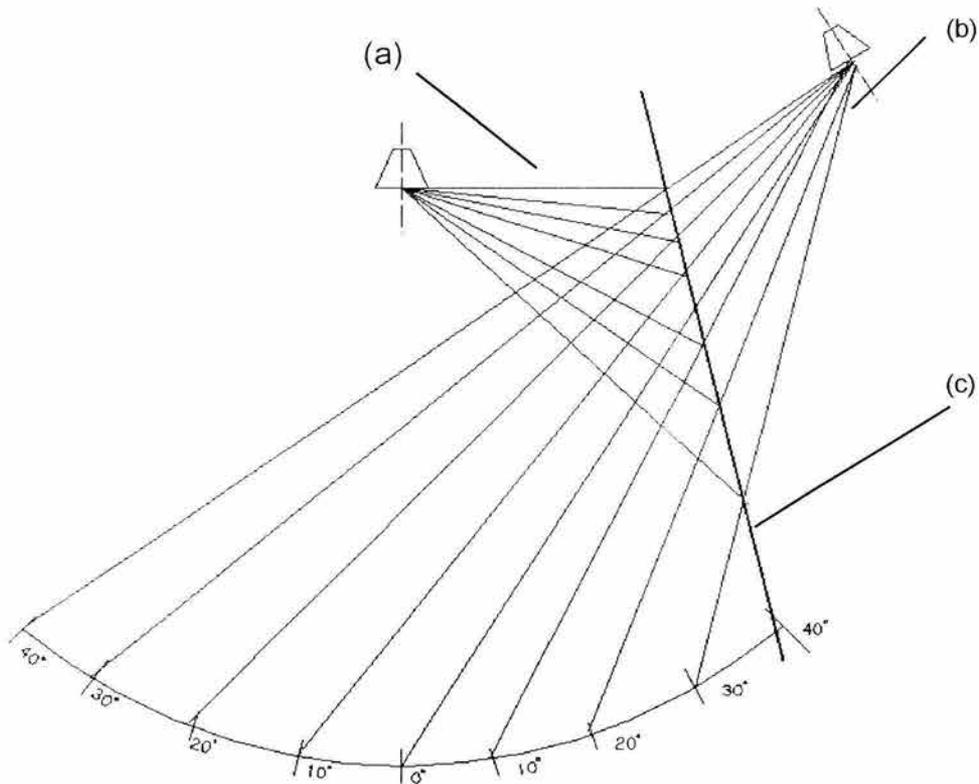
El coeficiente de absorción de una superficie es un factor determinante en el nivel de sonido reflejado, y su correspondiente ondulación así como el ángulo entre la bocina, la pared y la persona que escucha, estos factores, se considera que entre más alineada este el eje de la bocina con respecto a la superficie reflejante, puede existir mayor ondulación.

A continuación se mostrarán estos efectos de reflexión, de tal forma, que se proporcione una fácil comprensión de estos efectos, en las superficies reflejantes; para ejemplificar esta visualización, se considerarán los siguientes factores, se tendrá en cuenta que la bocina referenciada tiene patrón de cobertura de 80 grados, y considerando que el coeficiente de absorción en todas las frecuencias es cero, aunque esto no es posible en teoría, este efecto puede ocurrir de manera regular en las salas de concierto, en todo caso los planteamientos presentados mostrarán los peores casos.

Efecto Grazing

Este efecto ocurre cuando la bocina está alejada del plano de la superficie, ocasionando que solo lleguen a la superficie las señales externas de la bocina, lo que incrementa la atenuación axial de la reflexión, este efecto se presenta generalmente en las paredes laterales y techos de los teatros y actúa como una segunda bocina atenuada, por lo que su comportamiento es aceptable, sin embargo el desajuste aumenta al alejarse la bocina de la superficie, sin embargo este efecto solo es perceptible en la zona central de la sala, es importante hacer notar también, que este efecto tiene buena ecualización, mostrándose un atraso de tiempo solo al alejarse de la pared.

Se muestra en la figura 4.19 el efecto de este tipo de reflexión. En el inciso (a) de la figura 4.19 las reflexiones tienen mucha atenuación axial creando buen aislamiento, (b) la bocina fantasma produce el efecto de un arreglo separado de punto de origen, (c) al acercarse a la pared la diferencia axial disminuye causando incremento en la ondulación.



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	44 ms	40 ms	36 ms	32 ms	26 ms	20 ms	15 ms	60 ms	0.0025 ms
primera cancelación	11 Hz	13 Hz	14 Hz	16 Hz	19 Hz	25 Hz	33 Hz	8 kHz	200 kHz
desajuste de nivel	14 dB	16.2 dB	16.4 dB	15.6 dB	14.1 dB	12.1 dB	10.1 dB	10.1 dB	0 dB
ondulación	3.5 dB	2.5 dB	2.5 dB	3 dB	3.5 dB	4 dB	5 dB	5 dB	30 dB

Figura 4.19. Reflexión en el Efecto Grazing

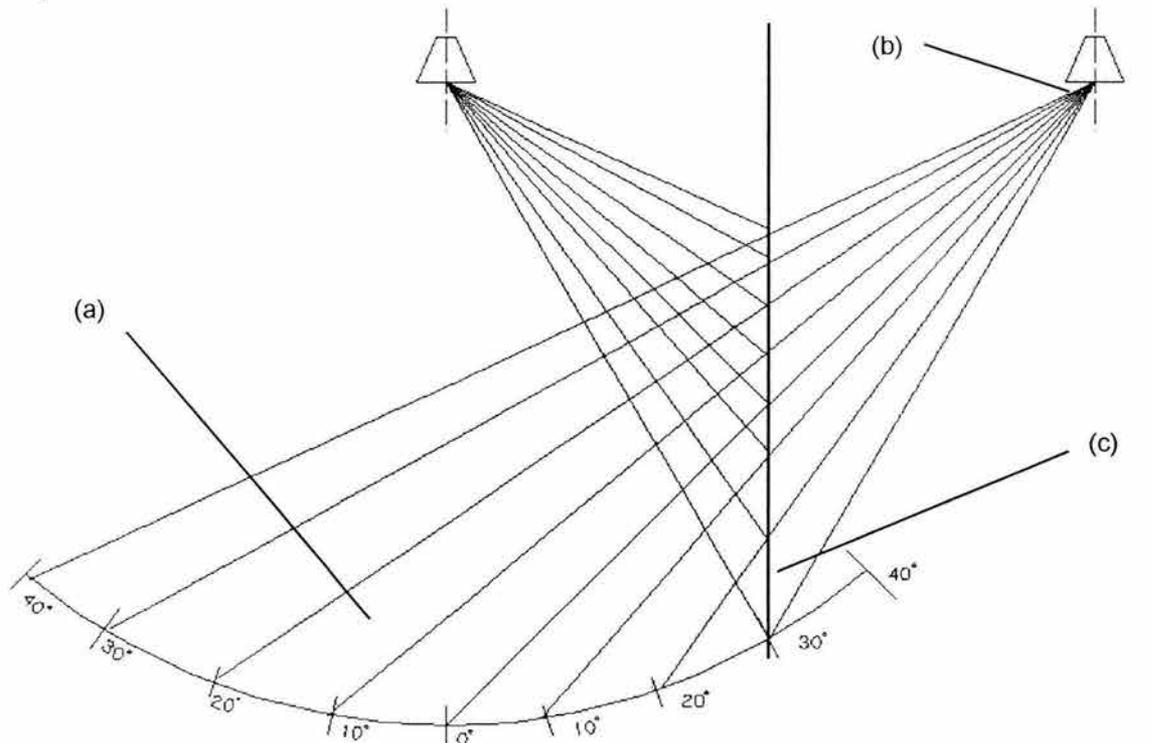
Las características de este tipo de reflexión son:

- El área del eje de la bocina debe tener poca ondulación debido básicamente a la gran diferencia de atenuación axial entre el sonido directo y el reflejado. Al aumentar el ángulo grazing la ondulación disminuye debido al incremento de atenuación axial de la ruta reflejada
- Equivalente de interacción de bocinas: Arreglos separados de punto de origen
- Distribución de respuesta en frecuencia: Al acercarse a la pared la frecuencia de cancelación y la ondulación aumentan. Los atrasos de tiempo son altos en el centro, pero la ondulación es muy baja
- Ecualización. Buena ecualización en el eje de la bocina, poca ecualización al acercarse a la pared



Reflexiones en Pared Lateral

Este efecto, se presenta cuando la superficie reflejante se encuentra en paralelo al eje de la bocina, esta alineación crea un equivalente a la interacción de bocinas, este tipo de reflexiones presenta un atraso de tiempo considerable, proporcional a la distancia que exista entre la superficie y la bocina, es decir que al acercarse a la superficie este efecto disminuye, debido a esto al aumentar la frecuencia el tiempo de desajuste aumenta, o suficiente para producir cancelaciones de señal, es de notar que este desajuste no implica al nivel de potencia de la señal. En el inciso (a) de la figura 4.20 el área central tiene mucho atraso de tiempo pero poca ondulación. Esta área puede ser ecualiza, (b) la bocina fantasma produce el efecto de un arreglo separado en paralelo, (c) al moverse hacia los lados el atraso de tiempo disminuye, pero la diferencia axialmente el sonido directo y reflejado disminuye, como resultado existe poco desajuste de nivel, por lo que la ondulación se incrementa al acercarse a la pared.



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	62 ms	56 ms	48 ms	40 ms	31 ms	22 ms	13 ms	0.025 ms	ms
primera cancelación	8 Hz	9 Hz	10 Hz	13 Hz	16 Hz	23 Hz	38 Hz	20 kHz	Hz
desajuste de nivel	10.2 dB	12.8 dB	13.3 dB	11.7 dB	10 dB	8.2 dB	6.4 dB	0 dB	dB
ondulación	5 dB	4 dB	4 dB	4.5 dB	5 dB	8 dB	9 dB	30 dB	dB

Figura 4.20. Reflexiones de Pared Lateral



Las características de este tipo de reflexión son:

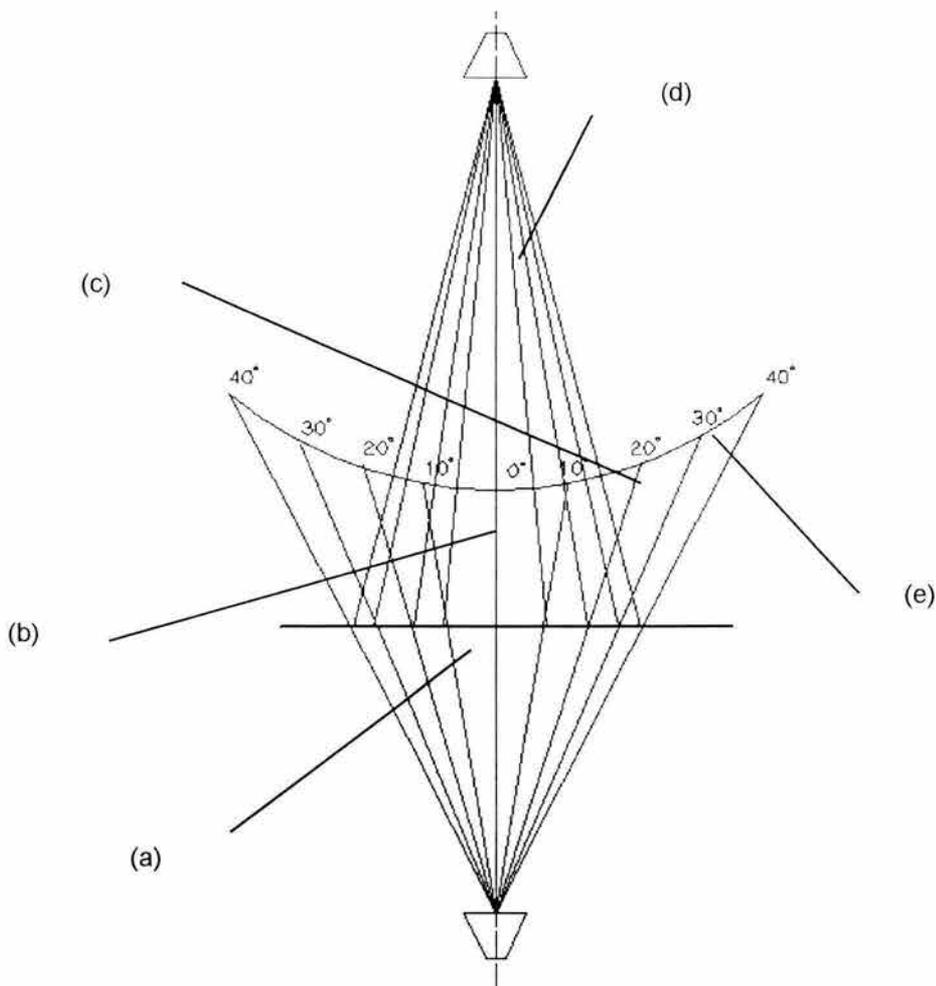
- Los principales factores son la proximidad de la pared, la cobertura deseada y el ángulo de cobertura de la bocina. Si se desea mucha cobertura, la bocina deberá estar alejada de la pared o deberá ser mas direccional
- Equivalente de interacción de bocinas: Arreglos en paralelo (cuando se encuentra junto a la pared), Arreglos separados amplios en paralelo si la cobertura es estrecha y la pared se encuentra lejos de la bocina (o si la bocina es de dispersión estrecha), Arreglos separados estrechos en paralelo si la cobertura es muy amplia y la pared se encuentra cerca o si la dispersión de la bocina es amplia
- Distribución de respuesta en frecuencia: Al acercarse a la pared el atraso de tiempo disminuye pero la ondulación aumenta. El área central posee buen asilamiento (si la pared no se encuentra muy cerca, o la bocina no es de dispersión amplia)
- Ecuilización. Aumenta al acercarse al eje de la bocina y disminuye al acercarse a la pared.

Reflexiones de Pared al Frente

Esta es una de las situaciones menos favorables, el principal factor de este fenómeno es la proximidad con la pared. ya que por la posición de la pared con respecto al eje de la bocina elimina cualquier diferencia de atenuación entre el sonido directo y el reflejado; por lo tanto, al acercarse a la pared la frecuencia de cancelación aumenta, la ecualización aumenta al acercarse a la bocina y disminuye al acercarse a la pared como lo muestra la figura 4.21, en el inciso (a) de la figura 4.21 las reflexiones no tienen atenuación axial relativa con el sonido directo, (b) la ondulación aumenta al acercarse a la pared de enfrente, (c) esta es de las menos favorables situaciones de reflexiones, y es la que mas necesita de materiales absorbentes para poder controlarse, (d) la ondulación disminuye al acercarse a la bocina, (e) al desplazarse hacia los lados el atraso de tiempo se incrementa y tampoco existe diferencia axial entre el sonido directo y reflejado. Esto mantiene la ondulación alta.

Las características de este tipo de reflexión son:

- El principal factor es la proximidad con la pared, la posición con respecto al eje es secundaria debido a que no existirá diferencia de atenuación axial entre el sonido directo y reflejado
- Distribución de respuesta en frecuencia: Al acercarse a la pared la frecuencia de cancelación aumenta, pero la ondulación disminuye. Es muy variable cerca de la pared
- Ecuilización: La ecualización aumenta al acercarse a la bocina pero disminuye al acercarse a la pared.



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	75 ms	65 ms	57 ms	52 ms	50 ms	52 ms	57 ms	65 ms	75 ms
primera cancelación	7 Hz	8 Hz	9 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz	9 Hz	8 Hz	7 Hz
desajuste de nivel	0 dB	3.4 dB	4.9 dB	4.6 dB	4.4 dB	4.6 dB	4.9 dB	3.4 dB	0 dB
ondulación	30 dB	13 dB	10 dB	11 dB	11 dB	11 dB	10 dB	13 dB	30 dB

Figura 4.21. Efecto de la pared de enfrente

Reflexiones de Esquinas

Las reflexiones de esquinas son lo opuesto a las reflexiones grazing. El ángulo de la superficie es invertido de tal manera que refleja la energía hacia el eje de la bocina. Esta reflexión se comporta como un arreglo separado de fuego cruzado, y presenta altos atrasos de tiempo y poco aislamiento, este efecto puede acrecentarse en superficies curvas, este fenómeno desconcierta debido al efecto acústico de varios



puntos de origen, es decir se genera un efecto parecido a varios susurros en una galería.

Una de las situaciones más comunes de las reflexiones de esquinas se presenta en la pendiente entre la estructura del techo y las paredes de enfrente de muchas salas de concierto. La parte más alta del patrón vertical de la bocina puede alcanzar la esquina trasera y reflejarse hacia abajo hacia los asientos de atrás, lo que reduce la inteligibilidad.

Uno de los aspectos primordiales de este tipo de reflexión es que uno puede encontrarse más en el eje de la reflexión que el sonido directo. La posición de 40 grados hacia la izquierda de la figura muestra que aunque el atraso de tiempo es de 100 ms, el desajuste de nivel es muy bajo.

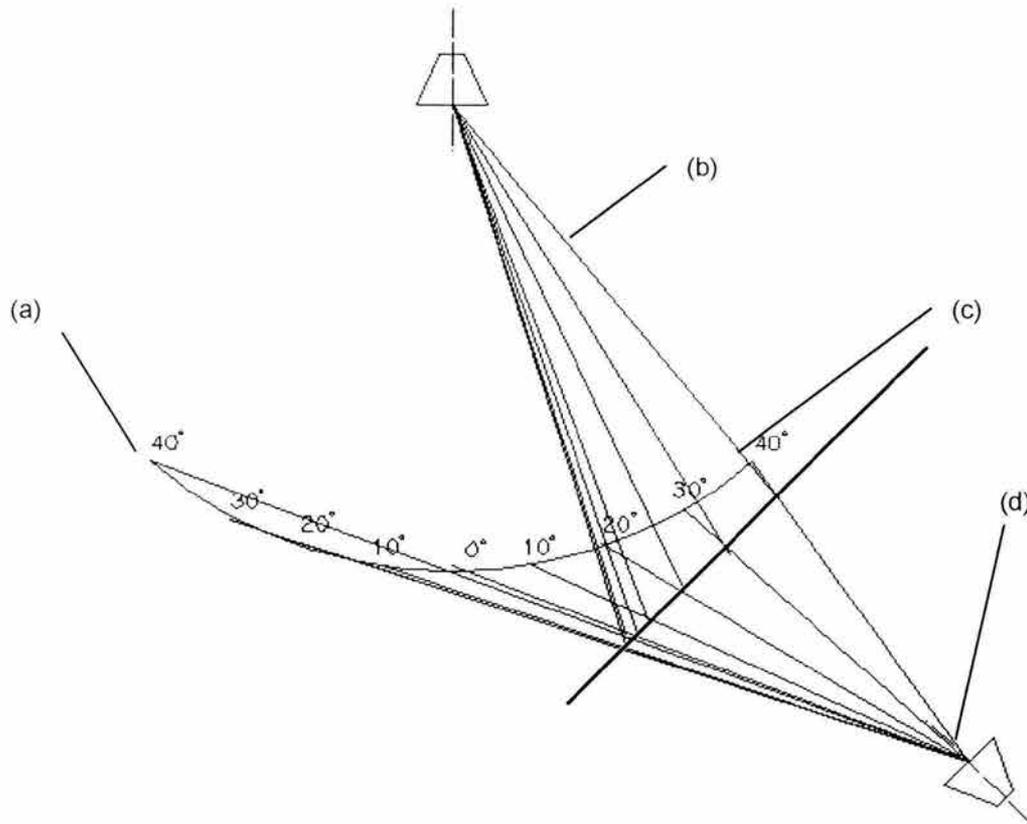
Los factores principales son el tamaño del área angulada y su orientación con respecto a la bocina, es decir que entre mayor sea el área angulada y el ángulo de la superficie sea muy cercano al área del eje de la bocina el efecto genera peores resultados como se muestra en la figura 4.22.

Al moverse al área de cobertura de la bocina de izquierda a derecha el atraso de tiempo disminuye, pero la ondulación no, su ecualización es considerablemente decadente.

En el inciso (a) de la figura 4.22 el tiempo de la reflexión es muy largo, pero se encuentra más en el eje que el sonido reflejado. Esto produce demasiada ondulación y eco demasiado audible, (b) las frecuencias de las cancelaciones varían al desplazarse, la respuesta en frecuencia es altamente variable, (c) no existe diferencia en atenuación axial entre el sonido directo y reflejado. (d) la bocina fantasma produce el efecto de un arreglo separado de punto de origen.

Las características de este tipo de reflexión son:

- Los factores principales son el tamaño del área angulada y su orientación con respecto a la bocina. Entre mayor sea el área angulada y el ángulo de la superficie sea muy cercano al área del eje de la bocina el resultado es malo
- Equivalente de interacción de bocinas: Arreglo separado de punto destino
- Distribución de respuesta en frecuencia: Al moverse al área de cobertura de la bocina de izquierda a derecha el atraso de tiempo disminuye pero la ondulación no lo que crea una respuesta extremadamente inconsistente
- Ecualización: Es pobre, hay que intentar mayor absorción, reposicionamiento de bocinas.



	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
atraso de tiempo	101 ms	90 ms	76 ms	64 ms	50 ms	40 ms	29 ms	22 ms	16 ms
primera cancelación	5 Hz	6 Hz	7 Hz	8 Hz	10 Hz	13 Hz	17 Hz	23 Hz	31 Hz
desajuste de nivel	1.4 dB	4.8 dB	6.1 dB	5.4 dB	4.4 dB	4.2 dB	4.3 dB	4.2 dB	1.7 dB
ondulación	21 dB	10 dB	9 dB	9.5 dB	11 dB	11 dB	11 dB	11 dB	20 dB

Figura 4.22. Reflexiones de esquinas



5. CONSIDERACIONES PARA SONORIZAR UN ESPACIO ACÚSTICO

INTRODUCCIÓN

En el diseño de un sistema sonoro se deben considerar factores para obtener un sistema de sonido óptimo el cual abarque el área de audiencia con el nivel de potencia adecuado en el espacio donde se requiera sonorizar.

Entre los factores que se consideran en este capítulo está el acomodo de las bocinas, para evitar al máximo las cancelaciones acústicas, seleccionar el sistema de bocinas adecuado para cada necesidad, así como los diferentes tipos de arreglos de bocinas y sus patrones de cobertura.

También es importante considerar como ajustar el ángulo de cobertura mediante el acomodo de bocinas y ajustar los equipos de retardo para producir un atraso de la señal cuando se tienen sistemas físicamente desalineados que hacen que el sonido proveniente de una bocina llegue primero que otra bocina, produciendo un sistema no sincronizado con el espacio acústico.

5.1. NECESIDADES DEL ESPACIO ACÚSTICO

Para la instrumentación del sistema de sonorización es necesario tener en cuenta las necesidades del espacio acústico a reforzar. Para esto es necesario considerar los factores de todo el sistema de sonorización en su conjunto.

- Canales de Salida de Señal
- Intervalo de Frecuencias Utilizadas en el Recinto
- Requerimiento de Potencia
- Posición y Orientación de Bocinas
- Requerimientos del Área de Cobertura



Canales de Salida

El número de canales de señal a utilizar depende del material del programa y de la logística física, entre las cuales se encuentran las siguientes posibilidades de sistemas:

- Mono (un sólo canal, sistema típico sólo para la voz)
- “L/R” Estéreo (sistema típico en concierto)
- “L/C/R” Izquierdo, Central y Derecho (sistema para concierto)
- “Cuadrafónico” (sistema de alta fidelidad)
- “L/C/R & Surround” Izquierdo, Central, Derecho y Surround (cine)
- Multicanal (teatral y sistemas de sonido complejos)

Intervalo de Frecuencias

Se debe considerar el ancho de banda de acuerdo al tipo de señal que se maneje es decir, un sistema únicamente vocal no tendrá necesidad de manejar sistemas de baja frecuencia (subwoofers), mientras que un sistema para música pop sería inútil sin ellos.

Para cada canal de señal se debe conocer su intervalo de frecuencia requerido, sin embargo, en términos prácticos resulta difícil considerar la implementación del sistema sólo para un instrumento en particular, debido a esto los requerimientos de intervalos de frecuencia tienden a dividirse en 2 categorías:

- De voz entre el intervalo de 80 Hz a 18 kHz
- musicales con intervalos entre 40 Hz y 18 kHz.

La diferencia entre estos requerimientos aunque es sólo de una octava, representa generalmente gran diferencia con respecto al tamaño del sistema, su presupuesto y su patrón de control, donde los sistemas musicales pueden ser construidos con la adición de subwoofers u otro tipo de dispositivo para lograr un mejor alcance.

Requerimiento de Potencia

El requerimiento de potencia dependerá del área total a cubrir y del total de bocinas que se utilizaran para este fin.

El nivel máximo de presión sonora describe la presión que un sistema puede producir, cuando es manejado a su máxima capacidad. Esto no significa que pueda lograr su máximo nivel de SPL en cualquier frecuencia de su ancho de banda de manera individual. Estas deficiencias de respuesta no pueden ser corregidas con ecualización y probablemente se requieran cambios en la estructura de ganancia o incluso la utilización de bocinas adicionales.

Un ejemplo simple de este contraste entre intervalos de frecuencias y capacidad máxima de potencia puede ser un pequeño tweeter el cual puede ser ecualizado de tal forma que su intervalo de frecuencias se extienda a 30 Hz, aunque podrá



requerir 40 dB de incremento en la ecualización en el intervalo de los graves. Sin embargo, esto no cambia la capacidad máxima de salida del tweeter en 30 Hz, la cual por su naturaleza es prácticamente nula.

Los requerimientos de niveles de potencia, están relacionados con la cobertura en un espacio, lo cual determina la selección del tipo de bocina a utilizar, considerando los grados de cobertura, su posición y el nivel de potencia en dB que se desee lograr, las características de la bocina y su potencia.

Existe una relación entre la máxima capacidad de potencia y la respuesta en frecuencia en bocinas, cuando se refiere al término respuesta en frecuencia en bocinas generalmente significa la respuesta relativa de amplitud del sistema con respecto a la frecuencia. Las especificaciones proporcionan un intervalo dentro del cual la respuesta decae entre los puntos de corte de bajas frecuencias y frecuencias altas (típicamente -3 dB). Las correcciones en los picos y caídas en la respuesta en frecuencia pueden ser realizadas hasta cierto punto con ecualizadores.

Posición y Orientación de Bocinas

Una buena posición de las bocinas es crítica para obtener una calidad de sonido constante y una imagen sonora realista. A menudo la posición de las bocinas es determinada por factores externos tales como: El escenario, la iluminación, la línea visual, y las preocupaciones estéticas. Un acomodo deficiente de las bocinas puede degradar significativamente el rendimiento del sistema aunque se tenga un buen equipo de sonido, por lo que es necesario proporcionar la flexibilidad máxima en orientación y posición. Es importante interactuar con los demás equipos de diseño como iluminación, arquitectos, etc., para acordar la mejor posición del sistema con la cual tenga su máximo rendimiento.

Requerimientos del Área de Cobertura

El ángulo de cobertura, junto con el nivel de potencia y posición permitirá considerar el tipo de bocinas apropiadas en las que se basará el sistema.

Se considerará si se requieren coberturas estrechas de tiro largo (Bocinas de largo alcance con cobertura estrecha) que apunten hacia áreas distantes o sistemas de cobertura amplia sobre un área grande, es decir, es necesario saber que tipo de áreas son las que se van a cubrir y dependiendo de la posición de los sistemas se selecciona el tipo de bocina, con un ángulo de cobertura adecuado para el área a cubrir.

5.2 ACOMODO DE BOCINAS

El acomodo de bocinas se refiere a las diferentes posiciones angulares y físicas o de lugar en las que se puede mover una bocina, para su alcance y cobertura para la sonorización del recinto.



Cada superficie que refleja o refracta las ondas sonoras que son producidas por una bocina alterará su respuesta en frecuencia. Estos efectos pueden ser minimizados si las posiciones de la bocina son seleccionadas cuidadosamente. Las condiciones de campo libre son las que mejor respuesta en frecuencia tienen debido a que no existen reflexiones de la señal acústica y las menos recomendables en términos de eficiencia.

Mientras que en altas frecuencias el efecto de las reflexiones con superficies sólidas generalmente es nocivo (incluso tratándose de reflexiones de campo cercano) debido al fenómeno de cancelación acústica que deteriora la respuesta en frecuencia; en bajas frecuencias las reflexiones de campo cercano de superficies sólidas benefician a los subwoofers ya que ayudan a incrementar el nivel de presión sonora "SPL".

A la interacción de las paredes con el subwoofer se le clasifica como:

- $\frac{1}{2}$ espacio (1 superficie, generalmente el piso)
- $\frac{1}{4}$ espacio (2 superficies, generalmente el piso y la pared trasera)
- $\frac{1}{8}$ espacio (3 superficies, generalmente una esquina: piso, pared trasera, y pared lateral)

Si se coloca un subwoofer junto a una o más superficies sólidas, el resultado de las reflexiones del subwoofer con las paredes produce lo que se conoce como "imagen o imágenes fantasma".

En la figura 5.1 se muestran las imágenes fantasma de un subwoofer en una situación a $\frac{1}{4}$ de espacio.

Se llama imagen fantasma porque la superficie sólida del piso funciona como un espejo para el subwoofer real, que produce un segundo subwoofer ficticio. El incremento de eficiencia que se gana en el intervalo de bajas frecuencias es conocido como acoplamiento, esta es una práctica común para la colocación de subwoofers y funciona bien sólo para bajas frecuencias. El periodo de las bajas frecuencias es largo y por lo tanto la energía reflejada en la superficie llega casi en fase con la señal directa. La energía reflejada, por lo tanto, se suma con la directa proporcionando al sistema una mayor eficiencia en la región de bajas frecuencias.

Sin embargo, al incrementar la frecuencia el periodo se acorta y la energía reflejada llega detrás de la señal directa por más de $\frac{1}{4}$ de la longitud de onda, el acoplamiento entonces produce cancelaciones acústicas. En la práctica los subwoofers pueden colocarse en el piso y el sistema principal puede ser suspendido.

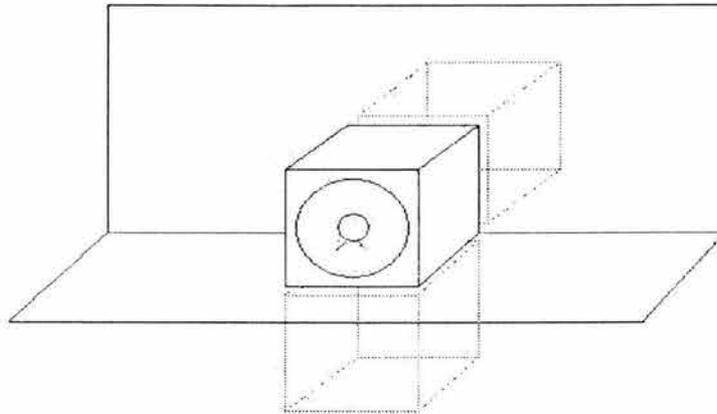


Figura 5.1. Imagen fantasma de un subwoofer en $\frac{1}{4}$ de espacio

En la figura 5.2 se muestran las imágenes fantasma de un subwoofer en una situación a $\frac{1}{8}$ de espacio.

Algunos aspectos que deben considerarse para la colocación de bocinas:

- Se colocan de tal forma que pueda crear una imagen sonora desde el escenario
- Evitar posiciones comprometidas en donde puedan ocurrir reflexiones de superficies cercanas de las frecuencias altas
- Mantenerlas lejos de los límites del campo cercano (particularmente de difusores de agudos)
- Evitar la colocación de pantallas o cortinas frente a la bocina. Si se tienen que usar pantallas, se debe conseguir la tela más delgada posible
- Evitar la cobertura redundante de bocinas. En caso de ser necesarias se debe mantener el tiempo de compensación al mínimo
- No se deben crear ecos teniendo tiempos de compensación largos o múltiples orígenes

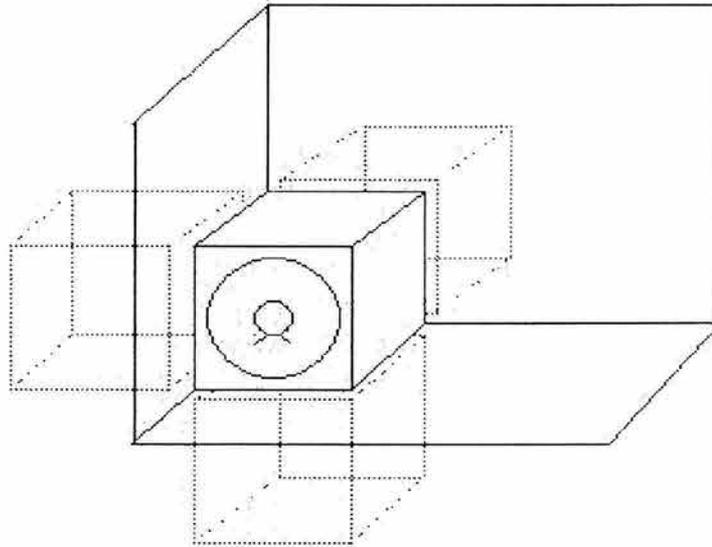


Figura 5.2. Imagen fantasma de un subwoofer en $\frac{1}{8}$ de espacio

Puntos de Dirección

La orientación de la bocina determinará dónde será enfocada su energía sobre el eje, la intención es enfocar la energía hacia la audiencia y tan lejos como sea posible de superficies reflejantes.

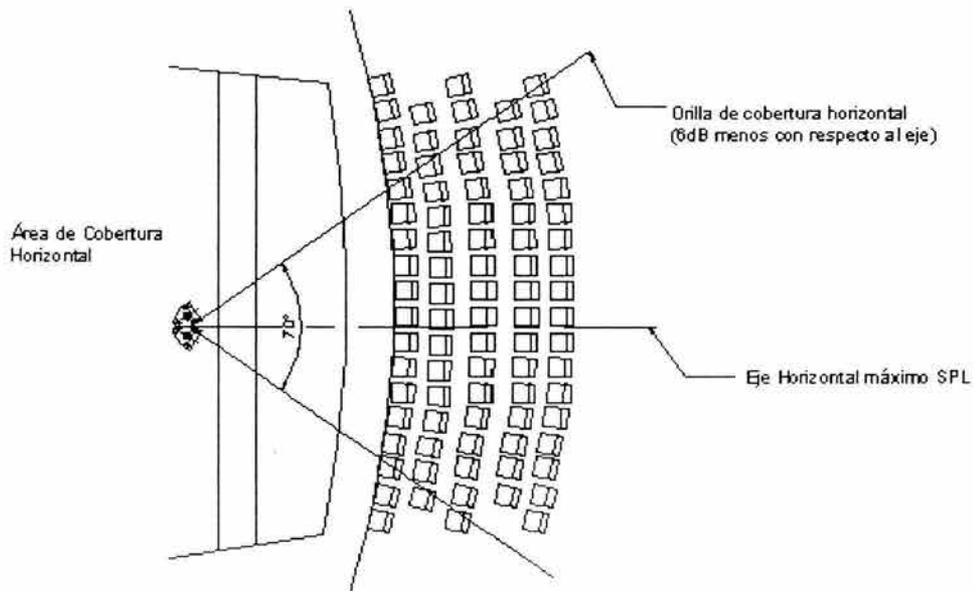


Figura 5.3. Cobertura Horizontal

Una vez que sea elegida el área que va a cubrir una bocina en particular, es simple orientar la bocina al área elegida. Como punto de inicio hay que calcular las



orillas del área que se intenta cubrir horizontal y verticalmente así como la profundidad del campo que el sistema debe arrojar, es decir, se tiene que contar con los planos arquitectónicos del lugar y si no existen es necesario medir las áreas a cubrir y tener las alturas a la que los sistemas van a estar colgados, con esto se seleccionan las bocinas dependiendo del área que se debe cubrir.

De aquí se puede determinar donde estarán los puntos centrales del eje, así como también el punto medio de la profundidad del campo.

La orientación horizontal es usualmente más sencilla de comprender, esto se observa en la figura 5.3.

El eje vertical es más complicado de comprender que el horizontal por el hecho que desde el punto de vista de la audiencia está usualmente más cerca de la mitad baja del patrón vertical que es apuntado al punto medio de la profundidad de campo, entonces el nivel será notablemente más fuerte en el frente y más bajo en la parte trasera. Sin embargo, la atenuación axial vertical de la bocina puede ser usada de manera ventajosa para compensar las diferencias de tipo de la profundidad vertical. Si la bocina es apuntada más allá del punto medio de la profundidad de tiro, el nivel será más consistente.

Al acercarse a la bocina la atenuación axial disminuirá el efecto de incremento del SPL y al alejarnos la pérdida del SPL aminorará por recibir menos atenuación axial. Como se observa en la figura 5.4, la bocina con cobertura vertical el SPL es más fuerte en la parte frontal de la audiencia que en la parte trasera.

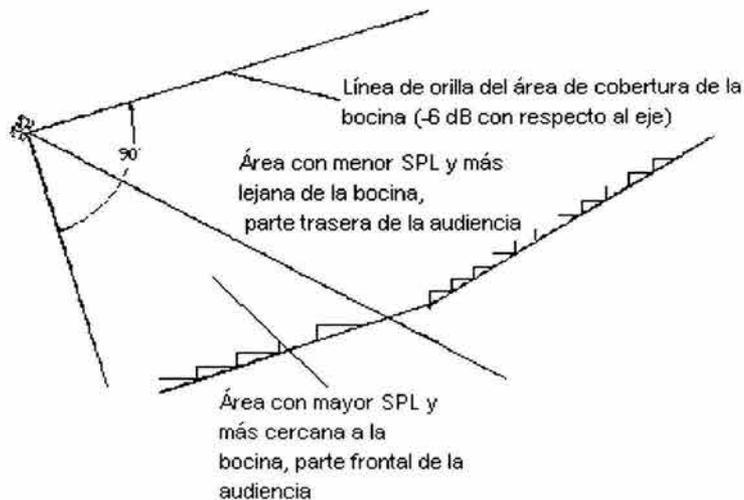


Figura 5.4. Cobertura Vertical

Requerimientos de Cobertura

La figura 5.5 muestra la relación entre la pérdida de propagación y el ángulo de cobertura. El punto "A" está directamente en el eje, el punto "C" está también en el eje, pero a la mitad de la distancia de "A". Si suponemos que estamos en condiciones de campo libre con la misma orientación vertical y horizontal, la



respuesta de "C" sería 6 dB SPL más que "A". El punto "B" se encuentra a la misma distancia que "C" de la fuente sonora, pero en los puntos de -6 dB del patrón de cobertura de las bocinas (± 30 grados). Si la bocina tiene direccionalidad constante (la misma respuesta en frecuencia sobre su ángulo de cobertura), entonces el nivel sonoro y la respuesta en frecuencia en "A" y en "B" serán iguales. La relación aunque sea solamente una aproximación en la práctica real, proporciona una base para diseñar sistemas con una distribución de nivel consistente. El punto "D" representa un punto fuera del eje equidistante a "A" y por lo tanto será 6 dB debajo de "A" y de "B".

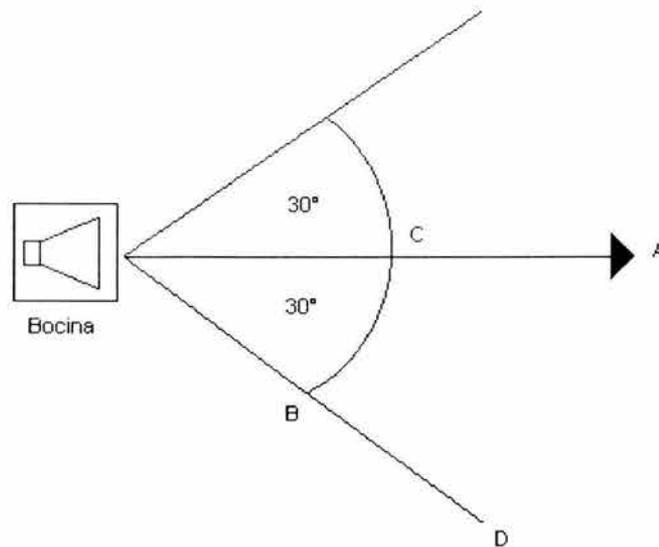


Figura 5.5. Relación entre la pérdida de propagación y el ángulo de cobertura

La figura 5.6 muestra la distribución de nivel aplicada a la sección visual de un teatro. Cuando "A" es dirigido al último asiento de la sala, la respuesta en frecuencia es igual que en "B". Esto dan una distribución de nivel relativamente suave sobre el área de asientos. Esto es poco práctico si el techo es altamente reflejante ya que la energía dirigida hacia arriba causará reverberación excesiva. En contraste, se dirige la bocina hacia abajo de tal forma que los últimos asientos estén en la orilla distante del patrón "D", minimizando la energía reflejada, la respuesta en frecuencia en el fondo sería de 12 dB menor que la del piso principal "C" como se muestra en la figura 5.7.

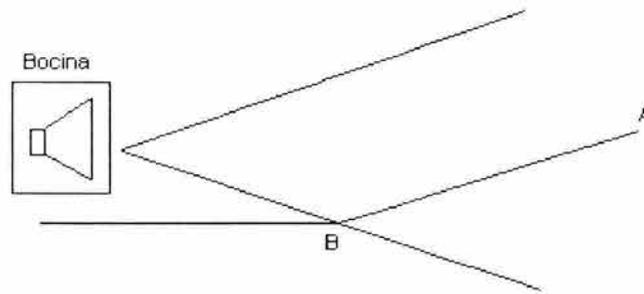


Figura 5.6. Vista de elevación de una bocina apuntando para cobertura constante. El nivel en A y B es el mismo

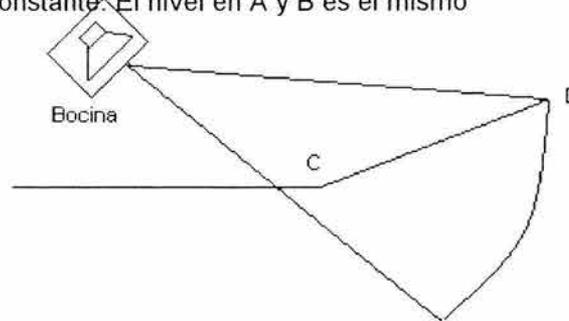


Figura 5.7. Bocina apuntando muy bajo, no alcanzará cobertura constante. El nivel en D es de -12 dB comparado con C

Mediciones tomando en cuenta la figura 5.5. En la figura 5.8 se muestran dos curvas con una diferencia de 6 dB entre la región de medios y agudos, es decir, entre 500 Hz y 20 kHz , esto es a causa de la ley del inverso del cuadrado de la distancia. Las reflexiones de la habitación aumentan la energía en el intervalo de bajas frecuencias, causando atenuación menor a los 6 dB , el intervalo de este efecto variará dependiendo de la acústica de la habitación y el control direccional de la bocina.

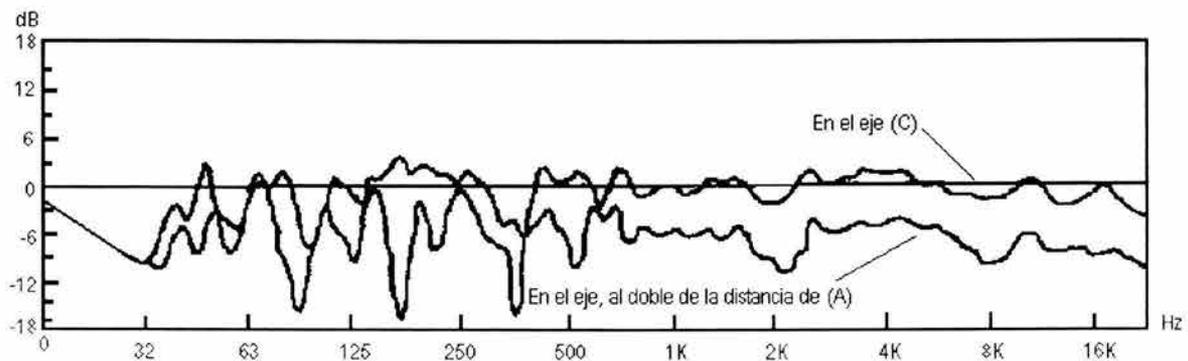


Figura 5.8. Comparación de la respuesta en el eje (C) y en el doble de distancia del eje (A)

En la figura 5.9 se muestran dos posiciones equidistantes; la región de frecuencias graves tiene menos control direccional, sin embargo, la energía es igual. La región de los medios y los agudos esta reducida en la respuesta fuera del eje.

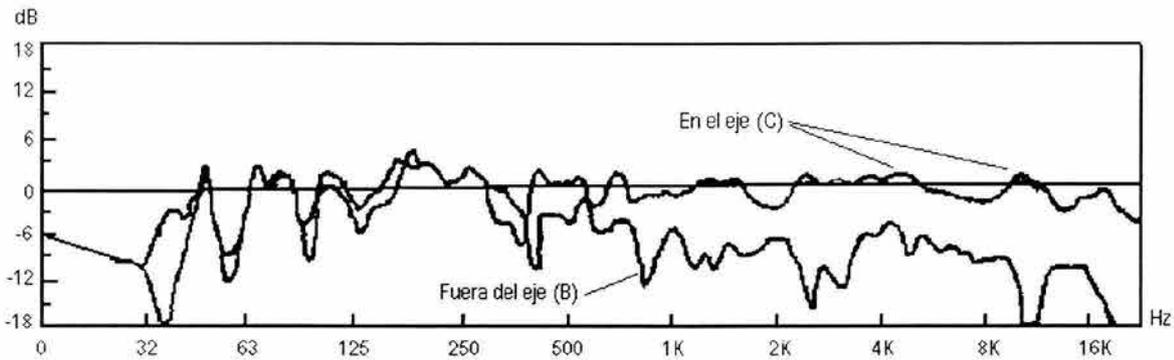


Figura 5.9. Comparación de la respuesta en el eje (C) y fuera del eje (B)

En la figura 5.10 se ilustran las respuestas más cercanamente igualadas. La atenuación de agudos del control direccional en la posición fuera de eje crea una respuesta similar a la del punto más distante de la posición en el eje.

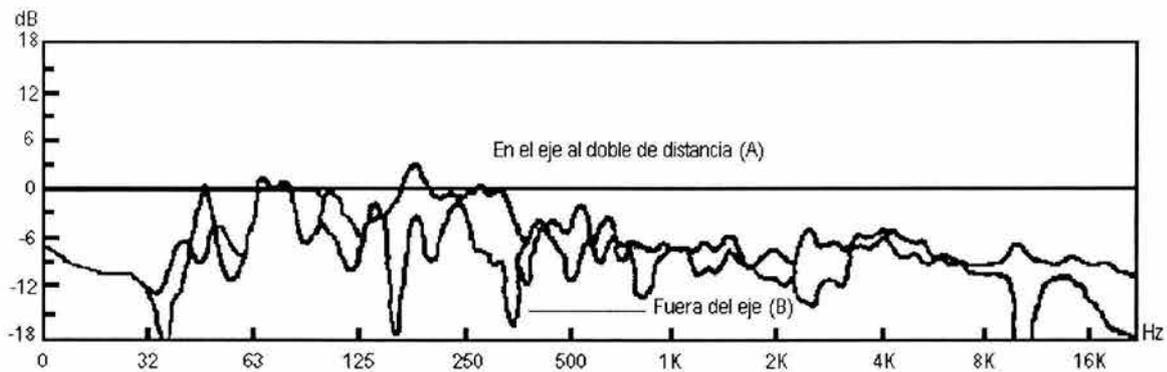


Figura 5.10. Comparación del doble de distancia del eje (A) contra la respuesta fuera del eje (B)

El ángulo de cobertura total requerido por toda el área de asientos puede ser obtenido, simplemente dibujando un arco desde la bocina a través de toda el área de audiencia. Mientras esto representa el requerimiento total de cobertura, no necesariamente dicta el patrón de requerimientos de nuestro sistema principal. El patrón del sistema principal puede ser derivado de la regla 2:1.

La regla 2:1

Esta regla práctica da una indicación de cuándo es apropiado separar un sistema, en sistemas separados, principal y relleno.

Si el punto más lejano en el área de cobertura de la audiencia es más del doble que las áreas cercanas, tendrá que emplearse un subsistema de relleno para el área restante.

La figura 5.11 muestra un salón con un ángulo de audiencia sentada de 160 grados. Los lados extremos están más cercanos que el punto fuera del eje 2:1 (B). Si un sistema "A" 160 grados fuera utilizado, la respuesta en los extremos sería demasiado alta y el exceso de energía reflejante que producirían las paredes podría ser negativo para la respuesta en frecuencia en el área central. Usando el arco de cobertura se puede ver que un área de 100 grados encaja en la cobertura 2:1 como se muestra en la figura 5.12 el sistema tendrá que ser subdividido en un



sistema principal de 100 grados y subsistemas (cobertura lateral) izquierdo y derecho.

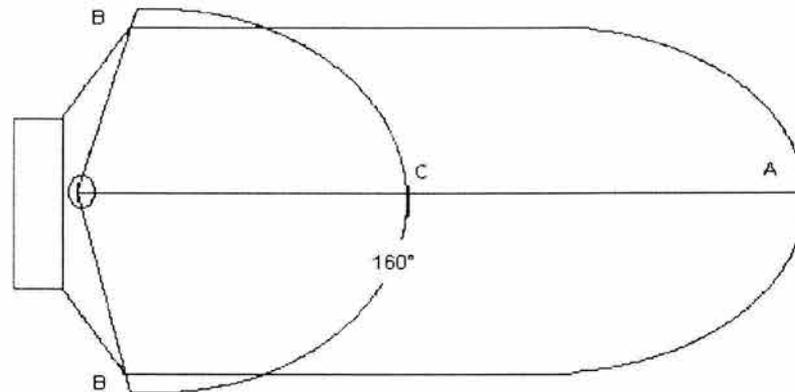


Figura 5.11. Ángulo de cobertura de la audiencia

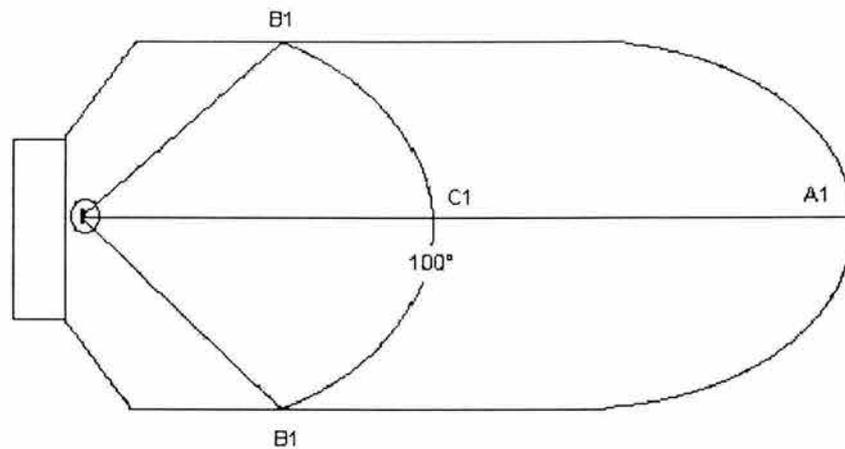


Figura 5.12. El ángulo de cobertura del arreglo principal se deriva de la regla 2:1

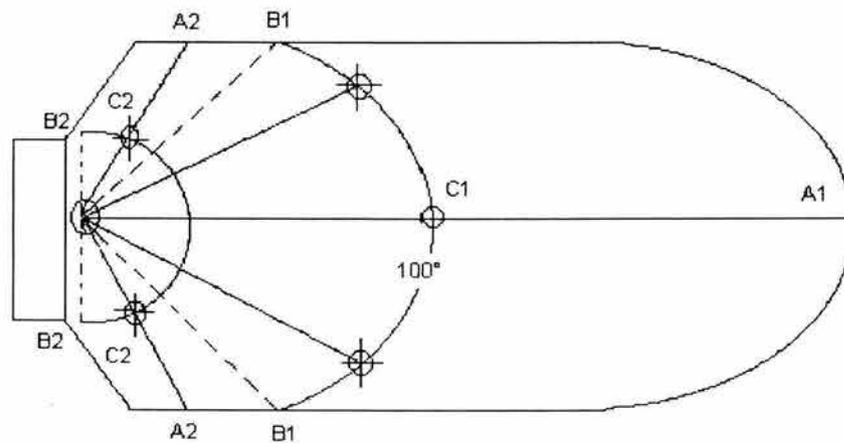


Figura 5.13. El sistema de cobertura lateral complementa el sistema principal para proporcionar la cobertura total del área de audiencia



En la figura 5.13, se muestra el sistema principal con dos sistemas de relleno en los laterales, el sistema principal es del tipo de tiro largo y cobertura más estrecha y los sistemas de relleno serán de campo cercano o tiro medio, esto para mantener el SPL constante en toda el área.

En comparación con el área mostrada en la figura 5.11, en este caso el área de audiencia es concéntrica con el arreglo como se muestra en la figura 5.14, creando un ángulo de audiencia que cumple completamente la regla 2:1. Un sólo sistema principal puede abarcar la cobertura horizontal del espacio acústico.

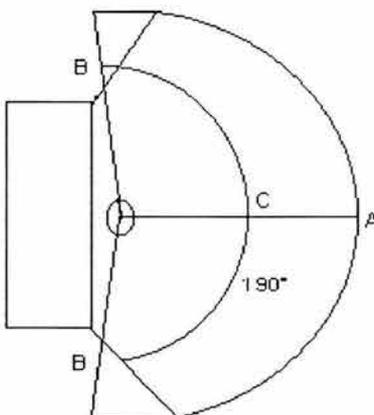


Figura 5.14. Espacio acústico donde un sólo arreglo principal puede proporcionar cobertura a toda el área de la audiencia

Las mismas reglas básicas también se aplican para la cobertura vertical. La cobertura contra frecuencia ancho de haz (beamwidth) vertical de las bocinas, tiende a ser menos consistente que el horizontal debido a la orientación vertical de la división de frecuencias acústica. Sin embargo, en la práctica, la mayoría de los usuarios subdividen los arreglos verticales antes que los horizontales. En este caso la regla 2:1 es el extremo, ya que en la mayor parte de los sistemas se llega a modificar la regla hasta 1.4:1 (en el punto de -3 dB).

Sistema de Bocinas

Para escoger el modelo de bocinas para determinada necesidad, primero se analiza la función del sistema de bocinas, después las necesidades de potencia y finalmente el control del patrón direccional. Una vez que haya sido elegido el sistema se podrán personalizar los bloques para una cobertura horizontal y vertical apropiadamente.

En la disciplina de la sonorización, existen 7 diferentes aplicaciones típicas para cada subsistema cuyas principales características se describen a continuación:



- Sistema Principal: Cubre la mayoría del espectro audible, este sistema debe tener el mayor intervalo de potencia. Si los requerimientos de señal necesitan más que sólo voz este sistema necesitará subwoofers
- Sistema de Cobertura hacia Abajo: Suplemento de cobertura vertical del sistema principal para cubrir el área inferior; este sistema tiene típicamente un tiro más corto que el sistema principal
- Sistema de Cobertura Lateral/Trasera: Estos sistemas proveen cobertura horizontal suplementaria al sistema principal. Estos sistemas típicamente tienen un tiro más corto que el sistema principal
- Sistema de Cobertura Frontal: Cobertura suplementaria al área frontal del escenario. Estos proporcionan pistas de localización al escenario e incrementan la inteligibilidad en el campo cercano. Los sistemas de cobertura frontal solo deben de intentar alcanzar distancias cortas
- Sistemas de Atraso (Delay): Estos sistemas incrementan la inteligibilidad en el terreno lejano y proporcionan alguna compensación a la pérdida del SPL sobre distancia del sistema principal
- Sistemas de Efectos: Estos sistemas se utilizan para crear efectos de espacio
- Sistemas de Monitoreo de Escenario: Este sistema puede tener un sistema principal (2 en estéreo) y puede o no tener varios sistemas suplementarios, dependiendo de cada aplicación

Clasificación de Potencia de los Sistemas

Desde el punto de vista de potencia y de cobertura, los sistemas se pueden dividir en 5 niveles los cuales se describen a continuación.

- Nivel de Estadios: Son sistemas adaptables de alta potencia y de un Q muy alto, estos sistemas tienen gran inteligibilidad sobre distancias largas, su compacto patrón controlado les da la máxima inteligibilidad en el campo lejano, incluso en ambientes altamente reverberantes. Sin embargo el ángulo entre bocinas no debe ser modificado; el alcance típico de estos sistemas es de 25 a 150 metros
- Nivel de Recintos: Tiene una excelente uniformidad de cobertura y adaptables, el ángulo horizontal entre bocinas es ajustable sobre un pequeño intervalo, el alcance típico de estos sistemas es de 15 a 100 metros
- Nivel de Conciertos: Estos sistemas adaptables son de alta potencia y de una Q mediana. Estos sistemas son altamente flexibles en términos del ángulo de ajuste entre bocinas. Sin embargo, la interacción entre bocinas incrementa la variación de respuesta y disminuye la inteligibilidad. Si el sistema principal supera las 8 o 12 bocinas, se debe considerar el uso de los sistemas de nivel de recinto, el alcance típico de estos sistemas es de 10 a 45 metros



- Nivel de Teatro: Estos son sistemas adaptables de potencia y con un factor de calidad Q menor que el nivel de conciertos. Estos sistemas son altamente flexibles en términos del ángulo de ajuste entre bocinas. Sin embargo, la interacción entre las bocinas incrementa la variación en la respuesta y disminuye la inteligibilidad. Si el sistema principal sobrepasa de 8 a 12 de estos modelos se debe considerar el uso de los sistemas de nivel de conciertos; el alcance típico de estos sistemas es de 6 a 30 metros
- Nivel de Campo Cercano: Estos sistemas son para aplicaciones únicamente de tiro corto menores a 12 metros

El sistema principal debe ser un arreglo de punto de origen. Los sistemas en estéreo se forman de dos arreglos independientes de un punto de origen (uno para canal izquierdo y otro para canal derecho).

5.3. ARREGLOS DE BOCINAS

Hay bocinas que son diseñadas para usarse en configuraciones de múltiples bocinas conocidas como arreglos. Estos modelos son fácilmente identificables como bocinas adaptables por el diseño trapezoidal de su caja. Este concepto de diseño fue introducido por Meyer Sound en 1980 con la bocina patentada UPA-1 que ayuda con los aspectos mecánicos al construir arreglos. Antes de la introducción del UPA, los diseños de sonido típicos consistían de múltiples bocinas apiladas en columnas e hileras en donde muchos de sus componentes poseían orientación redundante. Mientras que este tipo de arreglo puede producir grandes cantidades de potencia acústica, tiene la desventaja de crear una respuesta en frecuencia no uniforme la cual es altamente dependiente de la posición. El aspecto fundamental detrás del diseño de una bocina, es que los elementos del arreglo estén alineados en arco combinándose para crear un arreglo que se comporte como un punto de origen o para ser precisos una sección de punto de origen; (un punto de origen es una superficie radiante esférica. La radiación omnidireccional prácticamente no existe en una situación real de sonorización).

Cuando las bocinas son consistentes en respuestas en frecuencia y fase se puede llegar a crear un arreglo de intervalo completo en formaciones tipo arco, debido a que se creará un punto focal (fantasma) desde alguna distancia detrás del arreglo aproximándose así, a un punto de origen.

Arreglo de Punto de Origen Vertical con el Punto Focal Detrás de las Bocinas

Este tipo de arreglo como el que se muestra en la figura 5.15 tiene la ventaja de reducir la interacción entre bocinas, creando un patrón de cobertura suave y uniforme sobre el área de audiencia. Sin embargo, crear arreglos suavemente controlados, no es tan simple. De hecho la forma trapezoidal, no tiene efecto en el patrón polar de la bocina, sirviendo únicamente como ayuda mecánica para la creación óptima de ángulos del arreglo.

Los dos factores primarios en el desempeño de los arreglos son: el ángulo de cobertura de las bocinas, y el ángulo de separación entre las bocinas. Como regla



general cuando el ángulo de separación entre las bocinas (de centro a centro), se acerque al ángulo de cobertura, la cobertura obtenida será más suave y con una interacción mínima. Por lo tanto, mientras el ángulo de separación entre las bocinas es constante, el ángulo de cobertura varía al variar la frecuencia. El ángulo de cobertura aumenta al disminuir la frecuencia, por lo que el arreglo interacciona más en bajas frecuencias.

Muchas compañías diseñan sus bocinas con un patrón de cobertura más ancho que el de la bocina. Esto se hizo intencionalmente para proporcionar la máxima flexibilidad de uso. Cuando el patrón es significativamente más ancho que el ángulo de la bocina, al ser colocadas de manera adyacente, el patrón de cobertura puede ampliarse solo ligeramente, o de hecho puede estrecharse, mientras que se incrementa mucho su potencia en el eje. Esto es particularmente verdadero en el MSL-3A, en donde al hacer un arreglo estrecho de 3 bocinas el patrón de cobertura horizontal disminuye 50 grados, en comparación con el patrón horizontal de 1 sola bocina (de 60 a 70 grados). Sin embargo, el SPL máximo en ejes es 10 *dB* mayor en el arreglo de 3 unidades. Si se separa la parte frontal de las bocinas de este ejemplo, el patrón de cobertura se amplía pero a consecuencia de la disminución del SPL en el eje, como se observa en la figura 5.15.

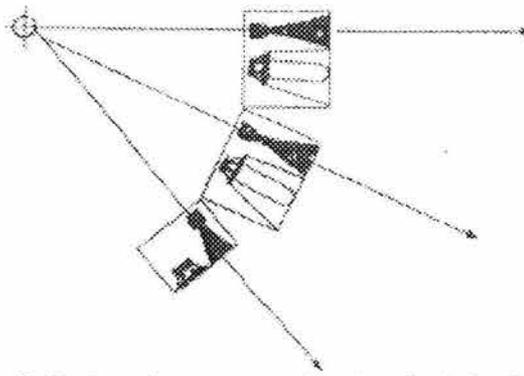


Figura 5.15. Arreglo con punto focal atrás de las bocinas

Es importante considerar lo siguiente:

- El patrón de cobertura de la bocina, no necesariamente es el mismo que el ángulo de la bocina
- El ángulo del trapecoide constituye el ángulo mínimo para múltiples unidades de bocinas, no necesariamente el ángulo óptimo en todos los aspectos

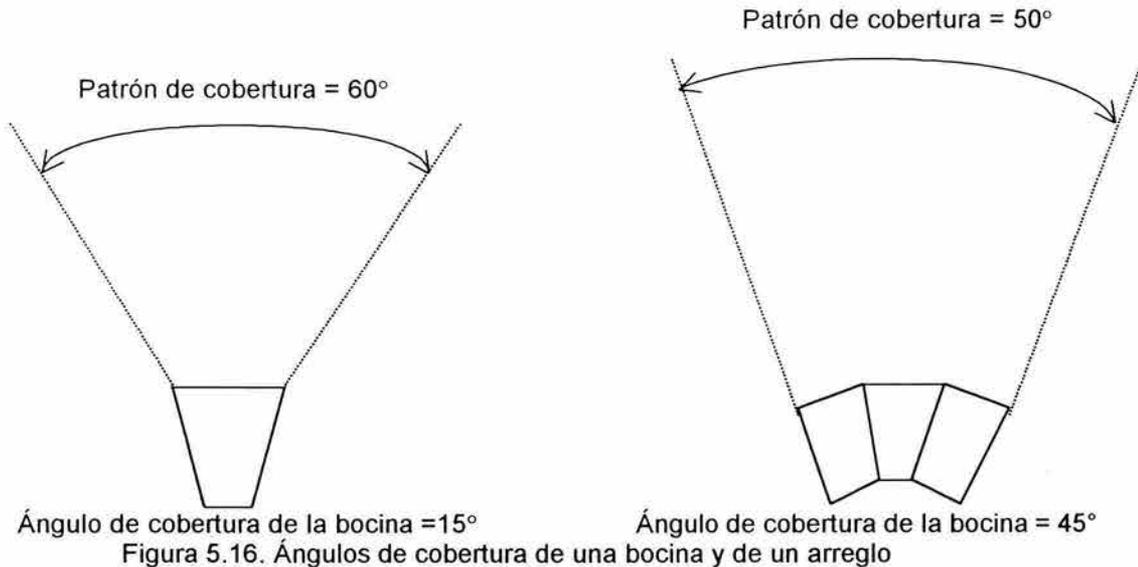
En la figura 5.16 se muestra el ángulo de cobertura de una bocina y el ángulo de cobertura de un arreglo compuesto con el mismo tipo bocina, como se observa el ángulo se estrecha 10° con respecto al ángulo de una bocina individual.

El patrón de cobertura de algunas bocinas se estrecha mientras la potencia en el eje se incrementa, conforme se añaden unidades adicionales en forma de arreglo estrecho. Este tipo de arreglo se recomienda para aplicaciones de tiro largo.

Por ejemplo, en el estilo de música "Heavy Metal" la preocupación fundamental es la potencia en el eje más que la uniformidad en la respuesta en frecuencia, como resultado dicho arreglo es altamente interactivo y presenta mucha ondulación. Por



otro lado la prioridad fundamental en la sonorización de música clásica, es la uniformidad en la cobertura y la respuesta en frecuencia, como dicho arreglo presenta mínima interacción.



Consideraciones para implementar un arreglo:

- Cobertura: Al incrementar el empalme la cobertura se estrecha, y viceversa.
- SPL en eje: Al incrementar el empalme el SPL en el eje se incrementa significativamente, al disminuir el empalme el SPL en el eje casi no se incrementa
- Distribución de Nivel: Al incrementar el empalme la distribución de nivel se vuelve irregular, siendo más notorio en los sitios del área central conocidos como "hot spots". Al disminuir el empalme la distribución de nivel se vuelve más suave
- Distribución de la Respuesta en Frecuencia: Al incrementar el empalme la distribución de la respuesta en frecuencia se vuelve irregular debido a las cancelaciones acústicas. Lo anterior es el resultado de las cancelaciones de fase debido a los múltiples tiempos de llegada del sonido de las diferentes bocinas en el área de la audiencia. Al disminuir el empalme la distribución de la respuesta en frecuencia se suaviza debido a la disminución de la cancelación acústica
- Ecuación de arreglo: Cualquier arreglo es ecualizable en un sólo punto, pero se asume que el objetivo es lograr una curva de ecualización que sea apropiada para la mayor parte del área de cobertura, los arreglos con patrones de distribución uniforme se comportarán mejor



Ángulo de Cobertura de Arreglos Horizontales

Sería de mucha utilidad que el ángulo de cobertura pudiera ser calculado simplemente sumando el ángulo de dispersión de cada bocina añadida como lo muestra la figura 5.18. Esto es válido únicamente cuando el arreglo de bocinas tiene empalme mínimo. Si las bocinas se acomodan una junto a la otra sin separar la parte frontal, el ángulo del arreglo puede hacerse más estrecho que el de una sola bocina, pero la potencia en el eje se incrementa considerablemente. El objetivo para diseñar el arreglo de las bocinas está determinado por la potencia deseada en el eje, y la cobertura deseada.

En la figura 5.17 se muestra una bocina trapezoidal con su ángulo de cobertura de 90° .

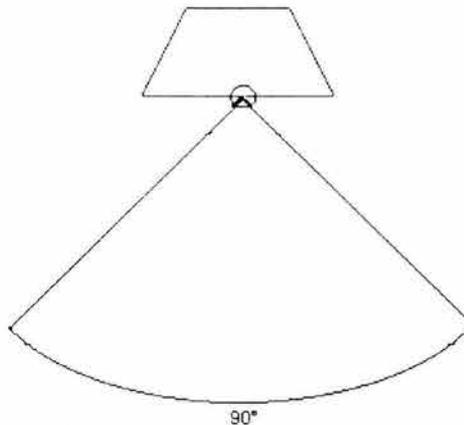


Figura 5.17. Ángulo de cobertura de una sola bocina

En la figura 5.18, muestra el patrón de cobertura cuando el arreglo de bocinas tiene empalme mínimo. El ángulo del arreglo es la suma del ángulo de cobertura de una bocina más el ángulo de separación entre la parte frontal de cada bocina adicional. Este cálculo no se cumple con arreglos estrechos.

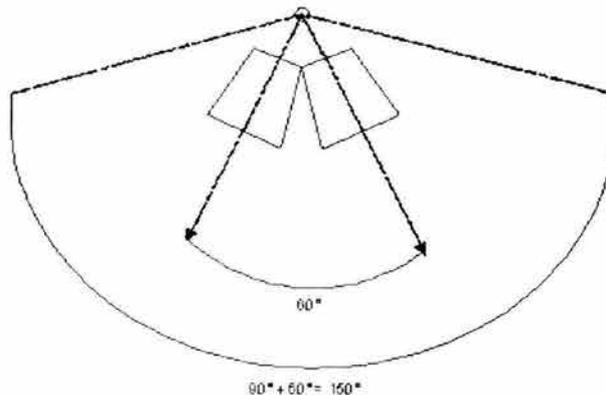


Figura 5.18. Cálculo de la cobertura para arreglos horizontales separados



Todos los patrones de cobertura de 90 grados no son creados de la misma manera. La relación de cut-off (que tan rápido el patrón se mueve desde 0 dB hasta -6 dB y -10 dB), es una función de la geometría de la trompeta y del acoplamiento de los arreglos. La figura 5.19 contrasta dicha relación de pérdida (cut-off) de 3 arreglos de bocinas de 90 grados.

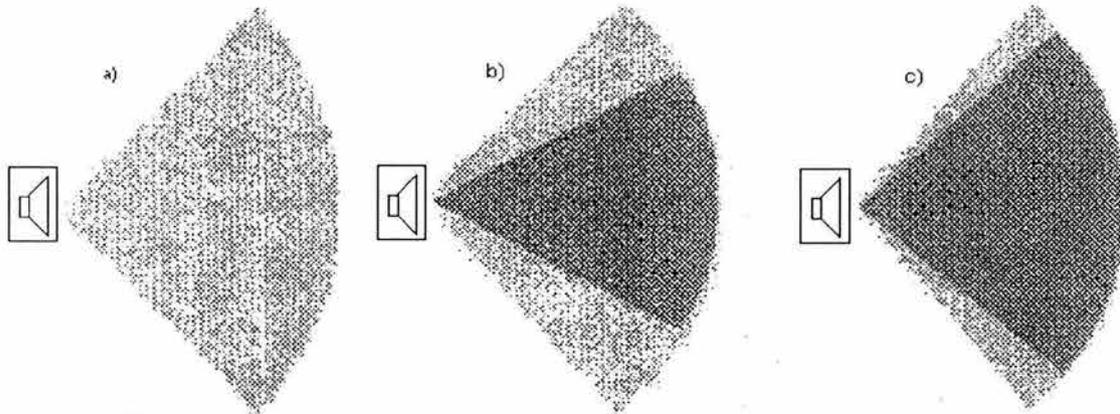


Figura 5.19. Arreglos cerrados con diferentes cantidades de bocinas

- a) Cobertura a 90° de una sola UPA-1C la pérdida de potencia con respecto al eje es muy gradual.
- b) Cobertura a 90° de un arreglo de 3MSL-4. Las 3 trompetas cerradas causan que la orilla del patrón tenga corte muy pronunciado.
- c) Cobertura 90° de un arreglo de 3 MSL-10A (o MSL-5) las 9 trompetas extremadamente cerradas causan que la orilla del patrón tenga un corte increíblemente pronunciado.

Forma de Verificar el Ángulo de Separación

En muchas situaciones es impracticable usar un transportador para verificar que se ha obtenido el ángulo de separación deseado, como se muestra en la figura 5.20. La tabla 5.1, permite determinar el ángulo de separación midiendo el espacio entre la parte frontal de las bocinas teniendo en cuenta que la parte posterior se encuentra adyacente para cada bocina, el espacio de cada ángulo es mostrado en centímetros. Para las bocinas con una malla de protección que sobresale (como las UPAS, MSL-2A y CQs) el espacio debe medirse desde el borde de la madera no del borde de la malla.

Cobertura Vertical

Todas las bocinas tienen destinos independientes y donde el punto de referencia vertical es alcanzado. Las bocinas inferiores deben ser atrasadas y deben poseer nivel y ecualización independiente. Esta cobertura se muestra en la figura 5.21.



Cobertura Vertical Estrecha

Todas las bocinas tienen destinos independientes. Las trompetas de la segunda y la tercera bocina de intervalo completo (de abajo hacia arriba), están acopladas pero poseen destinos separados, el resultado es el estrechamiento del patrón si el ángulo de separación frontal es pequeño. La figura 5.21, muestra las bocinas que poseen las trompetas acopladas generalmente son ecualizadas y atrasadas como un solo sistema. Si las bocinas inferiores del sistema principal son atrasadas por separado, tendrá que ser muy pequeño el atraso de tiempo (menor a 1 ms). El objetivo o el punto de referencia vertical es alcanzado, es decir se cubre el área deseada en forma vertical. Las bocinas de cobertura vertical estrecha deberán ser atrasadas con nivel y ecualización independiente.

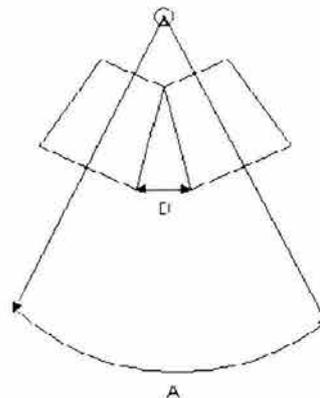


Figura 5.20. Arreglo de par de bocinas donde se muestra la distancia de separación D y el ángulo entre los ejes de las dos bocinas

	MSL-3A, MSL-4, DS-2		MSL-2A,	
Ángulo	PSW-4, MTS-4	CQ-1, CQ-2	MSW-2	UPA 1 y 2
"A"	"D" (cm)	"D" (cm)	"D" (cm)	"D" (cm)
15°	0			
20°	7.6	0		
25°	12.7			
30°	20.3	8.9	0	0
35°	26.7		3.8	2.5
40°	33	18.4	8.9	6.4
45°	39.4		12.7	8.9
50°	46.4	27.3	16.5	12.7
55°	52.1		21	15.2
60°		35.6	24.8	17.8

Tabla 5.1. Cobertura angular de referencia de varios modelos de bocinas de la marca Meyer Sound

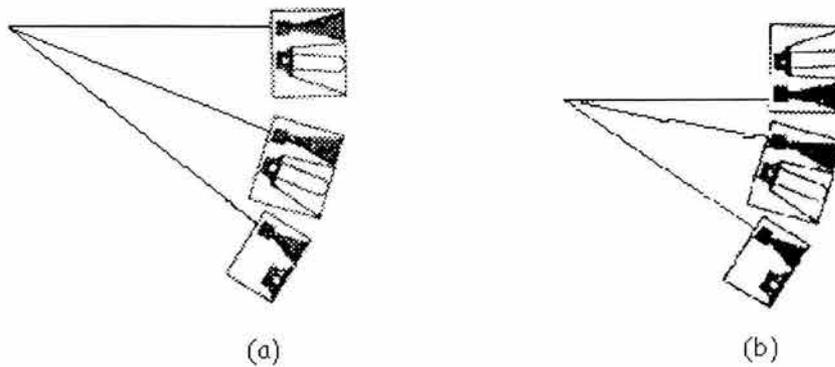


Figura 5.21. Arreglo vertical (a), y arreglo vertical estrecho (b)

Cobertura Vertical Extendida

En este arreglo las trompetas de la segunda y la tercera bocina de intervalo completo del sistema principal (de arriba hacia abajo) están acopladas. La figura 5.22, muestra la fusión de estos sistemas puede ser muy engañosa cuando las trompetas son de diferente modelo y puede resultar que la bocina de cobertura hacia abajo presente "hot-spots". Generalmente es menos recomendado que el caso anterior.

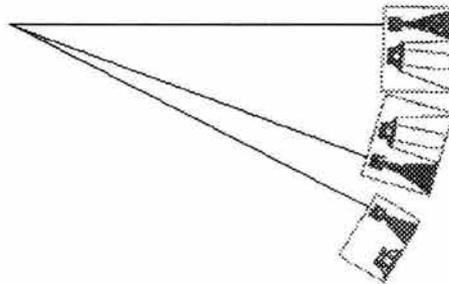


Figura 5.22. Arreglo vertical extendido

Arreglo Vertical de Tiro Largo

Las trompetas de las cajas acústicas del sistema principal están acopladas orientadas hacia el mismo punto, mientras que las trompetas se encuentren muy próximas se van a sumar como si fueran una sola unidad. El resultado es que el patrón vertical disminuye a la mitad, y la potencia en el eje aumenta 6 *dB*. Las bocinas que poseen las trompetas acopladas deberán ser ecualizadas y atrasadas como un solo sistema. El objetivo o punto de referencia vertical es alcanzado. Las bocinas de cobertura hacia abajo deberán ser atrasadas con nivel y ecualización independiente. En la figura 5.23 se muestra el arreglo de tiro largo.

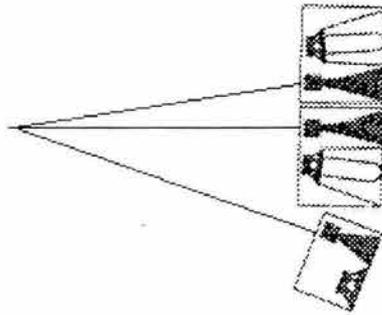


Figura 5.23. Arreglo vertical de tiro largo

Cobertura Vertical Estrecha de Tiro Largo de Alta Potencia

Opera de manera similar a la configuración previa de tiro largo la única diferencia es que la primera bocina de abajo hacia arriba ha cambiado de posición. La determinación de la mejor opción entre este arreglo y el anterior dependerá de la altura del arreglo y los requerimientos verticales de cobertura. Es indispensable manejar un retardador electrónico independiente para la cobertura hacia abajo, ya que la diferencia de tiempo de cobertura hacia abajo con respecto al sistema principal es muy alto. La figura 5.24 muestra estrecha de tiro largo de alta potencia.

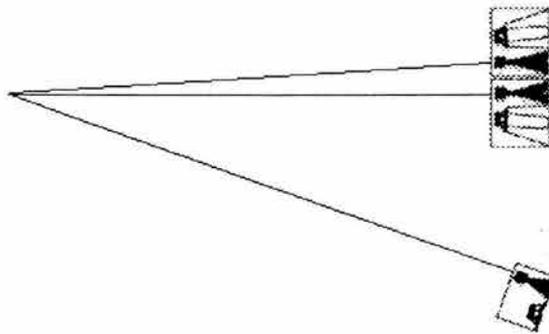


Figura 5.24. Arreglo vertical estrecho de tiro largo de alta potencia

Arreglos Horizontales

Arreglo Horizontal Estándar de un Punto de Origen

Las partes traseras de las bocinas hacen contacto y la parte frontal se encuentra separada. Cada bocina tiene destino independiente y se crea un punto de referencia horizontal. Esta es la configuración de arreglo horizontal más común. El acoplamiento de las bocinas mantiene los atrasos de tiempo de las bajas frecuencias al mínimo por lo que se produce acoplamiento de dichas frecuencias, y respuesta de frecuencia uniforme. La figura 5.25 muestra un arreglo horizontal estándar de un punto de origen.

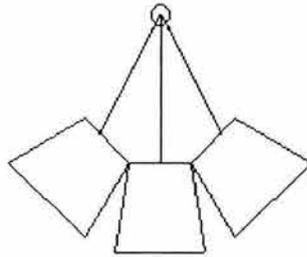


Figura 5.25. Arreglo horizontal estándar de un punto de origen

Arreglo Separado de un Punto de Origen

Las bocinas están separadas pero el ángulo de separación se mantiene. Cada bocina tiene un destino independiente creando así un punto de referencia horizontal. Los pequeños espacios entre las bocinas no son críticos para el acoplamiento de bajas frecuencias. La longitud de onda de las bajas frecuencias es de 3 m a 9 m de largo, por lo que variaciones de fracciones de metro no cambiará el resultado drásticamente. En algunas aplicaciones las bocinas se llegan a encontrar muy separadas, como en el caso de los sistemas de relleno, en este caso el acoplamiento de las bajas frecuencias se perderá, se alcanza un nivel de distribución superior. En la figura 5.26 se muestra un arreglo horizontal separado de un punto de origen

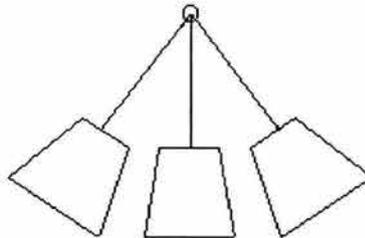


Figura 5.26. Arreglo horizontal separado de un punto de origen

5.4. SUBDIVISIÓN DE SISTEMAS

Idealmente en un sistema de sonido; cada una de las bocinas debería contar con un ecualizador, una línea de atraso y un procesador en forma independiente, pero en la realidad esto no es posible, debido al costo, los recursos, tiempo, etc. Es por eso que surge la necesidad de realizar una subdivisión del sistema.

La trayectoria de la señal de audio que pasa a través de los siguientes equipos es la siguiente: la consola de mezcla, la línea de atraso, el ecualizador, el procesador de bocinas, el amplificador y la bocina. Por lo tanto, la ecualización de solo una línea del sistema no será suficiente para abarcar toda el área de audiencia. Si se desea una respuesta en frecuencia y niveles uniformes, entonces cada área tendrá que ser ajustada por separado. La subdivisión del sistema es un proceso en el que se incrementa el nivel de complejidad y cada nivel tiene más opciones para optimizar la respuesta combinada.



A continuación se describen algunas de las opciones de subdivisión de sistemas:

Bocinas Independientes

Con bocinas independientes se tiene la opción de ajustar su posición relativa. Esto permite ajustar el ángulo de cobertura, al cambiar el ángulo de separación y los atrasos de tiempo, por medio de la colocación física de la bocina, como se muestra en la figura 5.27.

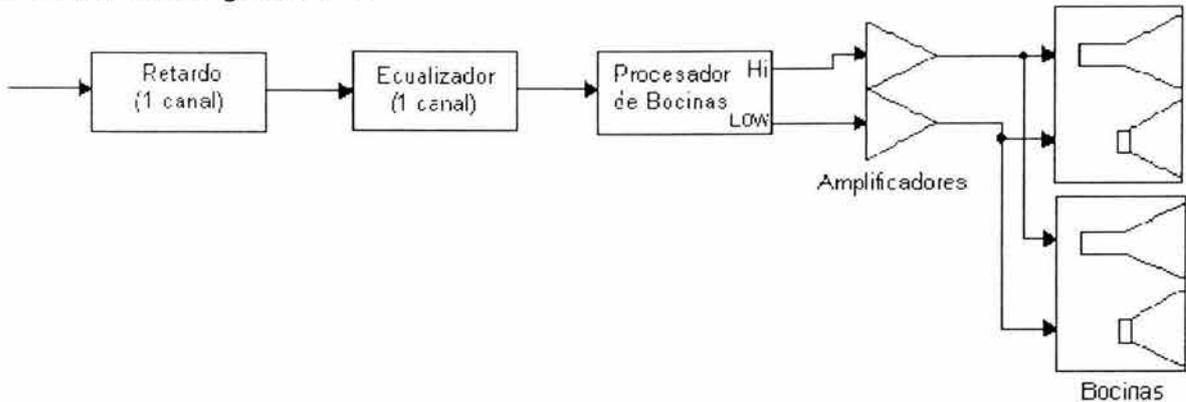


Figura 5.27. Dos bocinas independientes que proporcionan ajuste del ángulo de cobertura por medios físicos

Amplificadores Independientes

Esta opción permite ajustar el ángulo de cobertura electrónicamente por medio de lo que se denomina "ajuste del ángulo de cobertura" de amplitud de los controles de nivel de los amplificadores, como se muestra en la figura 5.28.

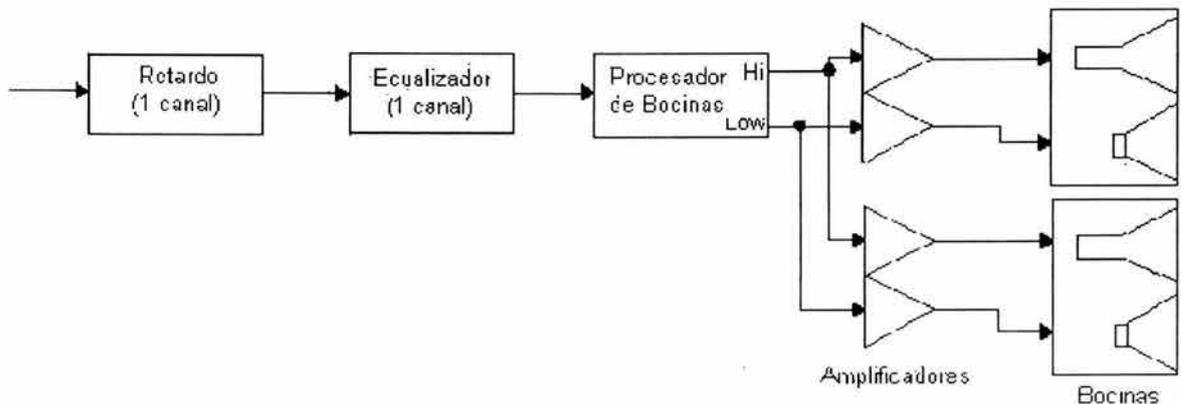


Figura 5.28. Amplificadores independientes permiten el ajuste electrónico del ángulo de cobertura

Ecualizadores y Procesadores de Bocinas Independientes

Este nivel permite modificar la ecualización de forma independiente para los subsistemas, esto es esencial cuando dichos subsistemas están físicamente



separados ya que operan para diferentes áreas de un espacio acústicos. En la figura 5.29 muestra el diagrama de este sistema.

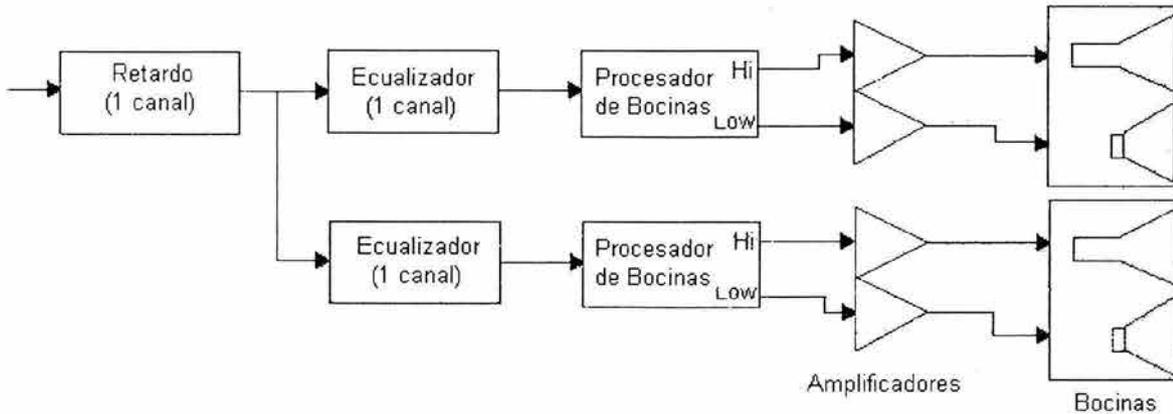


Figura 5.29. Los ecualizadores separados permiten una corrección independiente de la respuesta en frecuencia

Líneas de Atraso Independientes

Las líneas de atraso son necesarias, en sistemas distribuidos en los que se tiene que sincronizar una fuente de sonido principal con un sistema bajo los balcones. Las líneas de atraso también son utilizadas para sincronizar la fuente acústica con el sistema de sonorización, por lo tanto los sistemas de cobertura frontal también deben ser atrasados en conjunto. En la figura 5.30 muestra el diagrama de este sistema.

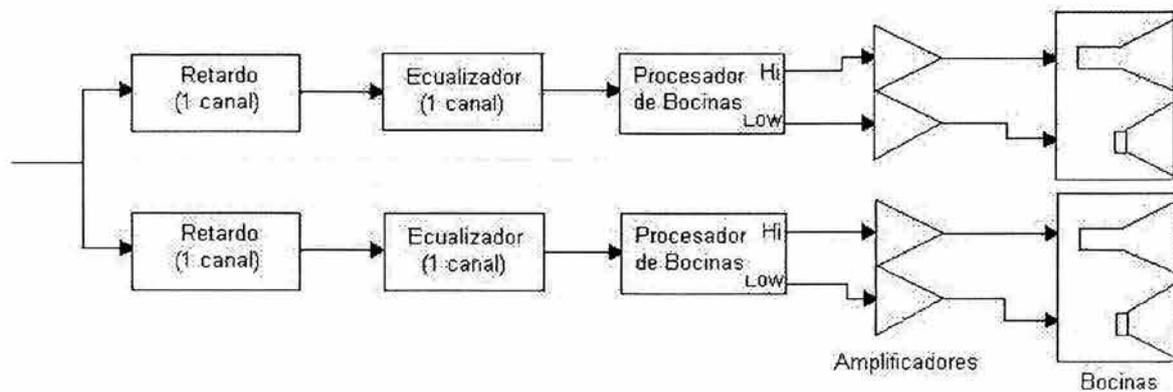


Figura 5.30. Los atrasadores de tiempo electrónicos independientes permiten la compensación de atraso de tiempo

5.5. AJUSTE ELECTRÓNICO DEL ÁNGULO DE COBERTURA DE ARREGLOS

Existen dos formas básicas para ajustar el ángulo de cobertura de un arreglo de bocinas: mecánica y electrónicamente. La forma mecánica consiste en variar el ángulo de los frentes de las bocinas, pero una vez que el arreglo ha sido



suspendido y fijado en su lugar, la opción mecánica no es muy buena. Sin embargo, el ángulo de cobertura también se puede ajustar electrónicamente al modificar los niveles de operación relativos de los componentes del arreglo. Este proceso se conoce como "ajuste del ángulo de cobertura de amplitud".

Para ampliar el patrón de cobertura, el nivel de la señal hacia las bocinas centrales es atenuado con relación a las exteriores. Esto reduce energía en la zona de empalme del centro, reduciendo por lo tanto la energía del eje y ampliando el ángulo de cobertura. Al reducir el nivel del centro la cobertura se amplía, reducir las bocinas exteriores no necesariamente logra lo contrario. El ajuste del ángulo de cobertura de amplitud se puede hacer en los controles de nivel del procesador de bocinas o en los amplificadores (considerando que las secciones de agudos y graves sean atenuadas en la misma cantidad).

Ajuste del Ángulo de Cobertura de Amplitud Horizontal

Los arreglos pueden ser diseñados para tomar ventaja del ajuste del ángulo de cobertura de amplitud, la forma de hacerlo es la configuración de los canales del amplificador que opera con las bocinas. Los siguientes ejemplos muestran estrategias para operar arreglos de diferentes tamaños.

Niveles separados para las bocinas en situaciones donde el área de cobertura requerida no es simétrica y/o equidistante entre las dos bocinas. Así como se muestra en la figura 5.31.



Figura 5.31. Ajuste del ángulo de cobertura de amplitud con 3 y 4 arreglos de bocinas

El uso de niveles separados para las bocinas internas (A) y externas (B) permite el ajuste del ángulo de cobertura de amplitud para el arreglo. Para una cobertura amplia reduzca A. Para tiro estrecho y largo, mantenga todos los sistemas al mismo nivel. Esto se muestra en la figura 5.32.

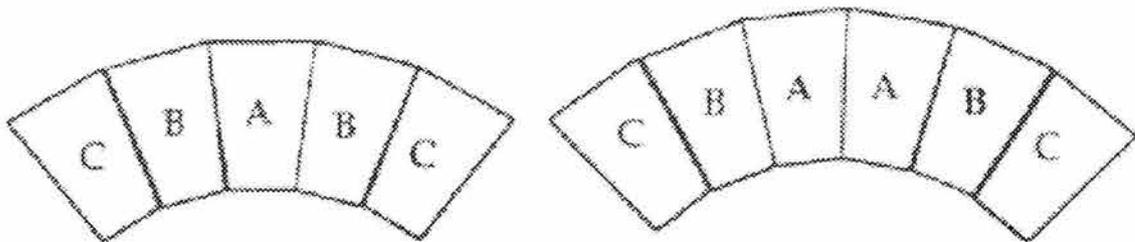




Figura 5.32. Ajuste del ángulo de cobertura de amplitud con arreglos de 5 y 6 bocinas

Niveles separados para la bocina central A, interna B, y externa C, permite el ajuste del ángulo de cobertura de amplitud para el arreglo. Para una cobertura amplia reduzca B y A por 2 *dB* y 4 *dB* respectivamente. Para tiro largo estrecho se mantienen todos los sistemas al mismo nivel.

Ajuste del Ángulo de Cobertura de Amplitud Vertical

Funciona bajo los mismos principios anteriormente descritos. El ajuste del ángulo de cobertura de amplitud es particularmente para sistemas en arreglos verticales porque en la mayoría de los casos el público está más cerca de alguno de los sistemas.

Niveles separados para las bocinas en situaciones donde el área de cobertura requerida no es simétrica y/o equidistante entre las dos bocinas. Esto es muy frecuente en arreglos verticales porque el público generalmente está más cercano a los sistemas inferiores. Así como se muestra en la figura 5.33.



Figura 5.33. Ajuste del ángulo de cobertura de amplitud vertical

Atraso en el Ajuste Electrónico del Ángulo de Cobertura

Los efectos de la cancelación acústica son más extremos cuando dos fuentes sonoras:

- Son iguales en nivel a lo largo de su ancho de banda
- Llegan a diferente tiempo

Al combinar varias bocinas cada posición de escucha es diferente en términos de su distancia desde las bocinas y la orientación axial hacia ellas. Estos dos factores tienen un efecto enorme sobre la respuesta en frecuencia ya que determinará la profundidad de la interacción de la cancelación acústica.

La diferencia de distancia entre dos bocinas idénticas tiene dos efectos:

- Diferencia de nivel
- Diferencia de tiempo entre fuentes

La orientación axial de la posición de escucha afecta la relación de respuesta en frecuencia entre las bocinas (la bocina que se encuentre más sobre el eje tendrá más energía de alta frecuencia).



Estos efectos se pueden controlar hasta cierto punto ajustando la posición y el nivel relativo entre las bocinas. Además pueden ser controlados por un ajuste preciso de las líneas de atraso para sincronizar las bocinas al punto donde la cancelación acústica sea menos extrema. Como se muestra en la figura 5.34.

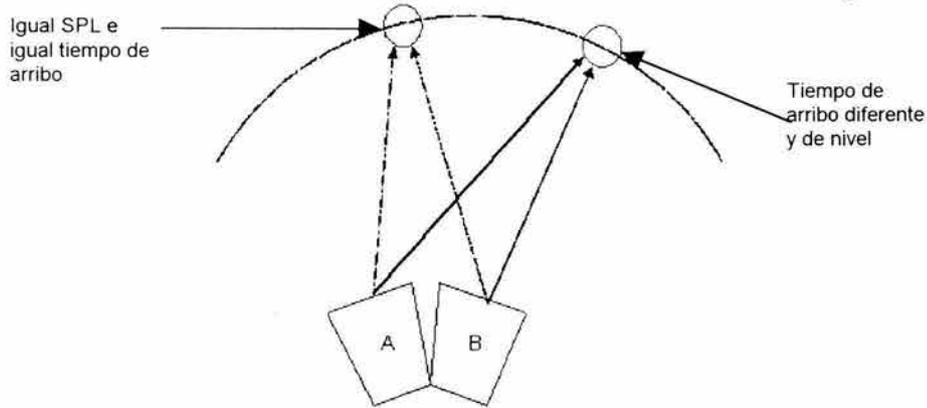


Figura 5.34. La línea geométrica central es el punto donde el nivel y el tiempo son iguales

En este caso las bocinas son idénticas a niveles de operación idénticos. La línea del centro geométrico es tanto el punto de igual energía acústica como de arribo de tiempo. Por lo tanto, los sistemas tendrán máxima adición en este punto. Los puntos a la izquierda y a la derecha del centro mostrarán cancelación acústica al acercarse una a otra bocina. Como se muestra en la figura 5.35. Al alejarse a los lados la cancelación acústica se reducirá debido a la atenuación axial en la bocina más distante.

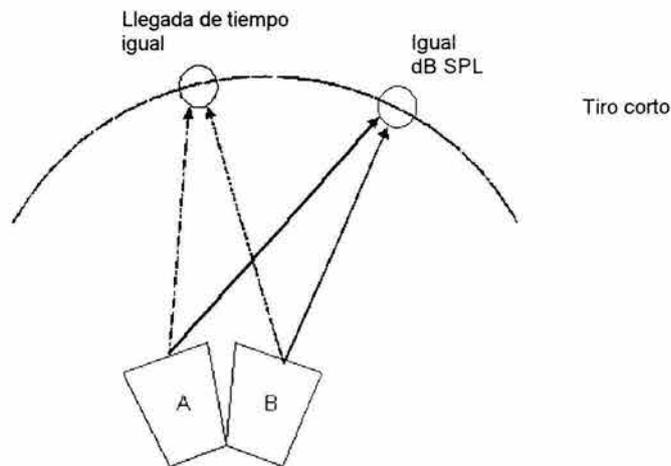


Figura 5.35. Al atenuar la bocina derecha (B), el tiempo geométrico no cambia, pero el punto con igual SPL se desplaza

En circunstancias donde existan requerimientos de cobertura asimétricos, puede ser aconsejable atenuar las bocinas con un tiro más corto. Como se muestra en la



figura 5.36. Observe que el punto de igual energía acústica y arribo de tiempo se han separado, debido a la disminución de energía de la bocina derecha. La posición marcada como "B" representa el punto de igual potencia. Esta posición tendrá una combinación sustancial debido a la diferencia de tiempo y la igualdad en nivel.

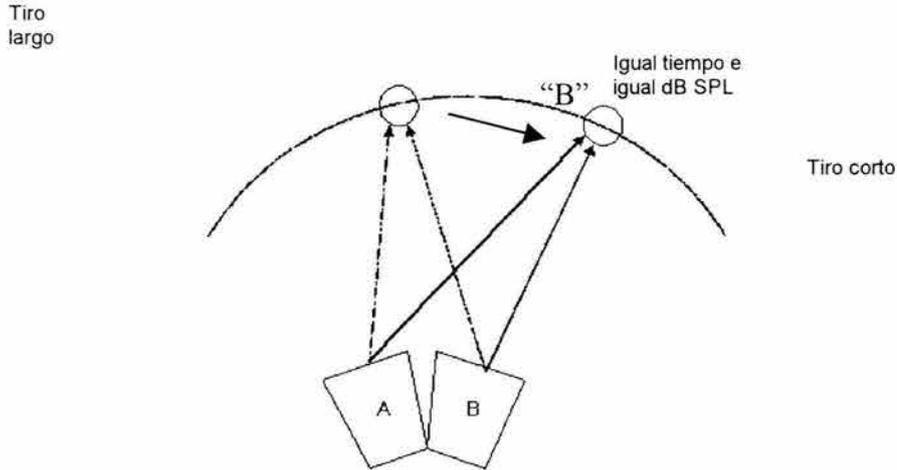


Figura 5.36. Al atrasar la bocina previamente atenuada (B), la imagen sonora se desplaza hacia el punto con igual SPL

La figura 5.36 muestra el efecto de atrasar la bocina derecha previamente atenuada. Esto cambia la posición sincrónica a "B", en línea con la posición de igual energía. Esto eliminará la cancelación en el punto "B".

5.6. CONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE BOCINAS

Configuración de Sistemas de 3 Vías

Esta configuración esta compuesta comúnmente de una bocina de intervalo completo más un subwoofer, esta configuración de sistema crea un sistema triamplificado de intervalo completo, consistente de un subwoofer y de cajas acústicas integrales de 2 vías de intervalo completo. El punto de corte acústico típico esta en 100 Hz entre los sistemas pero cambiaran hacia abajo ligeramente si el sistema de 2 vías es trabajado en todo su intervalo. En la figura 5.37 se muestra el diagrama de flujo.

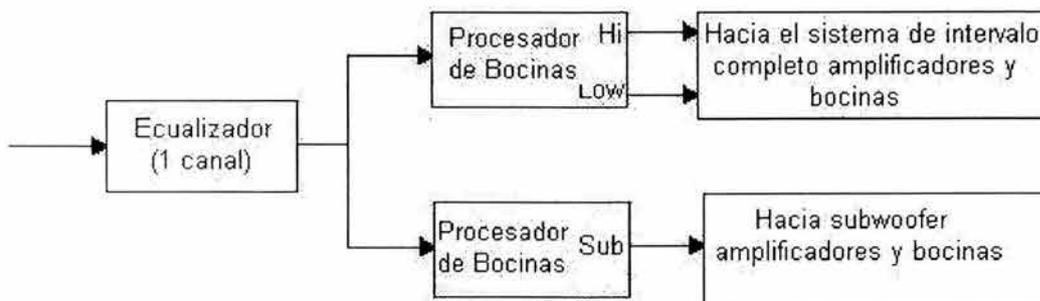


Figura 5.37. Diagrama de bloques de un sistema de 3 vías triamplificado



En la figura 5.38 muestra la respuesta en frecuencia y el punto de corte en estos sistemas.

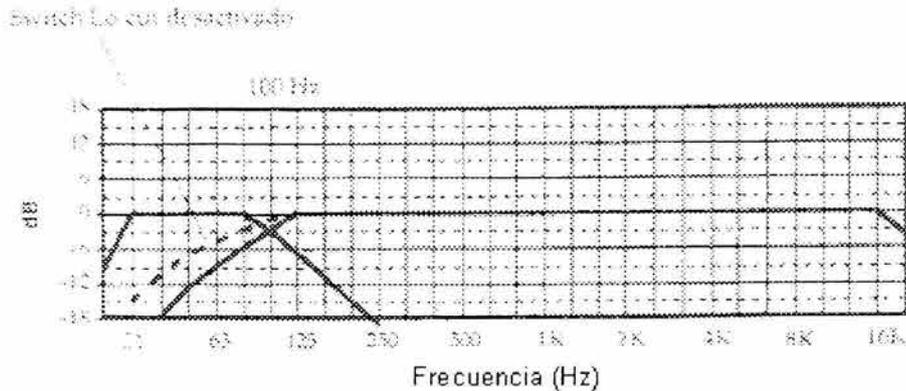


Figura 5.38. Respuesta en frecuencia para un sistema a 3 vías

Configuración de Sistemas de 4 Vías

Esta configuración está compuesta por una bocina de intervalo completo más el subwoofer y el medio grave. Esta configuración de sistemas maximiza la capacidad de potencia de las frecuencias graves y su control direccional. Hay procesadores que tienen la opción de acoplar el punto de corte del subwoofer y el medio grave que comúnmente es en 60 Hz. Esta configuración es muy apropiada para aplicaciones de música rock, en donde generalmente se requieren cantidades más grandes de potencia en las frecuencias graves. Como se muestra en la figura 5.39.

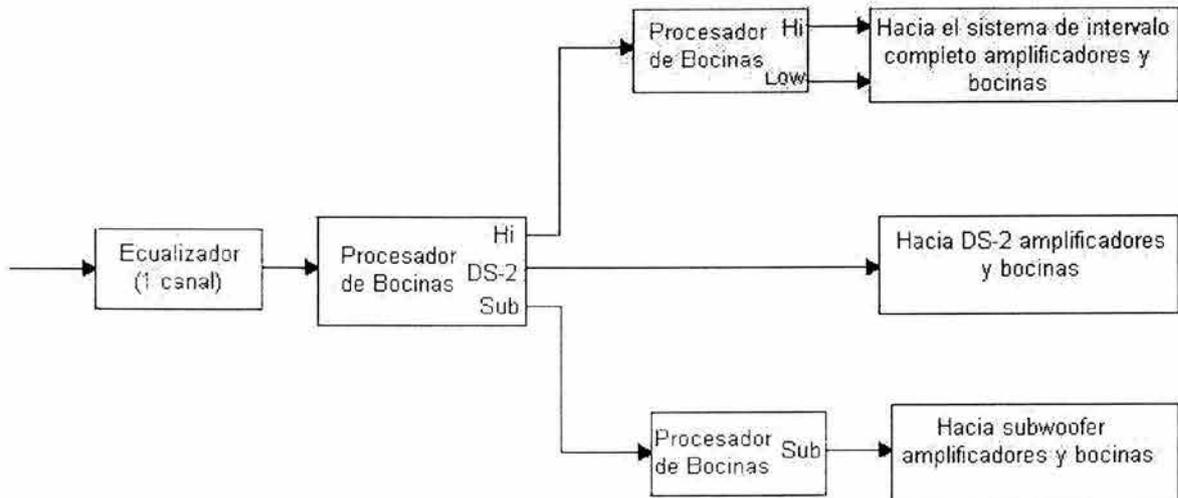


Figura 5.39. Diagrama de bloques de un sistema de 4 vías

En la figura 5.40. se muestra la respuesta en frecuencia y los puntos de corte.

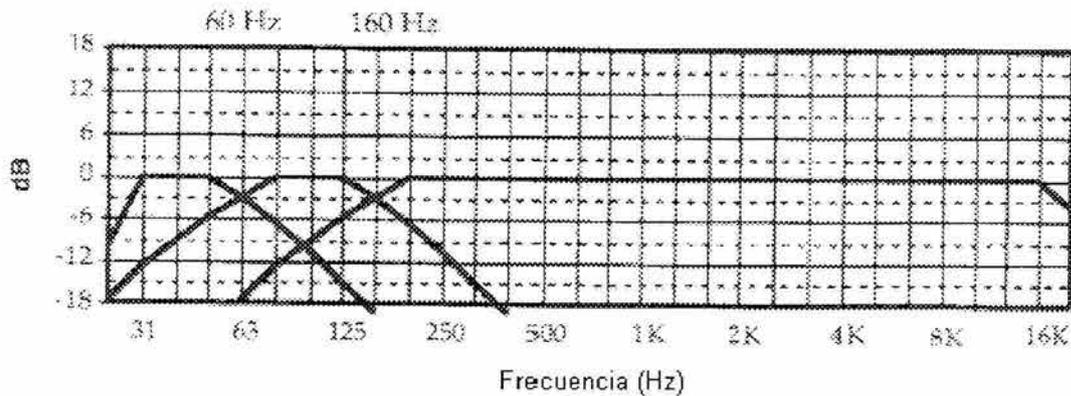


Figura 5.40. Respuesta en frecuencia de un sistema a 4 vías

Configuración de sistemas de 5 Vías

La configuración de 5 vías está conformada por una bocina de intervalo completo, subwoofer, medio grave y más un arreglo de tweeters VHF, esta configuración de sistema es diseñada para aplicaciones de tiro muy largo donde la atenuación de las frecuencias agudas relacionada con la distancia se vuelve muy significativa. Esta configuración está típicamente reservada para sistemas de alta potencia de tiro largo. En la figura 5.41 se muestra el diagrama de bloques.

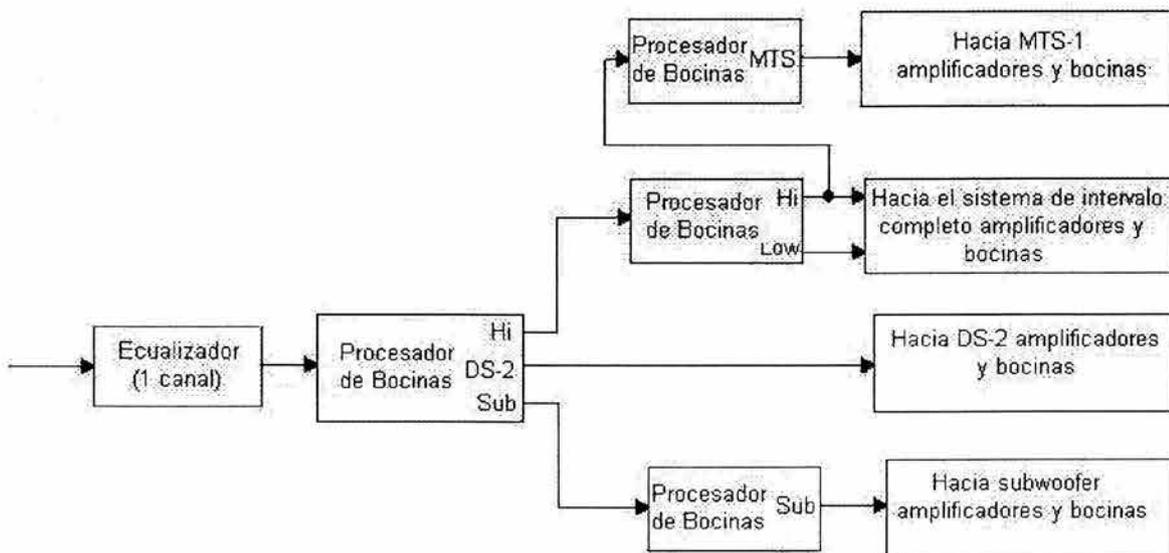


Figura 5.41. Diagrama de bloques de un sistema de 5 vías

En la figura 5.42 se muestra la respuesta en frecuencia así como sus puntos de corte.

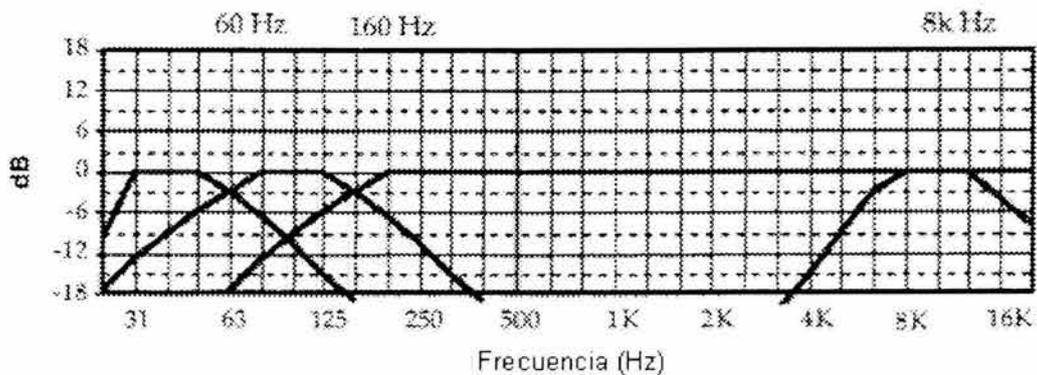


Figura 5.42. Respuesta en frecuencia de un sistema de 5 vías

5.7. TIPOS DE SUBSISTEMAS

Los sistemas de bocinas para sonorización están compuestos de varios subsistemas de bocinas, cada uno de los cuales tienen áreas de cobertura y funciones independientes.

Los sistemas principales son aquellos sistemas diseñados para cubrir la mayor área de público. Los sistemas principales tienden a tener el tiro más largo y por lo tanto necesitan la mayor capacidad de potencia de todos los sistemas.

Algunos diseños de sistemas tendrán varios sistemas principales. Por ejemplo, un sistema estéreo tiene sistemas principales Izquierdo y Derecho. En salas donde las porciones comparables de público están en áreas superiores e inferiores, puede hacer sistemas principales dirigidos a dichas áreas respectivamente.

Ya que los sistemas principales cubrirán la mayor porción de público, tendrán prioridad sobre los demás subsistemas, en cuestión de alineamiento, ecualización y ajustes de nivel. Esto es importante cuando el resto de los subsistemas se suman y se comienzan a ver los aspectos de la interacción.

Tipos de Arreglos

La configuración más común de arreglos principales es la de punto de origen. Los arreglos de punto de origen tienen la ventaja de la menor interacción entre bocinas y la máxima potencia y flexibilidad de cobertura. Los arreglos paralelos pueden desarrollar presiones extremadamente altas, pero no pueden obtener una respuesta de frecuencia y una distribución de nivel uniformes y por lo tanto no son recomendables.

Los arreglos principales deben ser capaces de una reproducción de intervalo completo. Por lo tanto, los sistemas de subwoofer y medio-grave (DS-2) son configurados usualmente como parte del arreglo Principal.

Ejemplo de Arreglos Principales

Los sistemas principales de gran escala necesitan tener alcance a mayores distancias, y por lo tanto necesitan bocinas altamente direccionales. El sistema MSL-10A tiene tal patrón y es uno de los sistemas de Meyer Sound con los que es más fácil diseñar. La cobertura horizontal mínima se logra con 2 unidades. Por cada unidad adicional simplemente suma 30 grados de cobertura.

Principal en Estéreo

Cuando se produce una señal por un par de bocinas estéreo la imagen sonora dependerá del tiempo de arribo relativo y la magnitud de la señal en la posición de escucha. Si ambos factores son iguales, la imagen parecerá estar en el centro entre las bocinas, como se muestra en la figura 5.43.

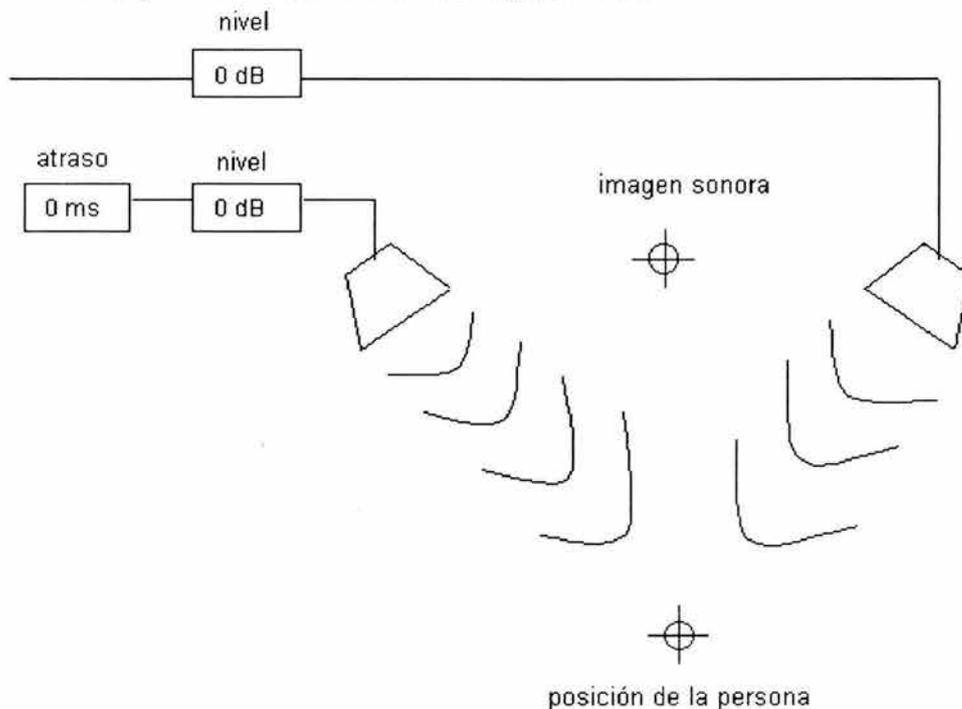


Figura 5.43. Imagen sonora en el centro de la posición de las dos bocinas

Si la señal de una bocina es mayor en nivel, la imagen se moverá hacia la bocina más fuerte, como se muestra en la figura 5.44.

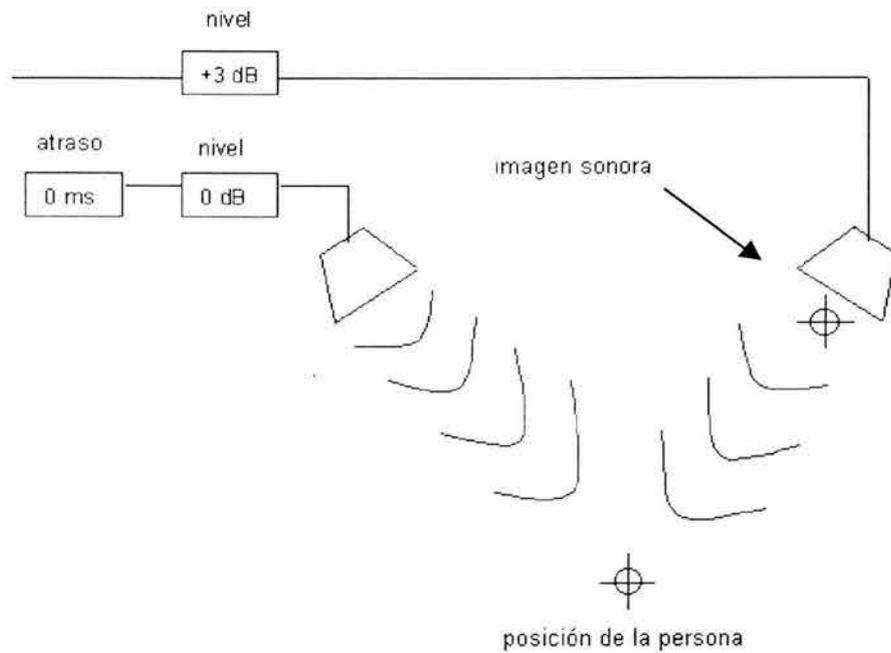


Figura 5.44. Imagen sonora proveniente de la bocina derecha

Si la señal de ambas bocinas es igual en nivel pero una señal de la bocina llega antes entonces la imagen sonora se moverá hacia la señal de la bocina que llegue primero, como se muestra en la figura 5.45.

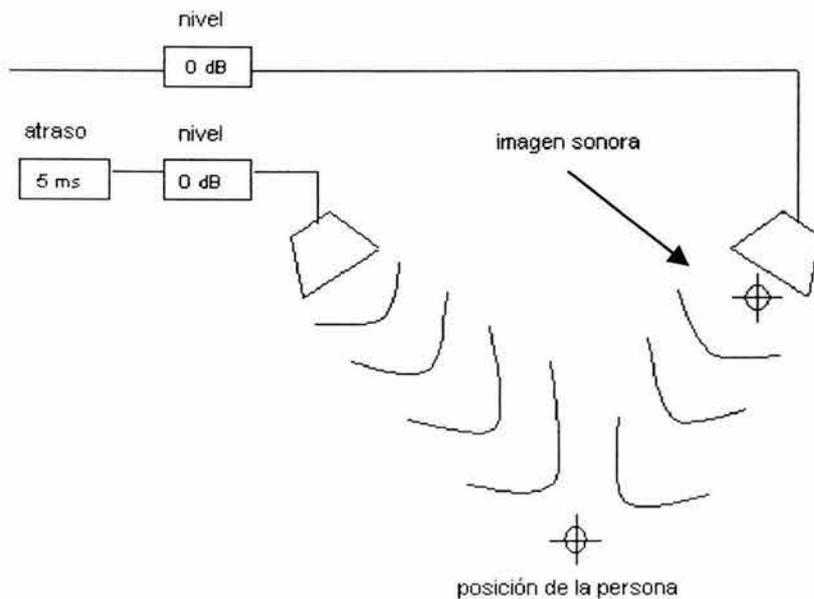


Figura 5.45. Imagen sonora proveniente de la bocina derecha

Si en una posición de escucha dada existe una diferencia tanto de nivel como de tiempo, la posición de la imagen dependerá de su relación como se muestra en la figura 5.46.

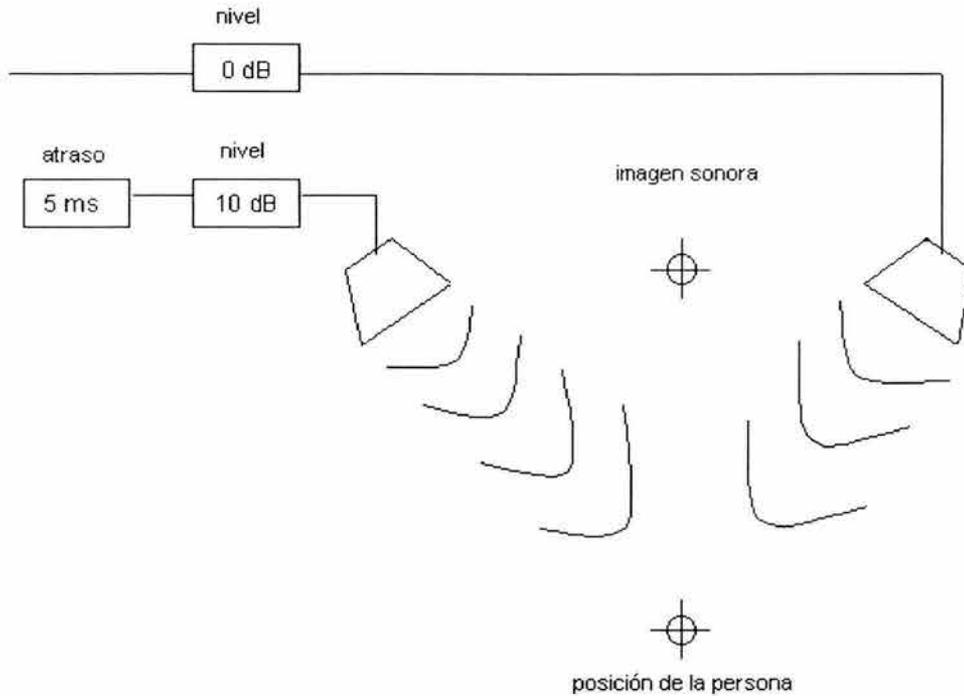


Figura 5.46. Imagen estéreo y el efecto de precedencia

Si la diferencia de tiempo ha excedido los 10 ms, la imagen se moverá hacia la primera bocina o hacia la más fuerte respectivamente. La imagen estéreo es muy efectiva dentro del área del público donde la diferencia del tiempo entre las dos fuentes es menor a 5 ms. En la figura 5.47 el área central tendrá mejor recepción del sonido que el área que se encuentra fuera de la cobertura de las bocinas donde el atraso de tiempo es mayor a 5 ms.

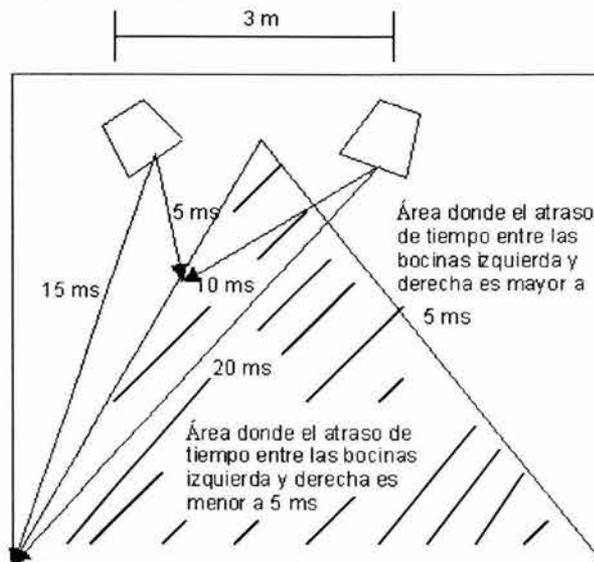


Figura 5.47. Atraso de tiempo entre dos bocinas



En la figura 5.48 se representa un teatro con el mismo atraso de tiempo de 5 ms señalando el área donde el atraso es mayor y menor a 5 ms.

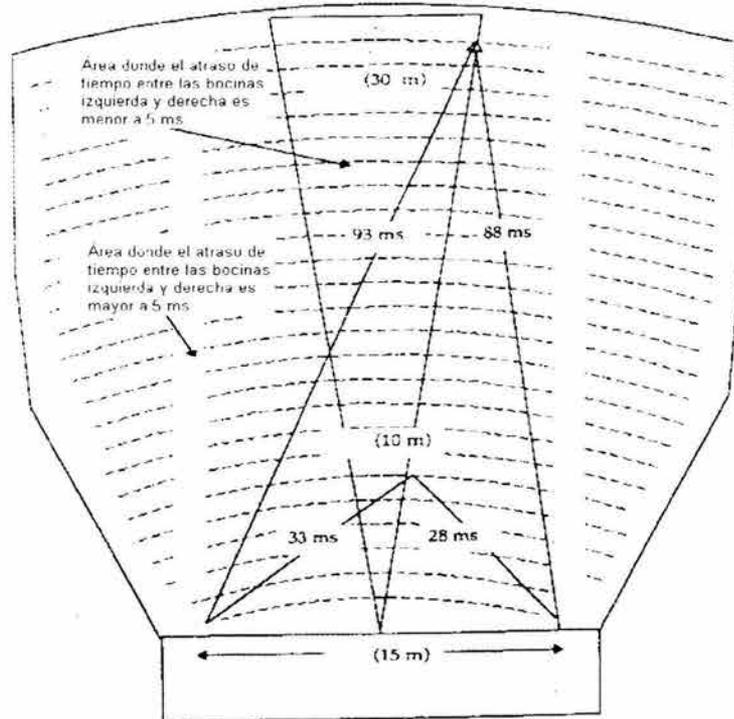


Figura 5.48. Representación de un teatro

Sistemas de Cobertura Hacia Abajo

Los sistemas de cobertura hacia abajo se colocan bajo un sistema principal para incrementar la cobertura vertical. Los sistemas de cobertura hacia abajo generalmente tienen la misma o menor capacidad de potencia máxima que los sistemas principales ya que el público está sentado usualmente más cerca de las bocinas de cobertura hacia abajo. En el área de escucha del sistema de cobertura hacia abajo el campo sonoro consistirá de la respuesta combinada de las bocinas principales y del sistema de cobertura hacia abajo. Por lo tanto, la interacción entre sistemas será crítica para la calidad sonora en el área del sistema de cobertura hacia abajo. Un sistema de cobertura hacia abajo debe usar una línea de atraso para sincronizarlo a la señal que está fuera de eje proveniente del sistema principal.

El sistema principal está diseñado para cubrir la parte trasera de la sala. Por lo tanto, tendrá que ser operado a una sensibilidad mayor que el sistema de cobertura hacia abajo. Como resultado podrá haber más energía proveniente del sistema principal en el área de cobertura hacia abajo. El exceso de energía llegará tarde (en este caso aproximadamente 2 ms). Por lo tanto la cobertura hacia abajo se deberá atrasar 2 ms para evitar cancelaciones.



Cobertura Frontal

Las bocinas de cobertura frontal se localizan generalmente en el borde frontal del escenario. Estas bocinas funcionan para llenar áreas cercanas al escenario. Las bocinas de cobertura frontal sirven como ayuda para la imagen sonora al proporcionar una fuente sonora que esta en la dirección de los artistas. Las bocinas de cobertura frontal se deben operar con una línea de atraso para sincronizarlas al sonido proveniente del escenario. Este se logra al sincronizarlas a una fuente ficticia temporal.

El factor dominante al diseñar sistemas de cobertura frontal es la proximidad relativa de los escuchas. Las bocinas de cobertura frontal generalmente están muy cercanas a los escuchas, y su área de cobertura es poco profunda. Por lo tanto, las diferencias de presión sonora debido a la cercanía relativa de la fuente sonora pueden ser substanciales si se trata de cubrir demasiado con una sola bocina o arreglo. Es por ello que los arreglos estándar de punto de origen funcionan pobremente para estas aplicaciones, que son mejor cubiertas con arreglos paralelos separados o de punto de origen separados (si el escenario es curvo).

Los arreglos en paralelo separados son mostrados en la figura 5.49, hechos con bocinas relativamente direccionales dan la distribución de nivel más uniforme para aplicaciones de cobertura frontal. Tres bocinas de 60° se colocan en una proporción de 1:1 entre las bocinas y la distancia a los primero asientos, observandose que el asiento exterior en la primera fila y el asiento central de la tercera fila están ajustados a nivel. La distribución de nivel varía de $+6 \text{ dB}$ (al frente al centro) hasta -3 dB (atrás a los lados).

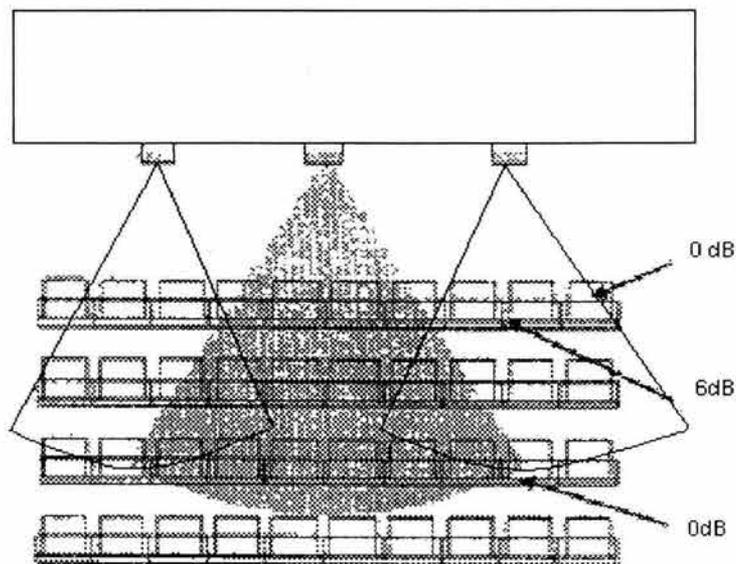


Figura 5.49. Se recomiendan arreglos en paralelo separados para aplicaciones de cobertura frontal



Los arreglos de punto de origen funcionan pobremente para funciones de cobertura frontal. La cercanía del público a las bocinas hace que la distribución de nivel sea el problema mas critico. En aplicaciones teatrales las bocinas pueden estar a tan solo 1 metro de la primera fila, la siguiente fila puede tener tanto como 6 *dB* menos por la duplicación de la distancia. La cuarta fila puede estar hasta 12 *dB* mas abajo. Por lo tanto se puede ver que se esta limitado en términos de la profundidad de tiro para estos sistemas. Si se usa un arreglo o punto de origen, la distancia a los asientos laterales es grande comparada con los asientos centrales y se sufriría con la distribución de nivel, por lo tanto, los arreglos en paralelo separados, o arreglos de punto de origen separados (si el frente del escenario es curvo) son los más comúnmente utilizados para está aplicación. El espaciamiento apropiado entre los gabinetes dependerá de la distancia del tiro y de las características direccionales de la bocina.

Los arreglos de punto de origen estrechos o las bocinas sencillas de cobertura amplia, así como se muestra en la figura 5.50, crean una distribución de nivel pobre puede ver el asiento exterior de la primera fila y el asiento central de la sexta fila tienen el mismo nivel. La bocina central en la primera fila tiene 12 *dB* más que cualquiera de las posiciones anteriores. La distribución de nivel varía entre +12 *dB* (al frente al centro) hasta -6 *dB* (atrás a los lados).

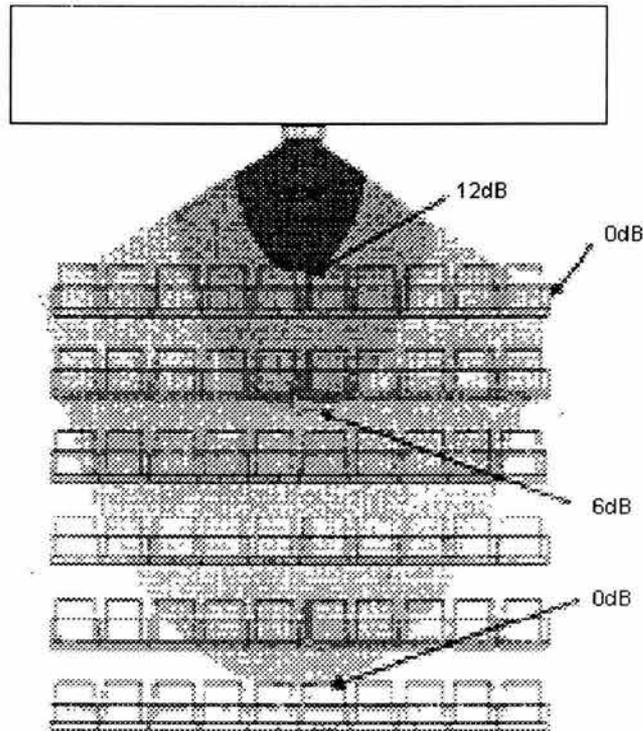


Figura 5.50. Los arreglos estrechos de punto de origen no son muy recomendados debido a la distribución de nivel pobre que ofrecen para estas aplicaciones



Espaciamiento de las Unidades de una Cobertura Frontal

Al diseñar arreglos para cobertura frontal se debe considerar la relación entre el ángulo de cobertura de la bocina, el espaciamiento entre gabinetes y la distancia al público, se considera de antemano que este tipo de arreglo tendrá áreas de empalme. La intención es minimizar el empalme, sin dejar huecos en la cobertura. Los sistemas se deberán empalmar de manera que sus puntos de -6 dB converjan en los primeros escuchas que serán cubiertos.

La figura 5.51 muestra dos bocinas colocadas con la relación apropiada. Para un ángulo de cobertura de 60° "A" (la distancia al público) será igual a "B" (el espacio entre los bocinas)

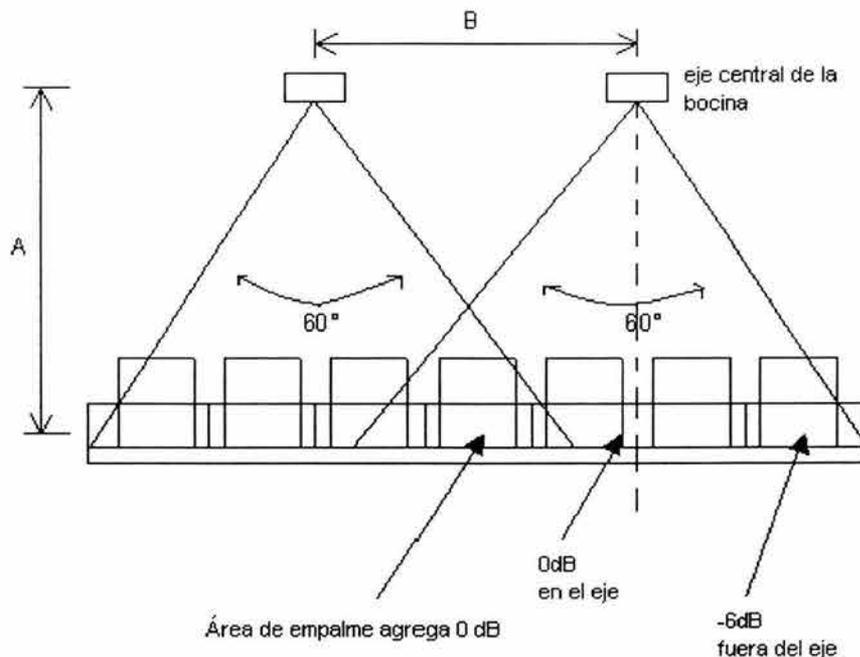


Figura 5.51. El ángulo de cobertura de las bocinas es demasiado estrecho para el espaciamiento actual. No hay huecos en la cobertura

Cobertura Lateral y Cobertura Trasera

Las bocinas de cobertura lateral están diseñadas para cubrir áreas fuera del eje horizontal del sistema principal. Las áreas de público cubiertas por sistemas de cobertura lateral generalmente están bastante cercanas comparadas al sistema principal y tienden a requerir de menor potencia y una cobertura más amplia. En particular los sistemas de Cobertura lateral y Cobertura trasera tendrán necesidades de cobertura vertical amplia.



Sistemas de Atraso

Atrasos Bajo Balcón

Estos sistemas están diseñados para incrementar la relación de sonido directo a reverberante en espacio difícil como bajo un balcón. Estos sistemas deben tener un perfil bajo para no molestar a la vista.

Los primeros dos factores listados arriba son usualmente los más importantes en situaciones bajo balcón. La pérdida en dB de presión sonora es usualmente menor a lo esperado debido a la suma de reflexiones tempranas. El hecho de que la pérdida de presión sonora no sea el factor clave aquí se debe de subir el sistema principal hace poco por resolver la situación bajo el balcón.

La necesidad principal es incrementar la relación de sonido directo a reverberante y restablecer el intervalo de alta frecuencia. Estos se pueden lograr con un mínimo incremento de presión sonora, permitiendo mejorar la inteligibilidad.

El planteamiento de la vieja escuela de bocinas de atraso es poner simplemente un difusor de alta frecuencia, u otro dispositivo de intervalo limitado para llenar las áreas perdidas bajo el balcón. El resultado de esto es que los sistemas que tienen un aumento súbito de la relación de sonido directo a reverberante sobre la banda media, creando una característica sonora artificial. Para hacer el sistema menos molesto el tiempo de atraso se desplaza intencionalmente añadiendo 5 – 15 ms (una variación del efecto de precedencia) lo que disminuye la inteligibilidad y destruye la respuesta en frecuencia.

Como en el caso de los sistemas de cobertura frontal, la cercanía al público es el factor dominante en el diseño de arreglos. Los arreglos de punto de origen separados son óptimos para aplicaciones con un cluster principal central. Esto permite el número mínimo de canales de atraso para ser usados. En los canales Izquierdo/Derecho a la distancia entre los sistemas principales y los atrasos cambiarán sustancialmente al moverse hacia el centro. Estos sistemas beneficiarán al usuario al utilizar varios niveles para los atrasos.

El área útil para una bocina de atraso depende de que tan rápido se acumulen los errores por diferencia de tiempo. Si el error en la diferencia de tiempo es de 10 ms

la respuesta en frecuencia completa tendrá cancelaciones y la relación $\frac{S}{N}$ del

sistema se comprometerá enormemente. La velocidad con la que los errores se acumulan es parcialmente una función de la relación angular entre las bocinas del sistema principal y de atraso. Mientras más cercana sea la relación angular de las dos bocinas, será más lenta la acumulación de errores por diferencia de tiempo. En la figura 5.52 se muestran las bocinas de atraso con diferentes relaciones angulares.

En cada caso se asume que la bocina esta sincronizada en el centro del área de cobertura del atraso. El sombreado indica el área donde los errores por diferencia de tiempo son menores 10 ms. La sombra más clara indica que el sistema principal llega antes de tiempo, la sombra más oscura indica el atraso. Estas

figuras muestran que el área útil se estrecha rápidamente al exceder la diferencia angular de los 30°. Si se usan ángulos muy inclinados, la bocina de atraso debe tener un patrón muy controlado para prevenir la contaminación hacia áreas vecinas.

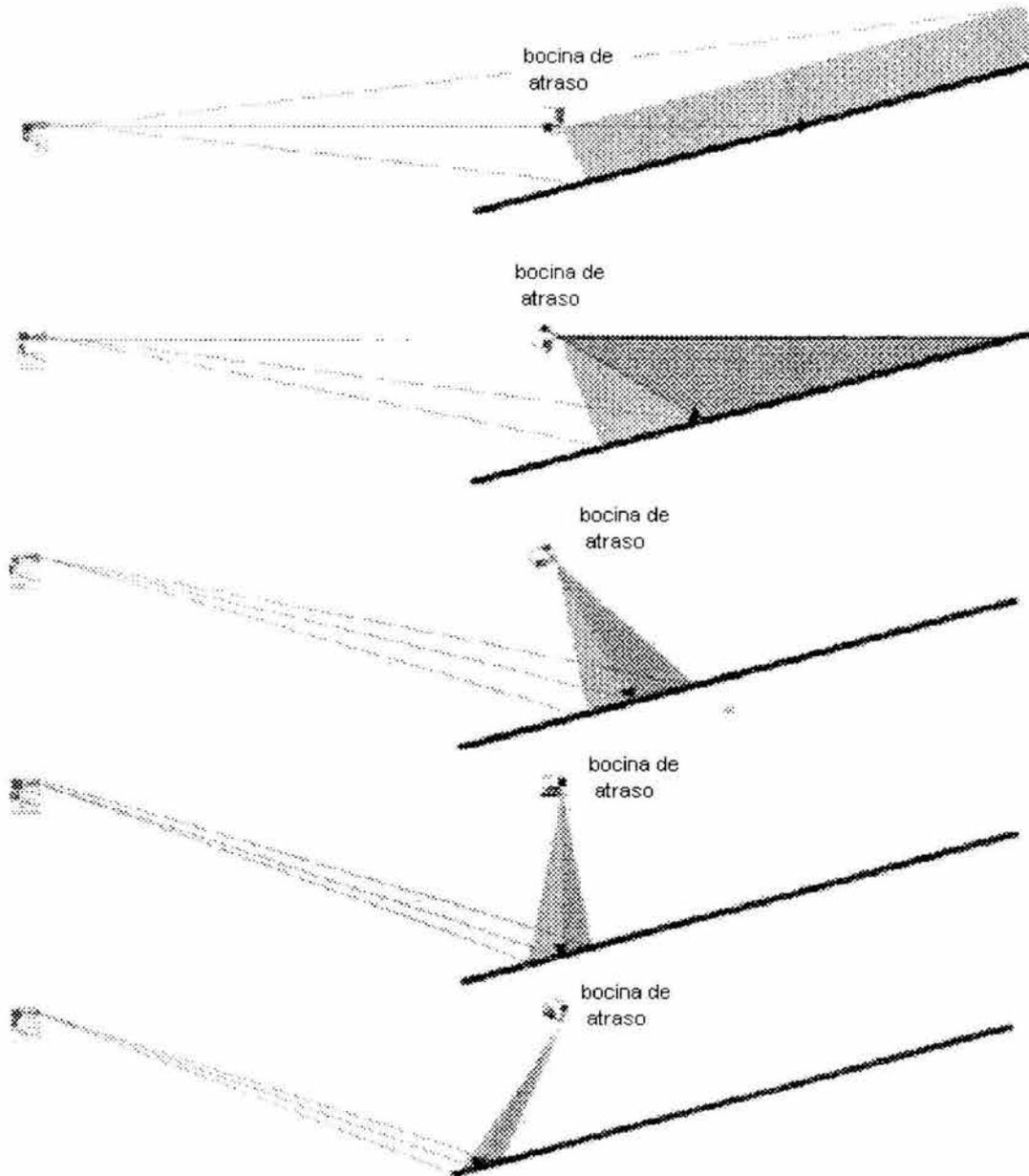


Figura 5.52. Bocinas de atraso con diferentes relaciones angulares

Torres de Atraso

Cuando se tienen que cubrir grandes distancias con el sistema principal este se puede complementar con torres de atraso.



Las torres de atraso se usan más comúnmente en espacios abiertos. En contraste con los atrasos complementarios, estos sistemas tendrán que tener alta potencia también. En espacios al aire libre las pérdidas se aproximan a los 6 *dB* por cada duplicación de la distancia. Las torres de atraso deben contrarrestar esto sin sumar ni molestar a los escuchas frente a ellos. La pérdida de alta frecuencia por transmisión en el aire es relativa a la distancia que tiene que viajar el sonido y se puede compensar con bocinas atrasadas que se encuentren más cerca de los escuchas. Estos sistemas también están diseñados para incrementar la relación de sonido directo a reverberante en grandes espacios como en estadios. Estos deben tener un perfil bajo para no obstruir la vista. Debe ser altamente direccionales para prevenir la interacción destructiva con otros subsistemas de bocinas.

Distancias para Torres de Atraso

En caso dado que se pueda determinar la posición de las bocinas se debe de considerar: La pérdida por la propagación para las bocinas principales y de atraso no corresponde una de la otra sobre la distancia por que es relativa a la duplicación de la distancia desde la fuente, poniendo como ejemplo un sistema que debe cubrir 100 metros, el sistema principal puede alcanzar 130 *dB* a 1 metro. La pérdida al fondo sería de 40 *dB* para la respuesta de 1 metro dando un total de 90 *dB*. Sin embargo, la pérdida sobre los últimos 50 metros es de solo 6 *dB* lo que significa que en el punto medio (50 metros) la pérdida desde ahí hasta el fondo sería de 34 *dB*. Para alcanzar los 94 *dB* debemos sumar a la señal del sistema principal al menos 88 *dB* (esto se combinara con los 90 para alcanzar 94). El sistema de atraso necesitará generar 122 *dB* a 1 metro. En la posición de atraso la señal de la misma bocina debe ser 28 *dB* más fuerte que la señal principal. En el fondo la señal del sistema principal será 2 *dB* más fuerte que el atraso. En el área de la torre de atraso es probable que haya una interferencia sustancial con el sistema principal. Por contraste si cambiamos la torre a 75 metros, la pérdida del atraso es de sólo 28 *dB* y se puede operar 6 *dB* más bajo.

Sistemas de Monitoreo de Escenario

Los factores dominantes en el desempeño de un sistema de monitores de escenario son:

- La interacción de la bocina y el micrófono
- La respuesta de la bocina
- Condiciones de confinamiento de campo cercano

La interacción de la bocina y el micrófono es un factor muy dominante en los monitores de escenario, esto se puede dividir en:



- Las características direccionales del micrófono
- Las características direccionales de la bocina
- La distancia entre la bocina y el micrófono

La señal que pasa a través de un monitor de un escenario es una mezcla de señal directa y regenerativa. Por “directa” se refiere a cuando el monitor reproduce una señal que no a sido regenerada, como la señal directa de un sintetizador o de un bajo. Por “regenerada” sería a la suma de la señal de salida y realimentada por medio del monitor. A la suma de energía directa y atrasada tiene todos los aspectos de cancelaciones. Además se debe considerar que la energía se sumará en el micrófono, lo cual tendrá un efecto dramático sobre la calidad de la señal tanto en el monitoreo como en la sala. Las cancelaciones de la voz regenerada pueden ser reducidas hasta cierto punto mediante ecualización.

El proceso de ecualización se divide en tres etapas:

- La ecualización del sistema de bocinas mismo y del ambiente acústico. Esto se hace generalmente con ecualizadores externos
- La ecualización de las vías de la señal regenerativa. Esto se puede hacer mediante un ecualizador externo o el de su canal
- La ecualización de las señales directas. Esto se puede hacer con las ecualizaciones del canal

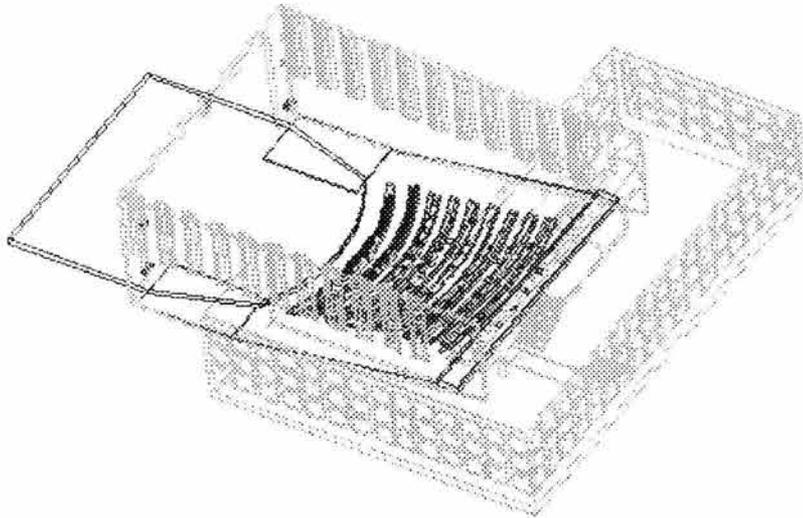
La razón para ello es que cuando se ecualiza el sistema para la vía regenerativa, donde es probable que se tomen medidas drásticas, las señales directas que no necesitan la ecualización sonara mal.

Una solución es doblar el número de monitores de escenario y separarlos en sistemas de música y vocales. Esto tiene la ventaja de permitir ecualizaciones separadas y además los músicos pueden localizar más fácilmente su voz y los instrumentos ya que vienen de diferentes posiciones. Este efecto psicoacústico es similar a la forma en que somos capaces de localizar a una persona hablando en un sala llena de gente, al poner atención en su posición.

Otra opción es dirigir el canal vocal a través de un ecualizador externo, compensando los efectos regenerativos ahí, y dejando la bocina lineal entonces ambas señales, directas y regenerativas sonoras naturales.

Se debe tener mucho cuidado al respecto a la posición de los monitores de escenario y los micrófonos, por que con pequeños cambios en la posición puede cambiar la respuesta en frecuencia dando como resultado la realimentación.

Con el micrófono a una altura de 1.5 metros resultara un cancelación de una diferencia de tiempo de 5.4 ms (una cancelación en 185 Hz). Esta relación define donde estarán los picos y valles, y el rechazo del micrófono y el nivel necesario para ensordecer al músico, determinara la profundidad de las cancelaciones. Si subimos el micrófono para un músico más alto esta vez la diferencia de tiempo cambiara a 5.9 ms (cancelación en 169 Hz).



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el diseño de sonorización para una discoteca-bar con su análisis de equipamiento, se hacen los cálculos de presión sonora y de potencia requerida para el funcionamiento de todo el sistema, se analiza el acomodo de bocinas dependiendo de su dispersión acústica y del grado de inteligibilidad que se requiera así como del nivel sonoro requerido, todo esto apoyado con planos y figuras.

También se analiza el diseño de sonorización de un teatro, basándose en los diagramas del sistema de sonorización del teatro a estudio, se hacen los cálculos del nivel sonoro, los cálculos de potencia requerida para el sistema de sonorización, se calcula el tiempo de reverberación, se analizan los diagramas de posicionamiento del sistema de bocinas, todo esto apoyado con planos y figuras.



6.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR

Tipo de Actividad

La discoteca-bar tiene como actividad principal el entretenimiento musical basado en la reproducción de música grabada.

Necesidades Sonoras

Las necesidades de niveles de presión sonora son comúnmente de 100 *dB SPL* a 115 *dB SPL*, y el tiempo que las personas están expuestas a esta presión sonora es muy largo y sobrepasa lo que recomienda la OMS (Organización Mundial de la Salud) que es de 110 *dB SPL* como máximo en un tiempo de exposición de 2 horas.

El diseño del sistema de sonorización contempla esta necesidad sonora, además se calibran los equipos conforme a las normas de nivel permitidas que es un nivel de 110 *dB*, pero puede responder a más niveles de presión, hasta 115 *dB SPL* como máximo.

Descripción del Lugar

Se adaptó un área de oficinas en un 4° piso de un edificio para acondicionarlo como una discoteca-bar. El área es rectangular de 278.39 m^2 con una altura de 4 *m*. El lugar cuenta con una pista de baile de 6 *m* X 6 *m*, una zona de mesas de 9.70 *m* X 5.60 *m*, y un bar como se muestra en el plano 6.1.

Distribución de las Bocinas

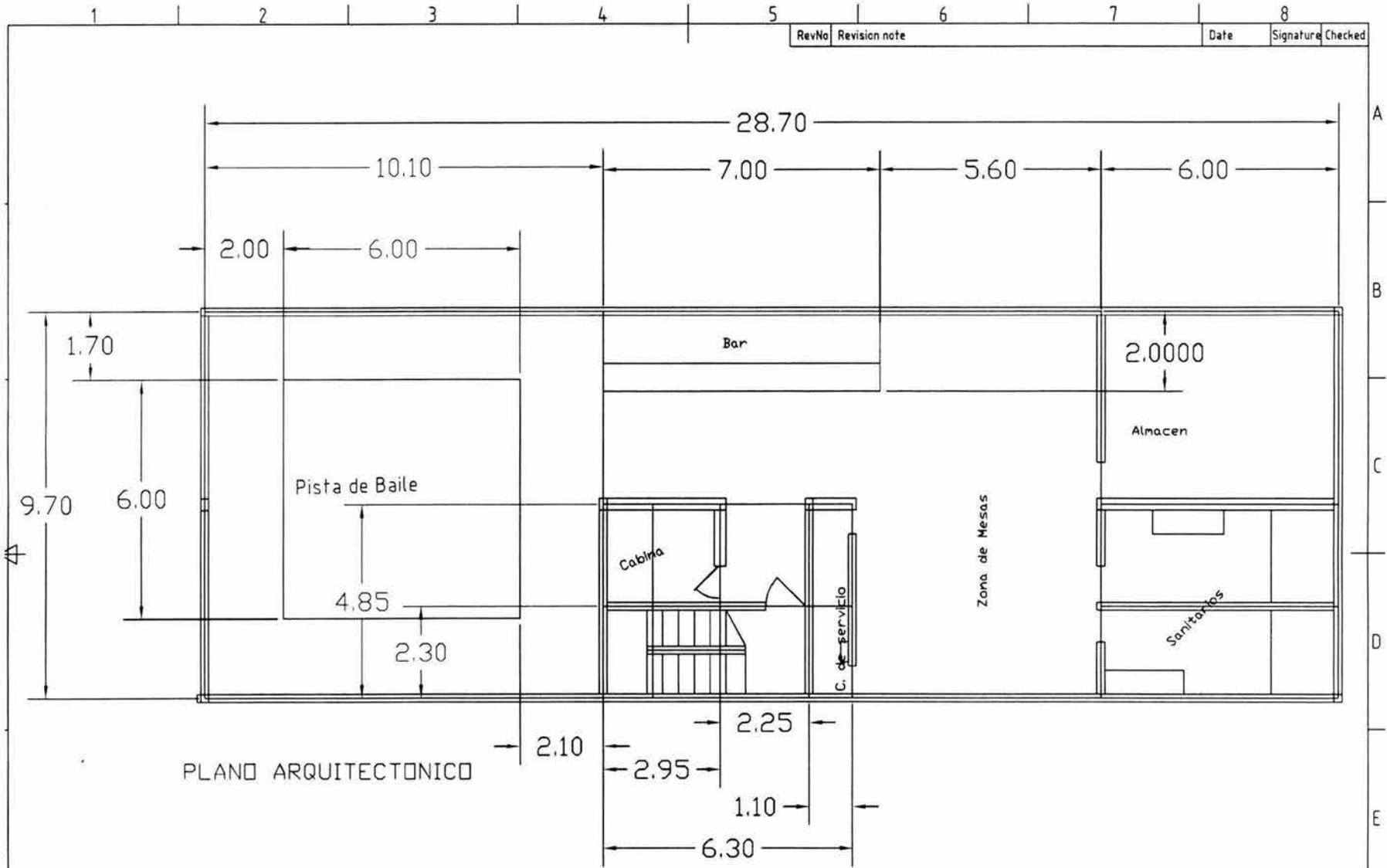
Para el diseño de sonorización de la discoteca-bar se escogió la marca EAW por ser una de las marcas líderes a nivel mundial en investigación y creación de bocinas, además de tener varios modelos que se adaptan a las necesidades del lugar.

En la pista de baile donde la presión sonora debe ser de 110 *dB SPL*, se seleccionaron 2 modelos de bocinas los cuales son:

- JF200e de alcance medio con una potencia de 700 Watts
- DCS8 subwoofer con una potencia de 2000 Watts

En el área de la pista de baile se colocaron un total de 4 bocinas para tener la mayor potencia, dos bocinas modelo JF200e y 2 subwoofers modelo DCS8 los cuales se colocaron en las orillas del salón de la pista de baile. En las figuras 6.1 y 6.2 se muestran las hojas de especificaciones técnicas de estos dos modelos de bocinas.

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



PLANO ARQUITECTONICO

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 16/06/03	File name Discoteque	Date 16/06/03	Scale None	
Tesis			Plano Superior Arquitectonico de la Discoteca-Bar			
			Plano 6.1	Edition 0	Sheet 1/1	



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

Physical

System Configuration 2-way, full range
 LF Subsystem & Loading One 12 in woofer, vented
 HF Subsystem & Loading One 2 in exit/3 in voice coil compression driver on WGP™
 Operating Mode Switchable: passive or bi-amplified (passive LF/HF)
 Controls (switches, knobs) Powering mode switch

Dimensions (±0.13 in / ±3 mm)
 Height 22.43 / 570
 Front Width 14.68 / 373
 Rear Width 4.94 / 125
 Depth 14.75 / 375
 Trapezoid Angle (degrees) 22.5 per side

Weights (pounds / kilograms)
 Net Weight 74.0 / 33.6
 Shipping Weight 81.0 / 36.8

Performance

Frequency Response
 ±3 db 66 Hz to 18 kHz
 -10 dB 55 Hz
 Recommended High-Pass Frequency 50 Hz, 24 dB / octave
Axial Sensitivity (dB SPL, 1 watt @ 1 m)
Full Range Passive 98
 LF 98
 HF 104
Nominal Input Impedance (ohms)
Full Range Passive 8
 LF 8
 HF 8
Power Handling (watts, continuous)
Full Range Passive 500
 LF 500
 HF 200
 Calculated SPL Limit (referenced to 1 m)
 Full Range Passive Peak 131.0
 LF Peak 131.0
 HF Peak 133.0
Full Range Long Term 125.0
 LF Long Term 125.0
 HF Long Term 127.0
 Nominal Dispersion (degrees @ -6 dB)
Conical 90°

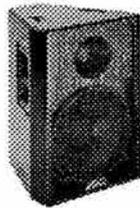


Figura 6.1. Bocina modelo JF200e de EAW

Physical

System Configuration Subwoofer
 LF Subsystem & Loading Two 18 in woofers, vented

Dimensions (±0.13 in / ±3 mm)
 Height 24.88 / 632
 Front Width 70.18 / 1783
 Rear Width 45.40 / 1153
 Depth 25.70 / 653

Weights (pounds / kilograms)
 Net Weight 196.0 / 89.1
 Shipping Weight 206.0 / 93.6

Performance

Frequency Response
 ±3 db 31 Hz to 200 Hz (36 Hz w/out CCEP)
 -10 dB 25 Hz (30 Hz w/out CCEP)
 Recommended High-Pass Frequency 25 Hz, 24 dB / octave
Axial Sensitivity (dB SPL, 1 watt @ 1 m) LF 98
Nominal Input Impedance (ohms) LF 4
Power Handling (watts, continuous) LF 2000
Calculated SPL Limit (referenced to 1 m)
 LF Peak 137.0
LF Long Term 131.0

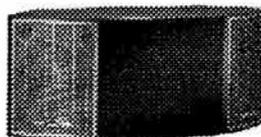


Figura 6.2. Bocina tipo subwoofer modelo DCS8



Para el área restante se propuso el modelo de bocina UB12SE de EAW, en este caso se utilizaron 12 bocinas de este modelo con la característica de que estas bocinas son pequeñas, ya que la discoteca-bar así lo requiere para no perder inteligibilidad, presión sonora y cobertura en toda la discoteca-bar. En el plano 6.2 se muestra la distribución de las bocinas en la discoteca así como las áreas que se requieren sonorizar.

En la figura 6.3 se muestra la bocina UB12SE con sus especificaciones técnicas.

Physical

System Configuration 2-way, full range
 LF Subsystem & Loading One 5.25 in woofer, vented
 HF Subsystem & Loading One 1 in soft dome tweeter on WGP™
 Operating Mode Passive only

Dimensions (±0.13 in / ±3 mm)
 Height 10.75 / 273
 Width 6.37 / 162
 Depth 6.00 / 152

Weights (pounds / kilograms)
 Net Weight 10.0 / 4.5
 Shipping Weight 23.0 / 10.5

Performance

Frequency Response
 ±3 dB 98 Hz to 20 kHz
 -10 dB 60 Hz
 Recommended High-Pass Frequency 60 Hz, 24 dB / octave
Axial Sensitivity (dB SPL, 1 watt @ 1 m)
 Full Range Passive 89
Nominal Input Impedance (ohms)
 Full Range Passive 8
Power Handling (watts, continuous)
 Full Range Passive 140
Calculated SPL Limit (referenced to 1 m)
 Full Range Passive Peak 116.5
Full Range Long Term 110.5
 Nominal Dispersion (degrees @ -6 dB)
 Conical 120°



Figura 6.3. Bocina modelo UB12SE de EAW

Cálculo del Nivel de Presión Sonora en el Centro de la Pista de Baile

El nivel de presión sonora en la pista de baile se calcula de la siguiente manera: Los cálculos se hacen con la bocina del modelo JF200e que es la que se utiliza en la pista de baile, esta bocina es de intervalo completo que es como normalmente funciona. Su sensibilidad es de 98 *dB SPL* a 1 metro de distancia y a 1 Watt de referencia.

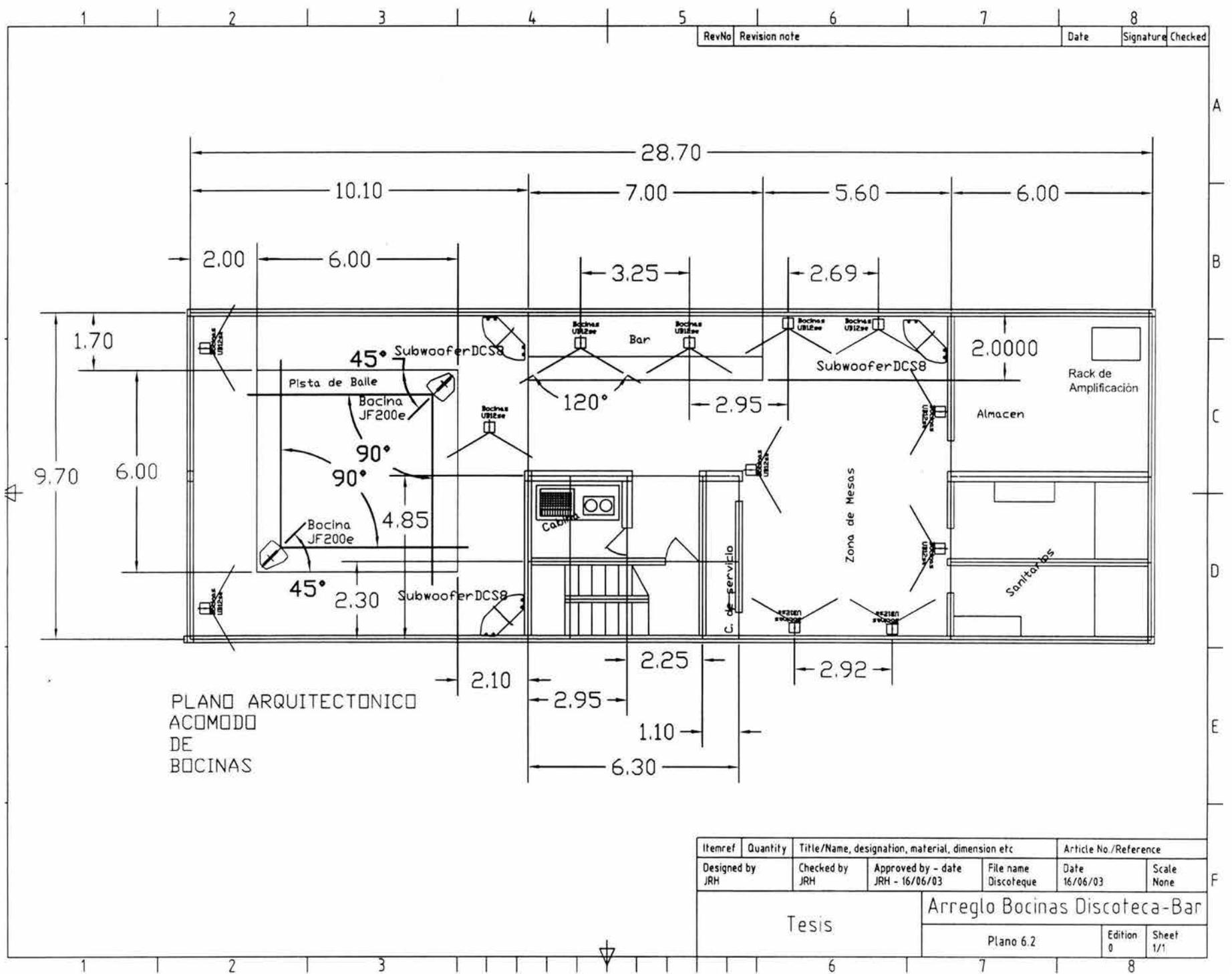
Utilizando la expresión de decibel del capítulo 2:

$$dBW = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_0} \right)$$

y sustituyendo valores se tiene:

donde $P_0 = 1$ Watt de referencia a 1 metro

$P_1 = 500$ Watts es la potencia de intervalo completo RMS de la bocina



PLANO ARQUITECTONICO
ACOMODO
DE
BOCINAS

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference		
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 16/06/03	File name Discoteque	Date 16/06/03	Scale None
Tesis			Arreglo Bocinas Discoteca-Bar		
			Plano 6.2	Edition 0	Sheet 1/1



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

$$dBW = 10 \log \left(\frac{500W}{1W} \right)$$
$$dBW = 26.99 \text{ dB}$$

La presión sonora a 1 metro de distancia en estado continuo es:

$$SPL_{\text{continuo}} = \text{Sensibilidad} + dBW$$
$$SPL_{\text{continuo}} = 98 \text{ dB} + 26.99 \text{ dB}$$
$$SPL_{\text{continuo}} = 124.99 \text{ dB}$$

En la figura 6.4 se muestra el arreglo de bocinas en su vista superior para esta sección de la discoteca-bar con su respectiva dispersión horizontal.

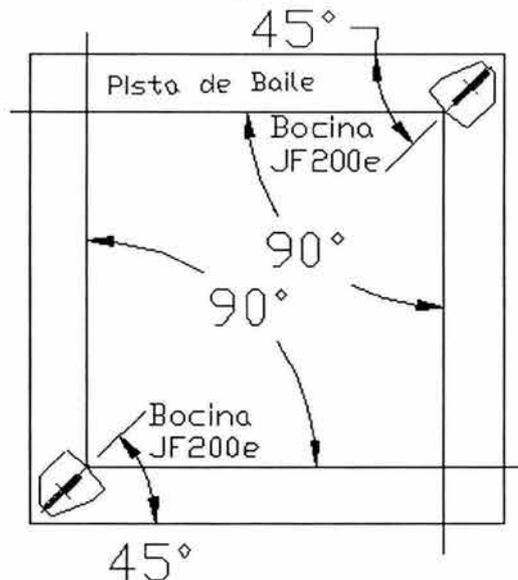


Figura 6.4. Arreglo de bocinas horizontal para la pista de baile

La expresión para la atenuación con el aumento de la distancia es la siguiente:

$$dB \text{ SPL } dm = SPL \text{ } dr + 20 \log \left(\frac{dr}{dm} \right)$$

donde:

dr = distancia de referencia a (1 m)

dm = distancia medida en (m)

Teniendo en cuenta que la persona está en el eje de la bocina y en el centro de la pista, la distancia a la cual se encuentra la persona de la bocina es de 3.06 m ,



aplicando la expresión anterior se calcula la presión sonora en el centro de la pista.

La máxima presión sonora a 1 metro de distancia es de 125 dB SPL , se comprueba que el valor calculado es aproximadamente el mismo que el de las hojas de especificaciones de la bocina JF200e que se muestra en la figura 6.1.

Ahora se calcula la presión sonora a la persona más cerca en el eje de la bocina en la pista de baile.

$$dB \text{ SPL } dm = 125 + 20 \log \left(\frac{1}{3.06} \right)$$

$$dB \text{ SPL } dm = 115.28 \text{ dB}$$

Este valor sobrepasa los 110 dB SPL necesarios para sonorizar esta área, se tiene energía suficiente de más para no quemar la bobina o no romper el cono de las bocinas esto es por si se requiere más potencia.

En la pista de baile se ubican 2 bocinas del mismo modelo una enfrente de la otra en fuego cruzado, una bocina genera 115.28 dB SPL y la otra bocina genera la misma cantidad de decibeles, para dos fuentes no coherentes que radian la misma cantidad de dB SPL y son alimentadas por dos señales diferentes el aumento es de 3 dB SPL , por lo tanto el valor total en la pista de baile es de $\text{dB SPL} = 118.28 \text{ dB}$ como máximo sin perjudicar las bocinas, claro esta que el nivel que prevalece es de 110 dB SPL como máximo.

En la figura 6.5 se muestra la posición vertical de las bocinas esta depende de su cobertura la cual es de 90° cónicos.

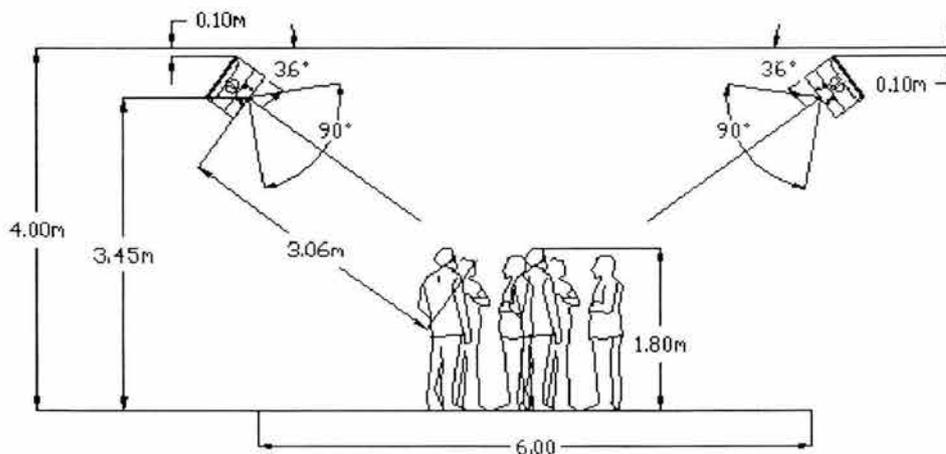


Figura 6.5. Posición vertical de las bocinas de la pista de baile



Cálculo de Nivel de Presión Sonora en Áreas Restantes

Para el área restante se proponen bocinas de potencia menor logrando así en toda esta área de la discoteca se tenga 100 *dB SPL* en promedio, para ésta área se utilizan bocinas pequeñas y en arreglos en paralelo, estos arreglos sólo se recomiendan si el lugar es pequeño, como en este caso, y que la gente este cerca de las bocinas.

Las bocinas que se utilizan para sonorizar el área restante son del modelo UB12SE de EAW, que tienen una sensibilidad de 89 *dB SPL* a 1 metro de distancia y a 1 Watt de referencia. Se calcula el nivel de presión sonora de la siguiente forma:

$$dBW = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_0} \right)$$

donde:

P_0 = 1 Watt de referencia a 1 metro

P_1 = 140 Watts es la potencia de intervalo completo rms de la bocina sustituyendo valores se tiene:

$$dBW = 10 \log \left(\frac{140W}{1W} \right)$$
$$dBW = 21.46 \text{ dB}$$

se tiene que la presión sonora a 1 metro de distancia es:

$$SPL_{continuo} = \text{Sensibilidad} + dBW$$
$$SPL_{continuos} = 89 \text{ dB} + 21.46 \text{ dB}$$
$$SPL_{continuos} = 110.46 \text{ dB}$$

La máxima presión sonora a 1 metro de distancia es de 110.5 *dB SPL*, se comprueba que el valor calculado es aproximadamente el mismo que el de las hojas de especificaciones de la bocina UB12SE que se muestra en la figura 6.3, y teniendo en cuenta que la gente va a estar a 2.03 metros de distancia la presión sonora es de:

$$dB \text{ SPL } dm = 110.5 + 20 \log \left(\frac{1}{2.03} \right)$$
$$dB \text{ SPL} = 104.35 \text{ dB}$$

Este valor corresponde al obtenido en el eje de la bocina donde mayor presión sonora se ejerce.

Estas bocinas están en arreglos en paralelo separadas a una distancia en la que la interacción sea lo menos posible para reducir las cancelaciones en las áreas deseadas.



Suponiendo un escucha entre dos bocinas, en un arreglo paralelo dado que son dos fuentes coherentes, es decir que las alimenta la misma señal, la potencia se incrementa 6 *dB SPL* cuando el escucha esta a una distancia equidistante entre las dos bocinas. En la figura 6.6 se muestra la posición vertical de la bocina.

En el plano 6.2 se muestra la vista superior de la discoteca-bar observándose el posicionamiento de todas las bocinas para la pista de baile y el área restante, el número de bocinas del modelo UB12SE es de 12, fueron seleccionadas por los grados de dispersión que tiene la bocina el cual es de 120°, teniendo en cuenta el *SPL* continuo de cada bocina para cubrir las necesidades de presión sonora requerida en la discoteca-bar sin perder claridad.

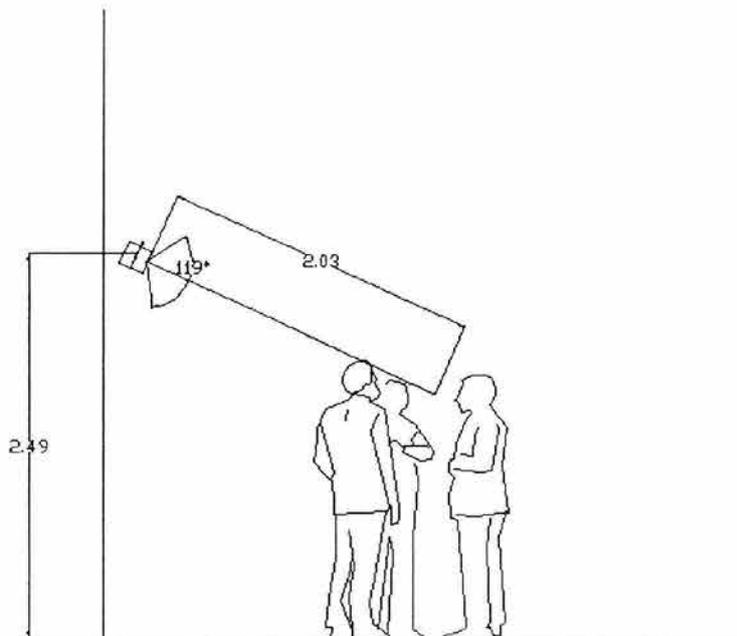


Figura 6.6. Posición vertical de la bocina UB12SE

Cálculo del Nivel de Presión Sonora de los Subwoofers

Los subwoofers modelo DCS8 de EAW son los seleccionados para esta área ya que reproducen gran nivel sonoro que es lo que se necesita en la discoteca-bar. El subwoofer DCS8 tiene una sensibilidad de 98 *dB* a 1 metro de distancia y a 1 Watt de referencia. Este es utilizado para hacer el cálculo del nivel de presión sonora del subwoofer de la siguiente manera:

$$dBW = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_0} \right)$$

sustituyendo valores se tiene:



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

donde $P_0 = 1$ Watt de referencia a 1 metro

$P_1 = 2000$ Watts es la potencia de intervalo completo del subwoofer

$$dBW = 10 \log \left(\frac{2000W}{1W} \right)$$
$$dBW = 33.01 \text{ dB}$$

Con lo que se tiene que el nivel sonoro continuo a 1 metro de distancia es:

$$SPL_{\text{continuo}} = \text{Sensibilidad} + dBW$$
$$SPL_{\text{continuo}} = 98 \text{ dB} + 33.01 \text{ dB}$$
$$SPL_{\text{continuo}} = 131.01 \text{ dB}$$

La máxima presión sonora a 1 metro de distancia es de 131 *dB SPL*, se comprueba que el valor calculado es aproximadamente el mismo que el de las hojas de especificaciones de la bocina DCS8 que se muestra en la figura 6.2.

Los subwoofers están colocados en el piso, se utilizan 3 para toda la discoteca-bar. Dos subwoofers están en el área de la pista de baile ya que ahí son requeridos y se acoplan con el sistema de bocinas JF200e donde el punto de corte recomendado es de 50 HZ según especificaciones.

El otro subwoofer esta ubicado en la zona de mesas y se acopla con el sistema de pequeñas bocinas UB12SE, estas bocinas en sus hojas de datos especifican una frecuencia de corte en bajas frecuencias a 60 Hz. La localización de los subwoofers se muestra en el plano 6.2.

Cálculo de Corriente de los Modelos de Bocinas Recomendados

Cálculo de Corriente de las Bocinas Modelo UB12SE

Para calcular la corriente de las bocinas del modelo UB12SE se calcula de la siguiente manera:

Se conectan 3 bocinas en paralelo por canal, (Left & Right) a la salida del amplificador Lab. Gruppen modelo IP1350 con una salida de potencia de 1400 Watts.

Haciendo el cálculo para un canal del amplificador, la potencia total de las 3 bocinas es de 420 Watts, y 840 Watts de los dos canales, la demanda de potencia de las bocinas al amplificador IP1350 es del 60%.



Como las bocinas tienen una conexión en paralelo la impedancia total es de 2.66Ω .

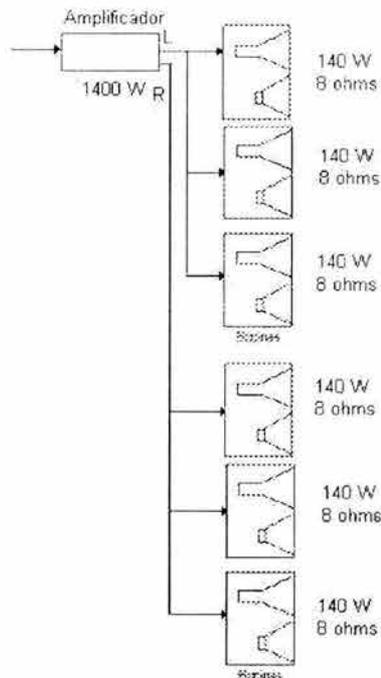


Figura 6.7. Distribución de las bocinas UB12SE

La corriente total que demandan las bocinas UB12SE por canal al amplificador IP1350 es:

Donde: Z_t es la impedancia total del arreglo

P_t es la potencia total de las 3 bocinas

$$I = \sqrt{\frac{P_t}{Z_t}}$$

$$I = \sqrt{\frac{420}{2.66}} = 12.56 \text{ A}$$

La corriente máxima que circula por cada bocina es de 4.18 A

En la discoteca se colocan 12 bocinas modelo UB12SE de 140 Watts en intervalo completo, es decir que dichas bocinas tienen internamente un crossover pasivo que eficiente sus elementos y observando las hojas de especificaciones del amplificador Lab. Gruppen IP1350 colocadas en el anexo de este trabajo, se observa que a 2Ω de impedancia de carga por canal, el amplificador da una potencia de 700 Watts.



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

Como la impedancia total de las 3 bocinas es de 2.66Ω , se pueden conectar por canal 3 bocinas en paralelo que dan una suma de potencia de 420 Watts requeridos, el amplificador es de 700 Watts por canal con lo cual se tiene un margen de potencia de seguridad.

Por lo tanto se necesitan 2 amplificadores de este modelo para conectar las 12 bocinas pequeñas modelo UB12SE.

Cálculo de Corriente de las Bocinas Modelo JF200e

Para las bocinas JF200e que se utilizan en la pista de baile, estas son biamplificadas o de 2 vías, es decir la señal se divide en dos, en paso-altas y paso bajas, este procesador o crossover activo es de fabrica, en donde ya se tienen los cortes de frecuencia recomendados para las bocinas, en este caso se utilizan 2 amplificadores, el modelo FP2600 para el intervalo de paso-altas y el modelo FP3400 para el intervalo de paso-bajas como se muestra en el plano 6.3.

La potencia de la bocina que manejan altas frecuencias es de 200 Watts con 8Ω de impedancia estos datos se obtienen de la figura 6.1.

Para las bocinas JF200e que manejan frecuencias altas, la corriente máxima que demandan por canal al amplificador FP2600 es:

Donde: P es la potencia que maneja la bocina
 Z es la impedancia de la bocina

$$I = \sqrt{\frac{P}{Z}}$$

$$I = \sqrt{\frac{200}{8}} = 5 A$$

La potencia de la bocina que maneja bajas frecuencias es de 500 Watts con 8Ω de impedancia estos datos se obtienen de la figura 6.1.

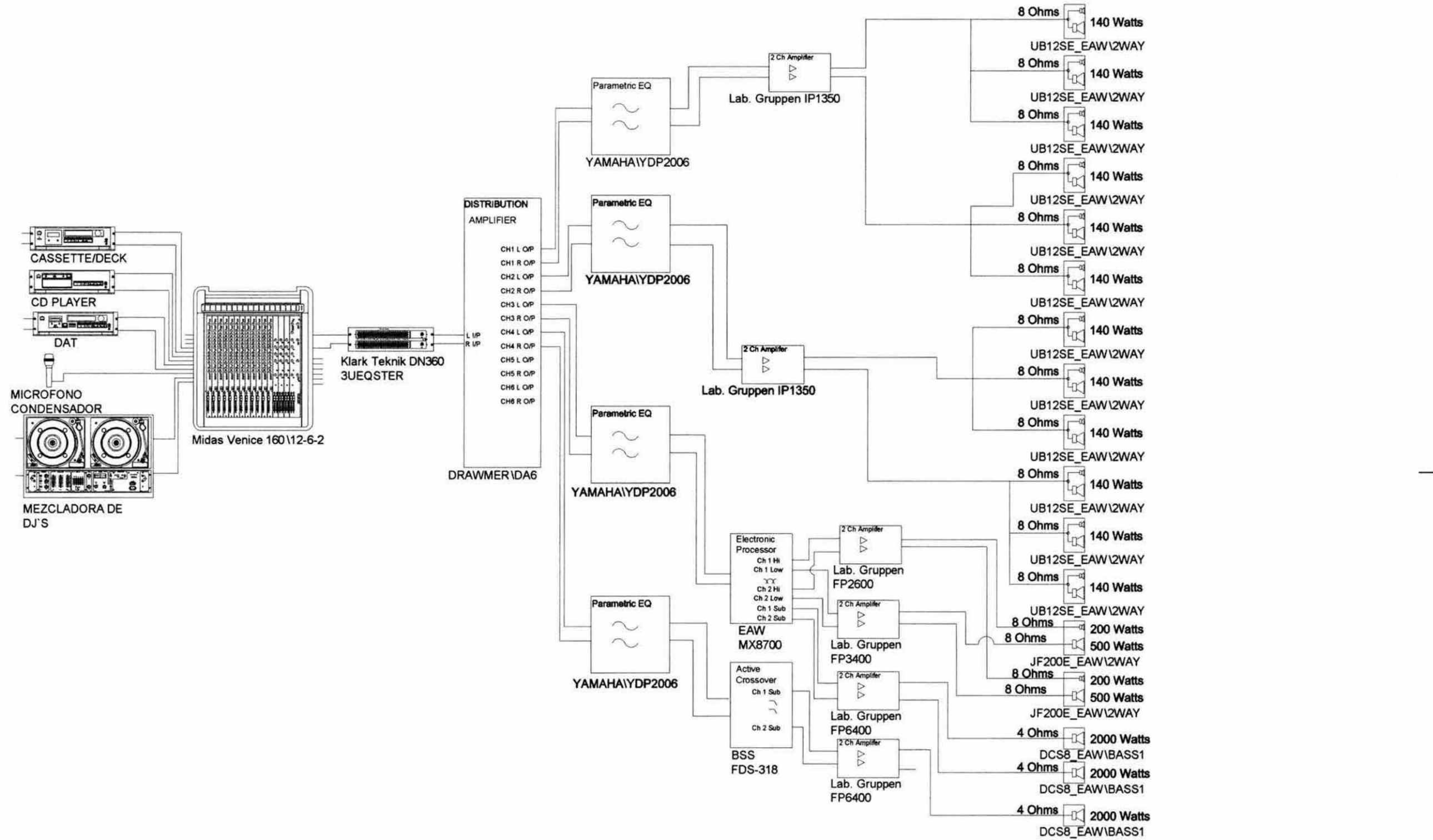
Para las bocinas JF200e en bajas frecuencias la corriente máxima que demandan por canal al amplificador FP3400 es:

$$I = \sqrt{\frac{500}{8}} = 7.9 A$$

En la parte de altas frecuencias se recomienda el amplificador Lab. Gruppen FP2600, ya que por canal y a 8Ω de carga, da una potencia de 430 Watts, correspondiente a las hojas de especificaciones colocadas en el anexo de este trabajo. En la parte de bajas frecuencias se recomienda el amplificador FP3400 de

1 2 3 4 5 6 7 8

A
B
C
D
E
F



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference						
Designed by	Tesis	Checked by	JRH	Approved by - date	JRH - 07/07/03	File name	Disoteca-Bar	Date	07/07/03	Scale	None
Tesis							Diagrama de Conexión Discoteca-Bar				
							Plano 6.3			Edition	0

1 2 3 4 5 6 7 8



Lab. Gruppen que a 8Ω de carga por canal da 1100 Watts en las hojas de especificaciones colocadas en el anexo. El amplificador FP2600 trabaja a 46.5% de su capacidad y el amplificador FP3400 trabaja a 45.5% de su capacidad.

Cálculo de Corriente de las Bocinas Modelo DCS8

Para la parte de los subwoofers cada uno de ellos tiene una potencia de 2000 Watts con una impedancia de 4Ω , por lo que se recomienda el amplificador Lab.Gruppen FP6400 que a 4Ω de impedancia de carga da una potencia de 2300 Watts por canal, esto se muestra en las hojas de especificaciones ubicadas en el anexo del trabajo.

La corriente máxima que demandan las bocinas DCS8 del amplificador FP6400 por canal es:

$$I = \sqrt{\frac{2000}{4}} = 22.36 \text{ A}$$

El amplificador FP6400 trabaja a 87% de su capacidad.

Con estos cálculos obtenidos se comprueba la buena selección de las bocinas para tener una señal de audio inteligible.

Descripción de la Conexión del Equipo Electrónico

En el plano 6.3 se muestra la conexión de los instrumentos de sonorización, y se explica a continuación:

- Chasis de Sistemas de Reproducción Sonora. En este caso particular esta compuesto por un reproductor CD`s, un reproductor y grabador de cassettes, un reproductor y grabador de DAT`s y una mezcladora de DJ`s además de un micrófono para anuncios y uso general, los cuales van conectados a una mezcladora de 12 canales de entrada. En la tabla 1 se especifican las marcas las cuales son las mejores del mercado, por su rendimiento y calidad
- Mezcladora. Este aparato ayuda a mezclar todas las señales que se van a utilizar y a preamplificarlas, la salida general izquierda y derecha se conectan al ecualizador gráfico
- Chasis de Sistemas de Sala. Esta compuesto por un ecualizador paramétrico que ayuda al ingeniero de audio a ecualizar el sistema sin cambiar puntos de corte. La salida de este aparato se conecta al distribuidor de señal que divide la señal compensando las pérdidas de la ganancia de señal con el objetivo de mantener la relación 1:1 de la señal



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

- Chasis de Alineamiento. Este sistema esta compuesto por 4 ecualizadores paramétricos para alinear y ecualizar los sistemas
- Chasis de Amplificación. De los 2 primeros ecualizadores paramétricos sus salidas alimentan a los 2 amplificadores Lab. Gruppen IP1350 que alimentan a las 12 bocinas pequeñas UB12SE, el tercer ecualizador paramétrico alimenta al procesador de bocinas y este a su vez alimenta a dos amplificadores Lab. Gruppen de los modelos FP2600 y FP3400 que amplifican la señal que va hacia las bocinas de la pista, las cuales son el modelo JF200e el cuarto ecualizador paramétrico alimenta a un procesador activo que filtra la señal para dirigirla hacia los amplificadores de los subwoofers

La tabla 1 muestra la lista del equipo de audio requerido para calcular la corriente total que se demanda de la línea de AC en la discoteca-bar.

Cantidad	Descripción	Modelo	Marca	Watts	Total Watts	Amperes
1	Microfono	SM58	Shure	0	0	0.00
1	Reproductor de CDs	CD-160	Tascam	9	9	0.08
1	Reproductor y Grabador de DAT	DA-40	Tascam	21	21	0.18
1	Reproductor y Grabador de Cassetes	102MKII	Tascam	10	10	0.08
1	Mezcladora 12x2	Venice 160	Tascam	30	30	0.25
1	Ecualizador Grafico 31 Bandas	DN60	Klark-Teknik	20	20	0.17
1	Distribuidor de Audio	DN46	Drawmer	30	30	0.25
4	Ecualizadores Parametricos	YDP2006	Yamaha	25	100	0.83
1	Procesador Para Bocinas	MM8700	EAW	24	24	0.20
1	Procesador Activo Para Bocinas	FDS-318	EBS	30	30	0.25
2	Amplificadores de Potencia	IP1350	Lab.Gruppen	1400	2800	23.33
1	Amplificadores de Potencia	FP2600	Lab.Gruppen	860	860	7.16
1	Amplificadores de Potencia	FP3400	Lab.Gruppen	2200	2200	18.33
2	Amplificadores de Potencia	FP6400	Lab.Gruppen	2300	4600	38.33
2	Bocina para pista de baile	JF200e	EAW	500	0	0.00
12	Bocina para área restante	UB12SE	EAW	140	0	0.00
3	Bocina Subwoofer	DCS8	EAW	2000	0	0.00
				Total	10734	89.43

Tabla 1. Equipo que interviene en el cálculo de la potencia eléctrica y corriente total

Potencia Total Requerida en la Discoteca-bar

El total de potencia requerido para todo el equipo de audio instalado es de 10734 Watts que demanda una corriente de 89.43 A, al cual se le asigna un 25% de aumento por cualquier equipo adicional que se le desee conectar al sistema y evitar la saturación de la instalación eléctrica. Teniendo un total de 13,417 Watts y 111.78 A.



Dentro de los requerimientos eléctricos de potencia que se le piden a los consultores eléctricos es de proveer de 3 fases de 37.26 Amperes cada una con su neutro y tierra física, con esto se cubren las necesidades de corriente. En el plano 6.4 se muestra el número de contactos necesarios para el sistema de sonido.

6.2. ANÁLISIS DE UN TEATRO

Antecedente

El diseño electroacústico del Teatro, fue por un grupo consultor. Como antecedente de la instalación se tiene que el proyecto no fue llevado a cabo como el grupo consultor lo diseñó, por que el presupuesto que se le asignó al proyecto se terminó antes de finalizar este y la compañía consultora no pudo alinear y ecualizar el sistema de sonorización y ni verificar el terminado acústico de la sala, por lo que fue modificando de tal manera que quedara lo más parecido a lo que fue el diseño original.

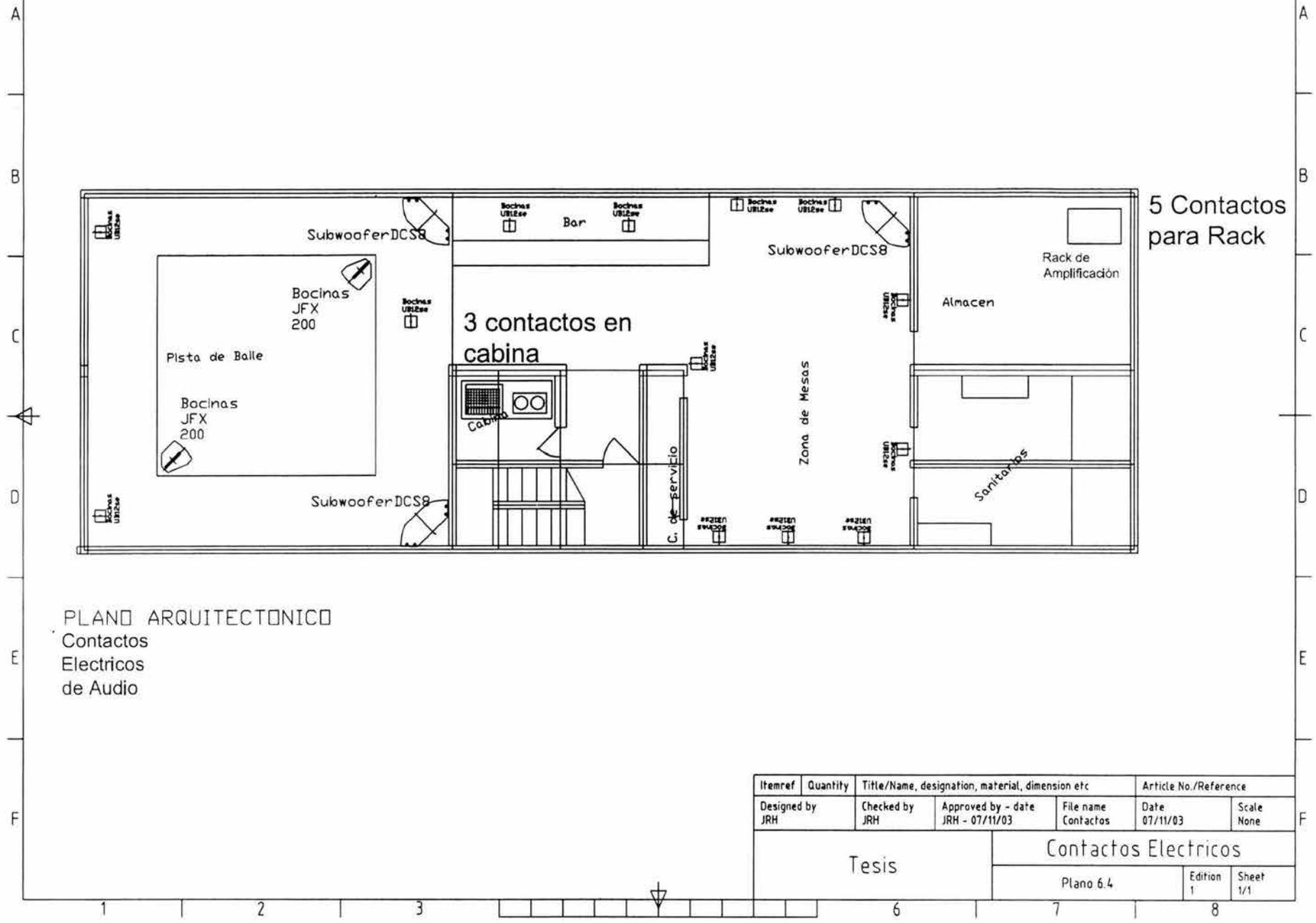
Tipo de Actividad

El teatro es para danza, es decir en este lugar se presenta danza clásica, danza contemporánea, danza folclórica, etc. El teatro debe contar con el equipo necesario para tener músicos en vivo, y prácticamente el mayor uso que se le da es para reproducir música grabada ya sea en formato de DAT, CD`s, Minidisco, carrete abierto, etc.

Necesidades Sonoras

Las necesidades sonoras por normas son de 100 *dB SPL*, prácticamente las funciones como promedio de duración son de 2 horas con un intermedio de 15 minutos, el teatro para fines de sonorización se divide en dos partes la sonorización en el área del escenario que es para que los bailarines tengan referencia sonora de la música y la sonorización para el área de sala o butaquería. En donde a este sector debe de llegar la referencia sonora izquierda y derecha del sistema, por lo menos se deben considerar 10 entradas de micrófono para música en vivo, además de los equipos de reproducción de música como CD, DAT, minidisco, etc.

Las necesidades electroacústicas del teatro con las que se basaron los consultores son:



5 Contactos para Rack

3 contactos en cabina

PLANO ARQUITECTONICO
Contactos Electricos de Audio

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 07/11/03	File name Contactos	Date 07/11/03	Scale None	
Tesis			Contactos Electricos			
			Plano 6.4	Edition 1	Sheet 1/1	



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

- Que el teatro es para danza
- El ancho de banda del sistema es de 20 Hz a 20 kHz, ya que lo que más se usa es música grabada ya sea en CD o en otro formato, también se pueden conectar micrófonos para cualquier evento de sonido en vivo que necesite amplificarse

Descripción del Lugar

En el plano 6.5 se muestra la vista superior del teatro, el cual tiene una capacidad de 280 personas sin la butaquería del foso de orquesta y cuando se agregan estas su capacidad aumenta a 377 personas. El acabado de este espacio no fue concluido, por lo que el acabado es en concreto, en las paredes laterales inferiores se colocaron paneles acústicos para la reflexión del sonido, pero fue errónea ya que se instalaron en sentido contrario a lo estipulado y no cumplen con su función, el error no fue del diseño sino al momento de la instalación, al percatarse del problema, la solución fue colocar unas cortinas de pana para la parte inferior como superior, absorbiendo las frecuencias medias y altas logrando así tener un menor tiempo de reverberación en la sala. Las cortinas también ayudan a tener menos reflexiones que ocasionan cancelaciones acústicas, y prácticamente siempre deben estar puestas para así tener una mejor respuesta en frecuencia del sistema de sonorización.

El área del público se divide en dos, la parte superior que es el balcón y el área inferior que es prácticamente la sala.

Cálculo del Tiempo de Reverberación del Teatro

El cálculo de reverberación es con base a todas las áreas que conforman el espacio y el volumen total de la sala así como los coeficientes de absorción de cada material que conforman cada área.

En la tabla 2 se muestran las áreas y los resultados del tiempo de reverberación para el teatro. Para estos cálculos se utilizó la expresión de Sabine como se observa en la tabla 2 el valor del tiempo de reverberación es de 1.6 segundos con las cortinas extendidas que es como siempre se utiliza el teatro.



INSTRUMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SONORIZACIÓN

Surface/Code	Area (in square feet)/Material	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHZ.	2 KHZ.	4 KHZ.	
Audience Seating	3540								
AUD04	Beraneck occ aud uphol seats (per seat bottoms and edge effect), and orchestra and chorus (per sq. ft.)	0.25	0.39	0.57	0.8	0.94	0.92	0.87	
Windows	290	885	1381	2018	2832	3328	3257	3080	
Cristal	Cristal Wall	0.35	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04	
Side Walls	4250	102	102	73	52	35	20	12	
Concret	Concret	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	
Ceiling	2662.7	43	43	43	85	85	128	128	
GYP04	3 layers 5/8" gypsum bd on 1" x 3" with insulation 16" o.c. EGAN	0.40	0.28	0.12	0.1	0.07	0.13	0.09	
Proscenium Opening	1807.41	1065	746	320	266	186	346	240	
OPR01	Proscenium opening	0.2	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.45	
Variable Absorption	2500	361	542	633	723	813	904	813	
DRP16	Drapery, 24 oz./sq. yd., on wall (50% fullness)	0.04	0.1	0.26	0.47	0.61	0.57	0.53	
Air Absorption	178.37957	100	250	650	1175	1525	1425	1325	
AIR02	Air (per 1000 cu. ft.) — relative humidity 40%	0	0	0	0	1	4	10	
Total Absorp. (Sabin)	10,688	2556	3062	3735	5133	6151	6793	7381	
Volume (in cubic feet)	178,380	Total Surface Area (in square feet)						10688	
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHZ.	2 KHZ.	4 KHZ.	
Reverberation Time — Sabine Equation (in seconds)		3.4	2.9	2.3	1.7	1.4	1.3	1.2	
		AVE RT 500/LK (SABINE) -					1.6		
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHZ.	2 KHZ.	4 KHZ.	
Reverberation Time — Eyring Equation (in seconds)		3.0	2.4	1.9	1.3	1.0	0.8	0.7	
		AVE RT 500/LK (EYRING) -					1.1		
Average Alpha		0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.7	
BASS RATIO :		1.7							
RT125+RT250/RT500+RT1K									
TREBLE RATIO :		0.8							
RT2K+RT4K/RT500+RT1K									
NOTES									

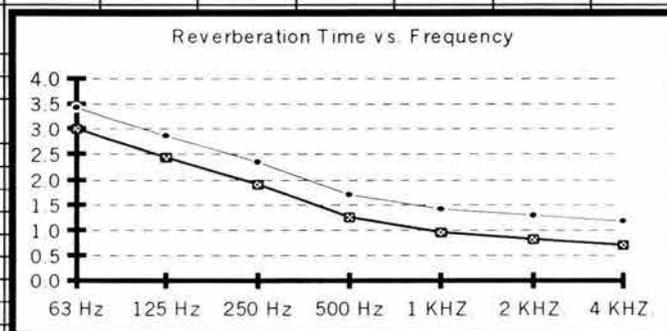


Tabla 2. Datos y cálculos del tiempo de reverberación del teatro



Tipos de Bocinas y Cobertura Sonora en el Teatro

La selección de la marca de bocinas que se instalaron fue la compañía EAW que es uno de los líderes en el mundo en investigación y manufactura de bocinas, para el área inferior del público se selecciono el modelo de bocina JF260e que se muestra en la figura 6.9 con sus especificaciones técnicas, esta bocina tiene una cobertura de 90° por lo que se colocaron 2 bocinas que es suficiente para cubrir el área izquierda y derecha de la sala, para la parte central es necesario un cluster central o arreglo de un par de bocinas JF200e dirigidas al área central de la parte inferior del público, esta bocina no tiene difusor en la unidad de compresión, es decir no tiene el dispositivo que reduce su ángulo de cobertura, estas bocinas son biamplificadas o de 2 vías (Hi & Low).

Cálculo del Nivel de Presión Sonora en el Centro de la Sala

Considerando la siguiente expresión que calcula la atenuación por distancia:

$$dB\ SPL\ dm = SPL\ dr + 20 \log \left(\frac{dr}{dm} \right)$$

Y teniendo en cuenta que el centro de la sala esta a una distancia de 15 metros de la bocina lateral derecha inferior y la bocina instalada JF200e a 1 metro de distancia genera una presión sonora de 125 *dB SPL* continuos, este dato se obtiene de las hojas de especificaciones técnicas de la bocina.

$$dB\ SPL\ dm = 125 + 20 \log \left(\frac{1}{15} \right)$$

$$dB\ SPL\ dm = 101.47\ dB$$

Por lo tanto, la bocina genera 101.47 *dB*, y con una bocina por lado es suficiente teniendo un arreglo separado de fuego cruzado en estereo.

Bocinas del Cluster Inferiores

Para el cluster central o arreglo central el cual tiene la función de cubrir el área central de la sala inferior, este se compone de dos bocinas del modelo JF200e. La distancia a la que esta el cluster central es de 13 metros de altura del escenario y a 8 metros del centro del área del público, la distancia del cluster al centro de la sala inferior del público es de 15.26 *m*.

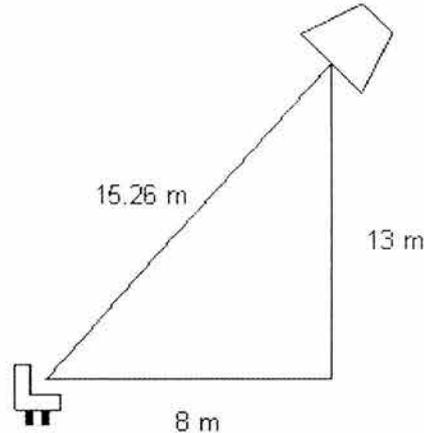


Figura 6.8. Distancia del cluster al área del público

$$dB SPL_{dm} = 131 + 20 \log \left(\frac{1}{15.26} \right)$$

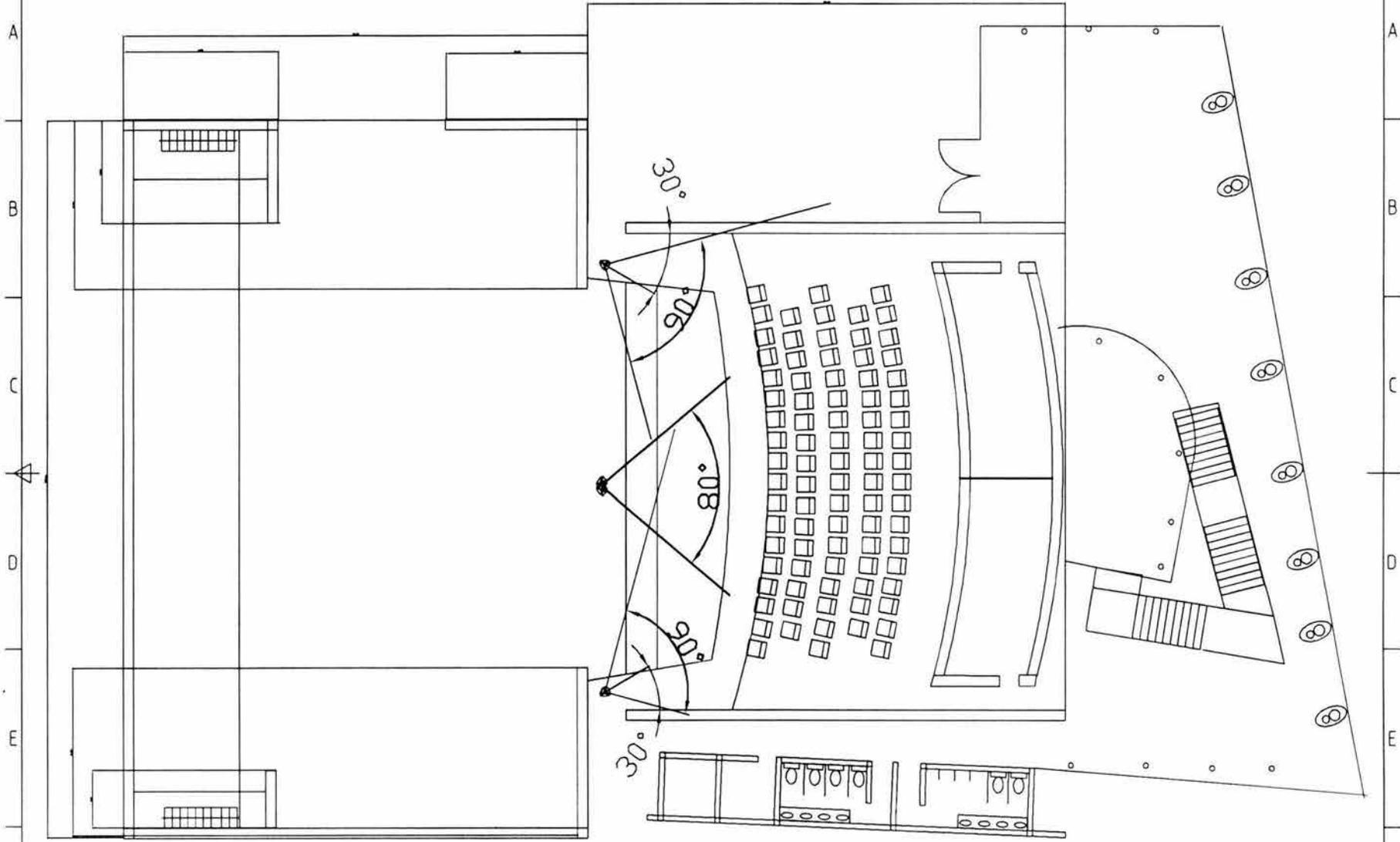
$$dB SPL_{dm} = 107.32 \text{ dB}$$

Estas bocinas tienen 125 *dB SPL* continuos a 1 metro de distancia y al poner dos bocinas se aumenta la presión en el eje central de las dos bocinas que están en arreglo estrecho de punto de origen, estas bocinas de 90° cónicas cada una, al colocarlas en este tipo de arreglo su cobertura se estrecha 10°, aumentando 6 *dB* la presión sonora sobre el eje de las bocinas, que ahora es de 131 *dB SPL* continuos a 1 metro de distancia, que al llegar al público que se encuentra a una distancia de 15.26 *m*, la presión sonora disminuirá por la distancia a 107.32 *dB SPL* que corresponde a lo que se tiene previsto, este tipo de arreglo está conectado en forma monoaural. En los planos 6.8, 6.10 y 6.11 se muestra la colocación y ángulos de colocación de las bocinas inferiores, y en el plano 6.6 se muestra el plano de vista superior con los ángulos de cobertura de las bocinas inferiores.

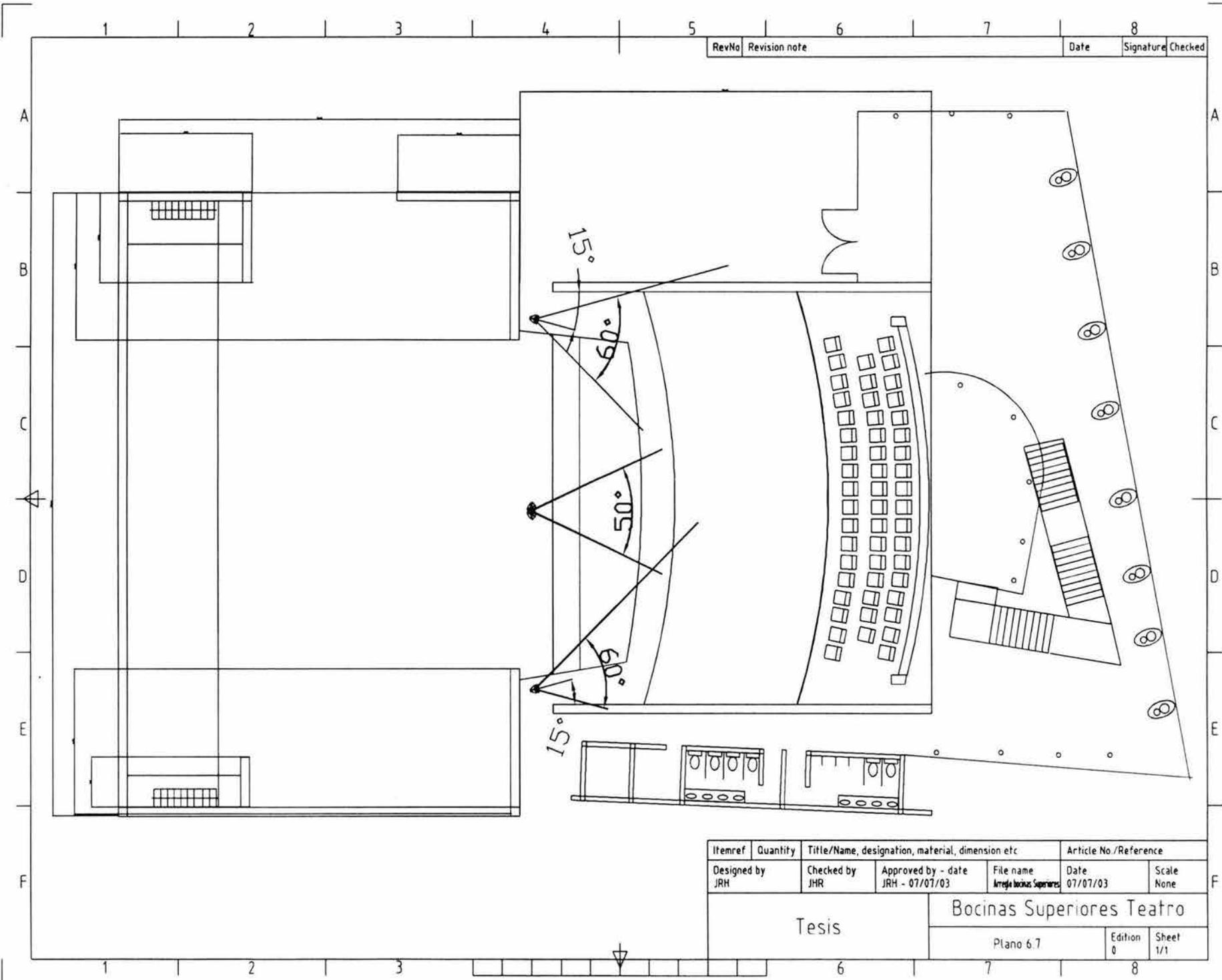
Bocinas Superiores

La parte superior está cubierta del lado izquierdo, derecho y centro por las bocinas JF260e como se muestra en el plano 6.7, y se muestra en la figura 6.9 sus especificaciones técnicas originales. Al igual que las bocinas JF200e, estas bocinas laterales logran 125 *dB SPL* en intervalo completo a 1 m de distancia, con la diferencia que las bocinas JF260e tienen un difusor en la unidad de compresión (tweeter) que reproduce las altas frecuencias, el difusor de la unidad de compresión tiene como objetivo dirigir las medias y altas frecuencias que reproduce, ya que la distancia a la que son dirigidas es un poco más grande que las bocinas inferiores JF200e, la distancia que existe de las bocinas laterales al

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 07/07/03	File name Arreglo bocinas inferiores	Date 07/07/03	Scale None
Tesis			Bocinas Inferiores Teatro		
			Plano 6.6	Edition 0	Sheet 1/1

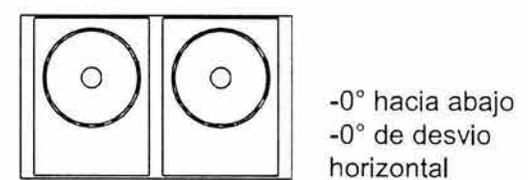
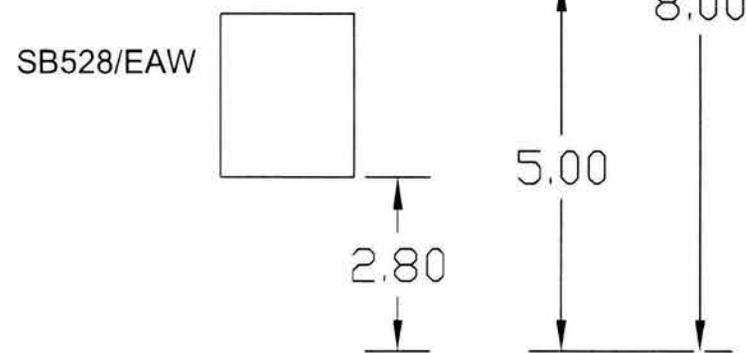
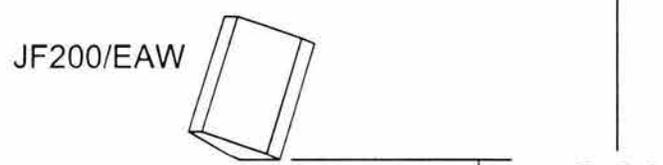
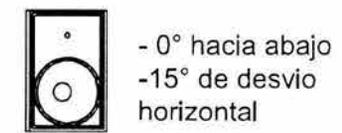
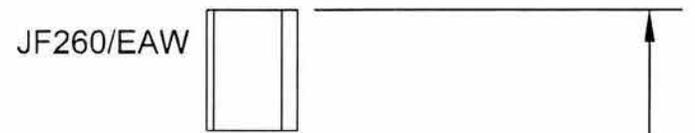
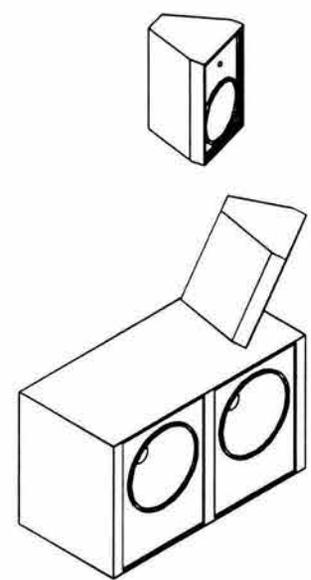
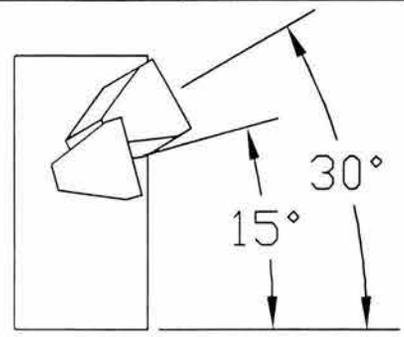


RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked
-------	---------------	------	-----------	---------

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference		
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 07/07/03	File name Arreglo bocinas Superiores	Date 07/07/03	Scale None
Tesis			Bocinas Superiores Teatro		
			Plano 6.7	Edition 0	Sheet 1/1

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked
-------	---------------	------	-----------	---------

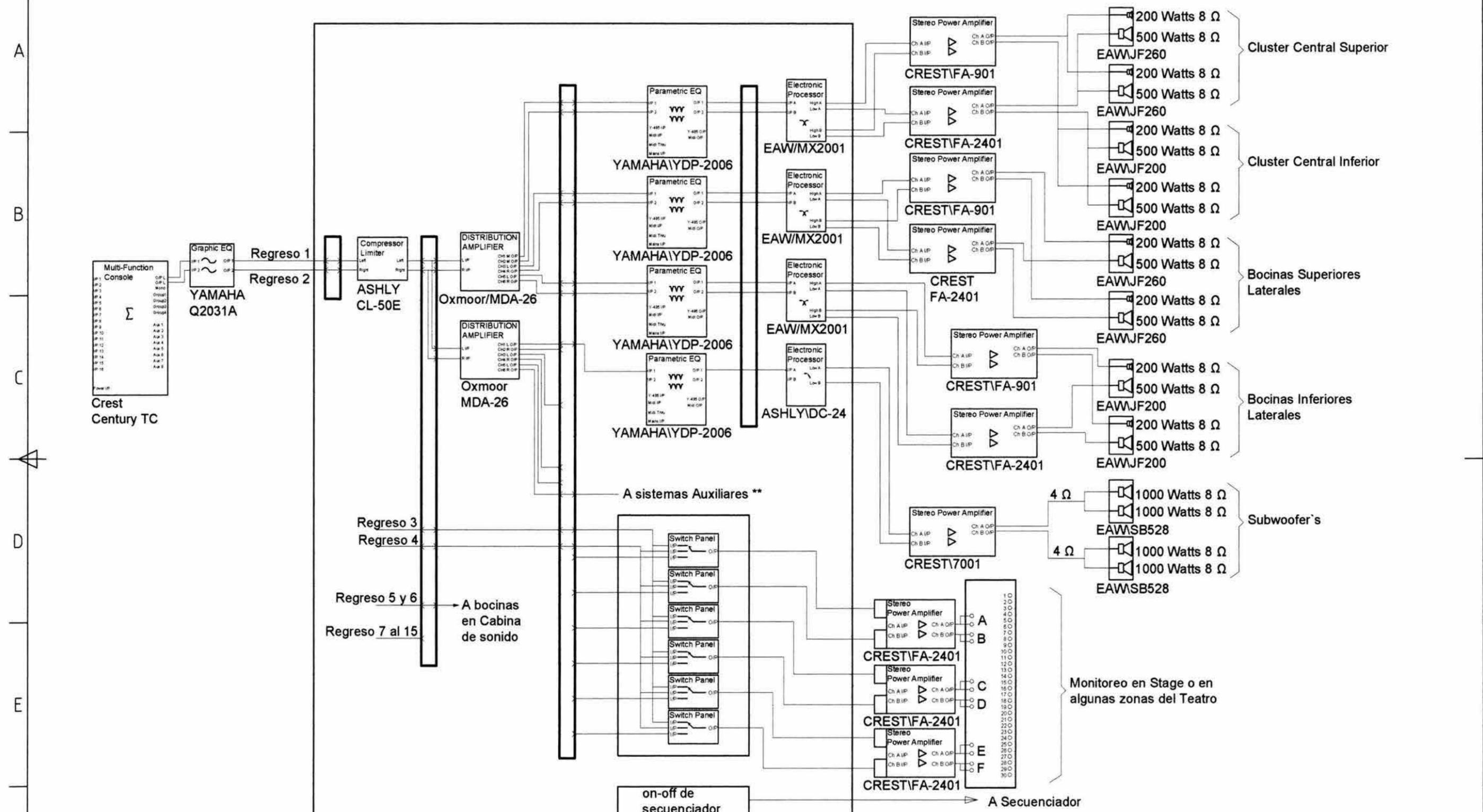
A
B
C
D
E
F



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 30/06/03	File name RFC_Bocinas	Date 30/06/03	Scale None	
Tesis			Cara Prosenium vista Bocinas			
			Plano 6.8	Edition 0	Sheet 1/1	

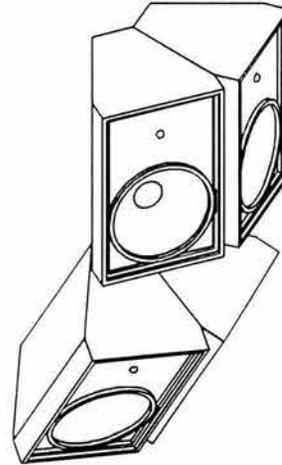
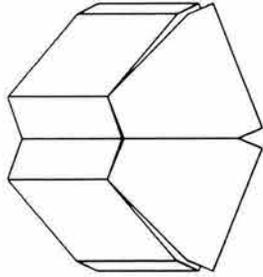
1 2 3 4 5 6 7 8

1 2 3 4 5 6 7 8

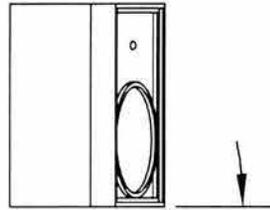


Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference		
Designed by	Checked by	Approved by - date	File name	Date	Scale
JRH	JRH	JRH - 05/07/03	Teatro	05/07/03	None
Tesis			DIAGRAMA ELECTROACUSTICO DEL TEATRO A MEDIR		
			Plano 6.9	Edition 0	Sheet 1/1

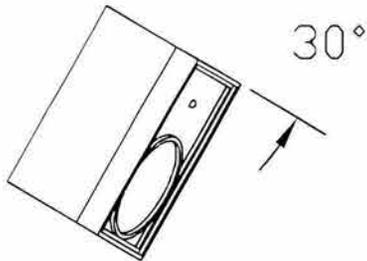
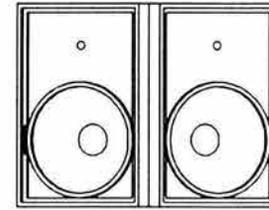
A
B
C
D
E
F



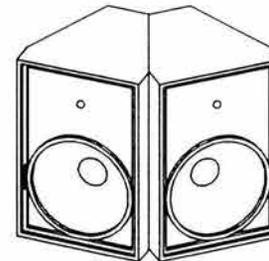
La altura es de acuerdo a las especificaciones del Ingeniero de Audio



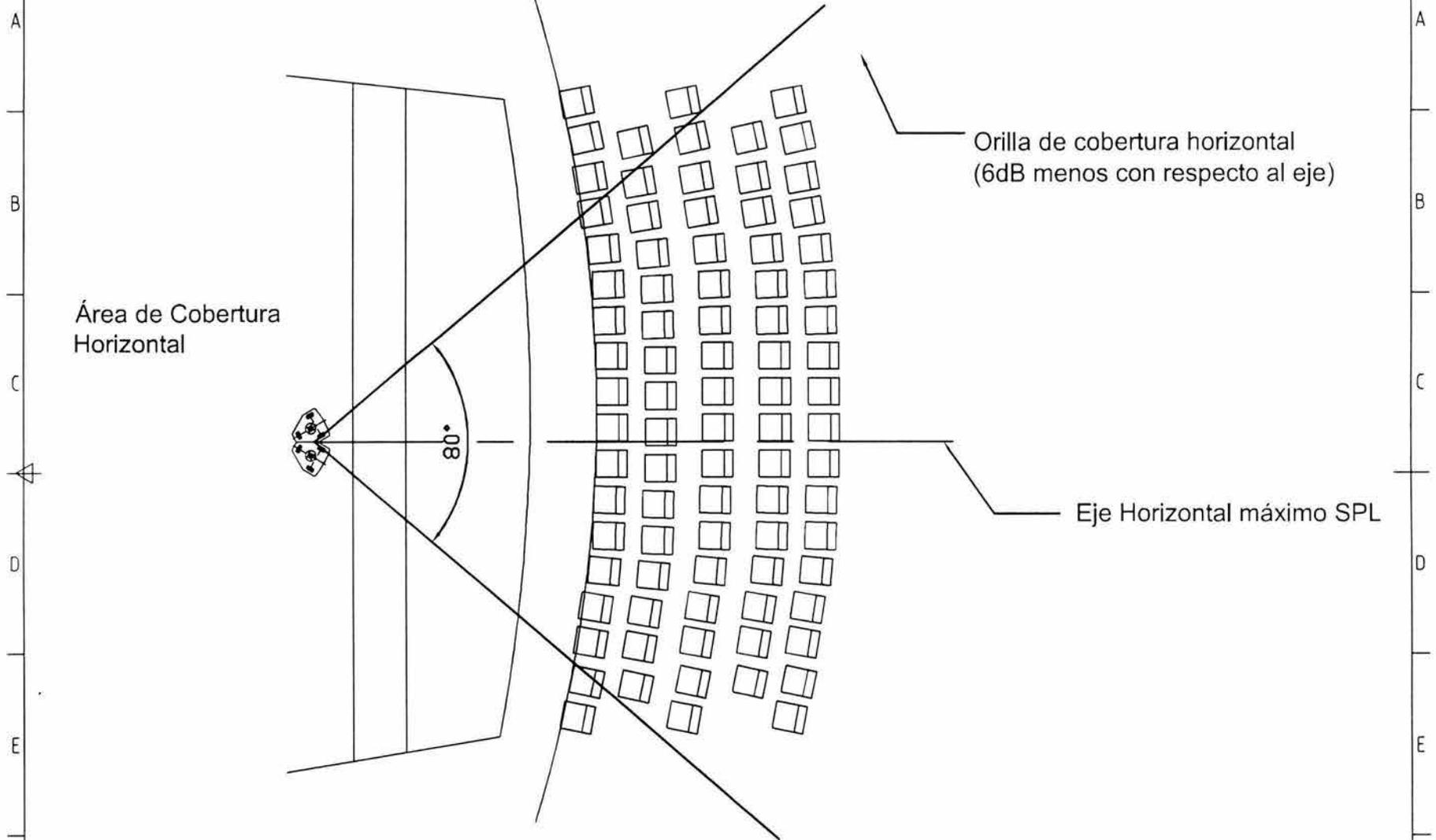
Bocinas Superiores JF260 con Difusor



Bocinas Inferiores JF200 sin Difusor



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 06/07/03	File name Cluster	Date 06/07/03	Scale None	
Tesis				Cluster Central Teatro		
				Plano 6.10	Edition 0	Sheet 1/1



Área de Cobertura Horizontal

Orilla de cobertura horizontal
(6dB menos con respecto al eje)

Eje Horizontal máximo SPL

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 07/07/03	File name Arreglo bocinas inferiores	Date 07/07/03	Scale None
Tesis			Bocinas Inferiores Cluster Central		
			Plano 6 11	Edition 0	Sheet 1/1



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

centro de la parte superior es de 16 metros con lo cual la atenuación por la distancia es de 100.9 *dB SPL* que es la presión a la cual se va a sonorizar en esta área.

Las bocinas JF260e con el difusor modifican los grados de dispersión a 60° en horizontal y 45° en vertical. El cluster central esta compuesto por 2 bocinas dirigidas al centro de la parte superior del teatro en un arreglo estrecho de punto de origen, con lo que se logra una presión sonora de 131 *dB SPL* en el eje de las dos bocinas a 1 metro de distancia, la distancia a la que tiene que llegar el sonido es de 17 metros con lo cual la presión sonora en esa área es de 106.39 *SPL*.

En el plano 6.8 se muestra la colocación y ángulo de las bocinas con respecto al proscenium, en el plano 6.7 se muestra la vista superior del teatro y la colocación de las bocinas en el plano horizontal. En el plano 6.10 se muestra la colocación y ángulo de las bocinas del cluster central.

Physical

System Configuration 2-way, full range
LF Subsystem & Loading One 12 in woofer, vented
HF Subsystem & Loading 1x2-in, Exit Compression Driver on Constant Directive Horn
Operating Mode Switchable: passive or bi-amplified (passive LF/HF)
Controls (switches, knobs) Powering mode switch

Dimensions (± 0.13 in / ± 3 mm)
Height 22.43 / 570
Front Width 14.68 / 373
Rear Width 4.94 / 125
Depth 14.75 / 375
Trapezoid Angle (degrees) 15 per side

Weights (pounds / kilograms)
Net Weight 70.0 / 31.5
Shipping Weight 76 / 34.2

Performance

Frequency Response
 ± 3 db 66 Hz to 18 kHz
-10 dB 55 Hz
Recommended High-Pass Frequency 50 Hz, 24 dB / octave
Axial Sensitivity (dB SPL, 1 watt @ 1 m)
Full Range Passive 98
LF 98
HF 106
Nominal Input Impedance (ohms)
Full Range Passive 8
LF 8
HF 8
Power Handling (watts, continuous)
Full Range Passive 500
LF 500
HF 200
Calculated SPL Limit (referenced to 1 m)
Full Range Passive Peak 131.0
LF Peak 131.0
HF Peak 133.0
Full Range Long Term 125.0
LF Long Term 125.0
HF Long Term 129.0
Nominal Dispersion (degrees @ - 6 dB)
Horizontal 60°
Vertical 45°



Figura 6.9. Bocina EAW JF260e con sus especificaciones técnicas



Para la sección de frecuencias bajas se seleccionó la bocina SB528 esta bocina es un subwoofer y tiene una presión sonora de 132 *dB SPL* continuos a 1 metro de distancia, como se muestra en sus especificaciones técnicas de la figura 6.10. La idea original del diseño electroacústico del teatro fue colocar los subwoofers en el piso para aprovechar la suma de la imagen que provoca la reflexión, pero por errores arquitectónicos se colocaron a 2.80 metros de altura del piso donde no estorbara, a la distancia de 8 metros del subwoofer la atenuación es de 114 *dB SPL* suficientes para todo el teatro, en el plano 6.8 se muestra la colocación de los subwoofers, y con 2 subwoofers es suficiente para llenar toda el área del público.

Physical

System Configuration Subwoofer
 Product Group G, J, S
 LF Subsystem & Loading Two 18 in, vented

Dimensions (± 0.13 in / ± 3 mm)
 Height 29.81 / 757
 Width 50.25 / 1276
 Depth 24.63 / 626

Weights (pounds / kilograms)
 Net Weight 200.0 / 90.9
 Shipping Weight 214.0 / 97.3

Performance

Frequency Response
 ± 3 dB 27Hz to 150Hz (35Hz w/out CCEP)
 -10 dB 22Hz (24Hz w/out CCEP)
 Recommended High-Pass Frequency 20
 Axial Sensitivity (dB SPL, 1 watt @ 1 m)
 Subbass 99
 Nominal Input Impedance (ohms)
 Subbass Driver 1: 8
 Driver 2: 8
 Parallel: 4
 Power Handling (watts, continuous)
 Subbass Driver 1: 1000
 Driver 2: 1000
 Parallel: 2000
Calculated SPL Limit (referenced to 1 m)
 LF Peak 138.0
LF Long Term 132.0

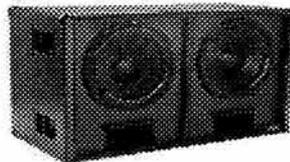


Figura 6.10. Bocina SB528 de EAW con sus especificaciones técnicas

Cálculo de Corriente de las Bocinas del Teatro

Como principio se calcula la corriente máxima que pueden soportar las bocinas, se utilizan los datos de potencia de la bocina así como de la impedancia para obtener la corriente máxima con la que puede operar, esto es sin tomar en cuenta al amplificador, los valores de corriente de los amplificadores en la tabla 3 son los tomados de las hojas de especificaciones de cada modelo de amplificador a 120V, es decir es la corriente que consume el amplificador de la toma de corriente.



Consumo de Corriente de las Bocinas Modelo SB528

Para calcular la corriente que circula por las bocinas del modelo SB528 se hace de la siguiente manera:

Se conecta una bocina tipo subwoofer por canal, (Left & Right) a la salida del amplificador Crest modelo 7001 con una salida de potencia de 715 Watts a 4Ω por canal esto se muestra en las hojas de especificaciones ubicadas en el anexo del trabajo. El cálculo de corriente para los subwoofers es el siguiente:

Teniendo la conexión como se muestra en la figura 6.11.

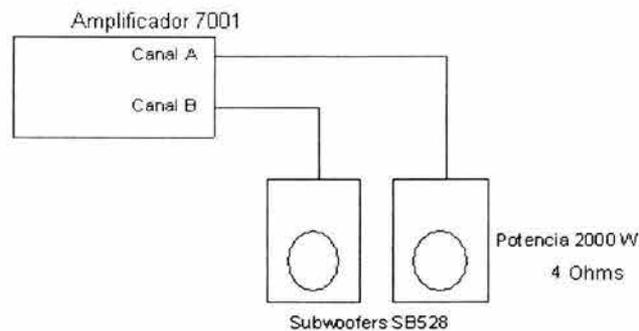


Figura 6.11. Conexión de los subwoofers

La potencia total de cada subwoofer es de 2000 Watts con una impedancia de 4Ω.

La corriente máxima que demandan las bocinas SB528 al amplificador 7001 por canal es:

$$I = \sqrt{\frac{2000}{4}} = 22.36 \text{ A}$$

Para los subwoofers que tienen un consumo de 2000 Watts a 4Ω cada uno, el amplificador Crest 7001 que los alimenta solo da 715 Watts por canal a 4Ω, es decir, la potencia que consumen los subwoofers sobrepasa la potencia que puede suministrar el amplificador, la respuesta a esta diferencia de potencia es que el teatro no utiliza el subwoofer a toda su capacidad esto fue por diseño.

Se comprobó que el subwoofer consume bastante corriente al medir con un amperímetro de gancho, la corriente que consume en funcionamiento, utilizando el amplificador Crest 7001, da como resultado 15 amperes en un nivel de señal de audio alto sin llegar a distorsionar la señal y al incrementar más el amplificador suministra hasta 20 amperes.



Consumo de Corriente de las Bocinas Modelo JF260e

Para las bocinas JF260e estas trabajan en sistema biamplificado, y están colocadas en la parte superior lateral del teatro (Left & Right), como se muestra en la figura 6.12.

La potencia de la bocina en altas frecuencias es de 200 Watts a 8Ω de impedancia estos datos se obtienen de la figura 6.1.

Para las bocinas JF260e que manejan frecuencias altas, la corriente máxima que demandan por canal al amplificador FA901 es:

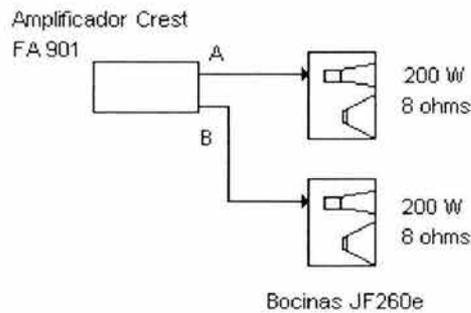


Figura 6.12. Conexión superior lateral JF260e

La corriente máxima que demanda cada bocina al amplificador FA901 en altas frecuencias es:

$$I = \sqrt{\frac{200}{8}} = 5 \text{ A}$$

El amplificador FA2401 se conecta a las bocinas JF260e de bajas frecuencias como se muestra en la figura 6.13.

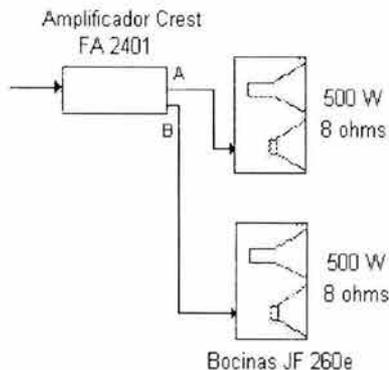


Figura 6.13. Conexión de las bocinas JF260e en bajas frecuencias



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

Para calcular la corriente máxima de las bocinas modelo JF260e en bajas frecuencias por canal es:

$$I = \sqrt{\frac{500}{8}} = 7.90 \text{ A}$$

Consumo de Corriente de las Bocinas Modelo JF200

Para las bocinas modelo JF200 que están colocadas en la parte inferior lateral del teatro (Left & Right), en la figura 6.14 se muestra la conexión para altas frecuencias.

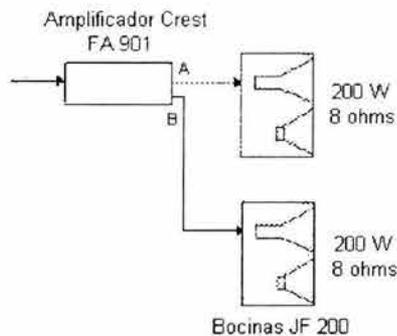


Figura 6.14. Conexión de bocinas inferiores laterales JF200

La corriente máxima que consume cada bocina en altas frecuencias es:

$$I = \sqrt{\frac{200}{8}} = 5 \text{ A}$$

En la figura 6.15 se muestra la conexión de bajas frecuencias para las bocinas JF200.

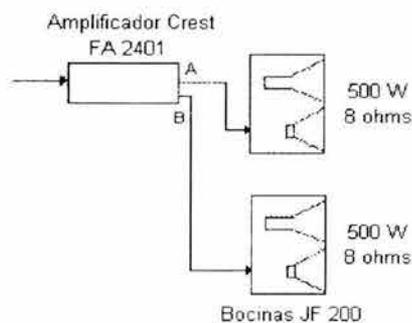


Figura 6.15. Conexión en bajas frecuencias de las bocinas JF200



El cálculo de corriente máxima para las bocinas JF200 funcionando en bajas frecuencias es:

$$I = \sqrt{\frac{500}{8}} = 7.90 \text{ A}$$

Consumo de Corriente para las Bocinas del Cluster

Para el cluster central parte superior e inferior del teatro se tiene la conexión que se muestra en la figura 6.16.

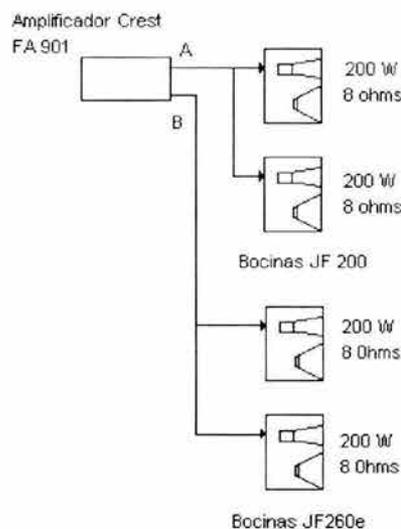


Figura 6.16. Conexión del cluster central

En la figura 6.16 se muestra que el amplificador FA901 alimenta 2 modelos diferentes de bocinas por canal.

El amplificador tiene una potencia de salida de 400 Watts por canal y alimenta a las bocinas JF200 que están ubicadas en la parte inferior del cluster, las cuales tienen una potencia de 200 Watts de salida, dado que son 2 bocinas se tiene una potencia total de 400 Watts por canal.

Para calcular la corriente máxima de las bocinas JF200 se considera que están conectadas en paralelo, la impedancia total para estas bocinas es de $Z_t = 4\Omega$.

La corriente total a la salida del canal A del amplificador FA901 es:

$$I = \sqrt{\frac{P_t}{Z_t}}$$

$$I = \sqrt{\frac{400}{4}} = 10 \text{ A}$$



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

Considerando el cálculo de corriente para las bocinas JF260e ubicadas en la parte superior del cluster.

Considerando que están conectadas en paralelo la impedancia total para estas bocinas es de $Z_T = 4\Omega$.

La corriente total a la salida del canal B del amplificador FA901 es la misma que la obtenida en el canal A debido a que los valores de las bocinas son iguales.

Considerando el cálculo de corriente para las bocinas JF260e ubicadas en la parte superior del cluster, en la figura 6.17 se muestra la conexión de las bocinas del cluster para bajas frecuencias.

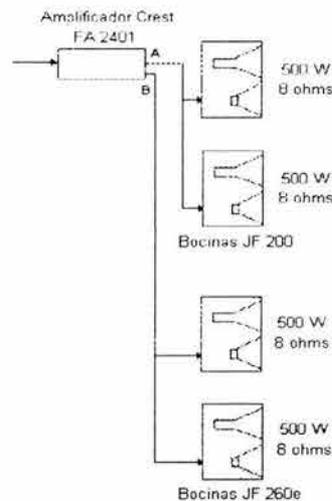


Figura 6.17. Conexión de bajas frecuencias del cluster

Considerando que están conectadas en paralelo la impedancia total para estas bocinas es de $Z_T = 4\Omega$.

La corriente total a la salida del canal A del amplificador es:

$$I = \sqrt{\frac{1000}{4}} = 15.81 \text{ A}$$

La corriente total a la salida del canal A del amplificador FA2401 es la misma que la obtenida en el canal B debido a que los valores de las bocinas son iguales

Las especificaciones técnicas de las bocinas JF200 muestran que al utilizar estas como biamplificadas consumen una potencia de 200 Watts a 8Ω para la sección de altas frecuencias (HF) y de 500 Watts a 8Ω para la sección de bajas frecuencias (LF), las altas frecuencias son alimentadas por un amplificador Crest Audio modelo FA901 que genera una potencia de 300 Watts por canal a 8Ω , y un amplificador FA2401 que genera una potencia de 600 Watts por canal a 8Ω , este



para las bajas frecuencias, con lo que es suficiente para las bocinas inferiores del teatro.

Las bocinas superiores son el modelo JF260 la diferencia es la cobertura en horizontal que es más estrecha que el modelo JF200 y la presión sonora ejercida por esta es similar y la potencia requerida para alimentarlas es la misma en este caso se utilizan los mismos modelos de amplificadores para alimentar las HF y las LF. En el plano 6.9 se muestra la conexión entre estos elementos. En el plano 6.8 se muestra la posición de las bocinas laterales superiores e inferiores. En el plano 6.10 se muestra la posición del cluster central.

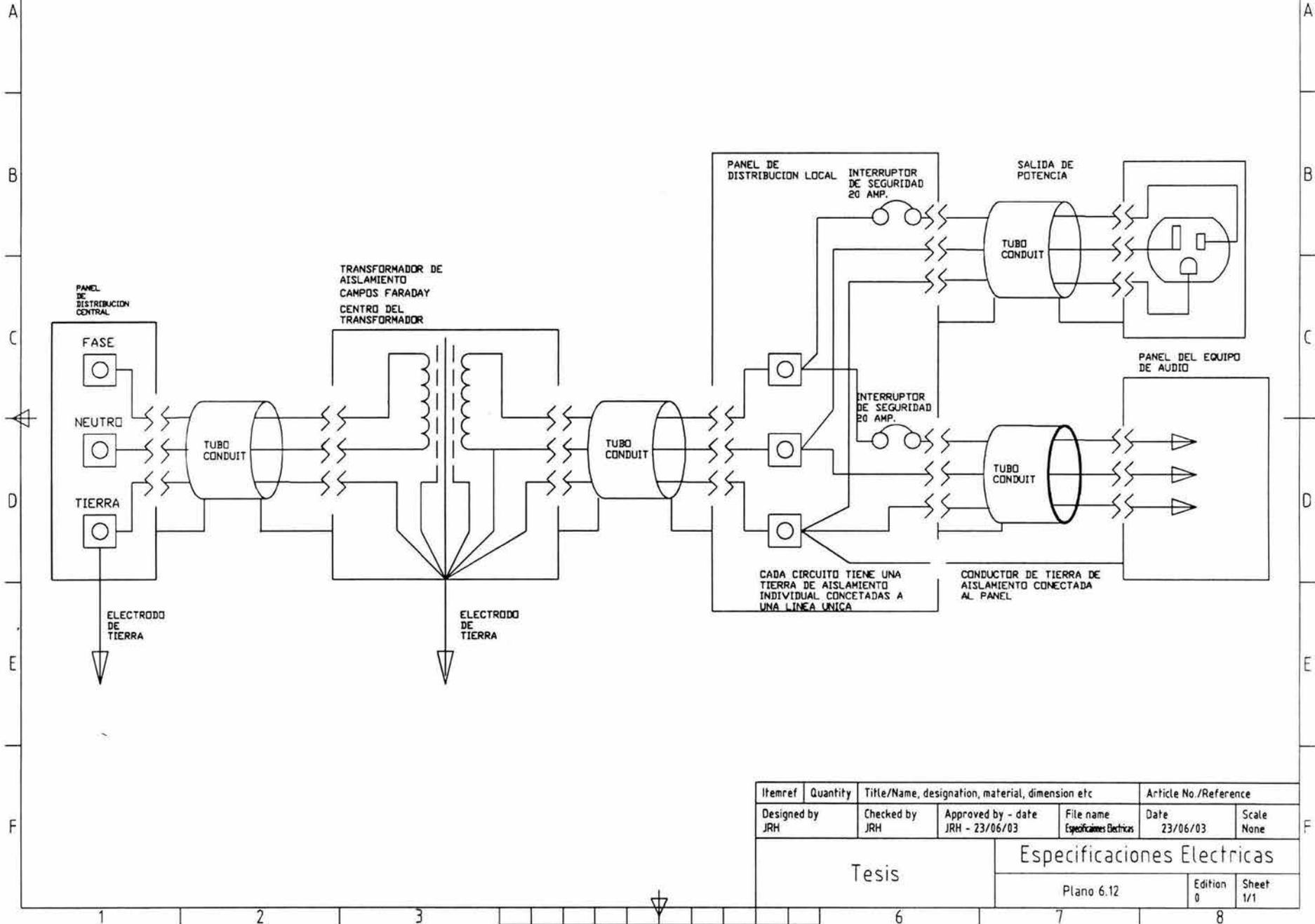
En la tabla 3 se muestra la lista del equipo electrónico utilizado en el teatro con la potencia y corriente máxima que va a demandar de la línea de *AC*, teniendo así el consumo total de potencia y de corriente por el equipo conectado a la instalación eléctrica, esto con el fin de saber que cantidad de corriente se demanda de la línea de voltaje de *AC* y en caso de ser una cantidad grande poder distribuir la corriente total a través de 3 fases.

Todo el equipo instalado debe estar aterrizado para evitar diferencias de potencial que afecten a su funcionamiento además de drenar posibles ruidos generados por inducciones capacitivas o inductivas.

En el plano 6.12 se muestran las líneas de potencia de voltaje de *AC* que se necesitan para conectar todos los instrumentos del sistema de sonorización.

Potencia Total Requerida en el Teatro

Como se muestra en la Tabla 3 el sistema completo requiere de un total de 77.835 Amperes de corriente de alimentación pero esto es justo, por lo tanto se da un 25% más de lo calculado para tener un sobrante por si se requieren conectan más elementos al sistema, el total de potencia que consume el teatro es de 9886 Watts, el total de potencia ya con el 25% es de 12357.5 Watts con una corriente de 97.3 Amperes, esta cantidad dividida en tres fases, da 32.4 Amperes por cada fase. En el caso del teatro la alimentación al sistema de audio tiene una pastilla de 100 Amperes.



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 23/06/03	File name Especificaciones Electricas	Date 23/06/03	Scale None	
Tesis				Especificaciones Electricas		
				Plano 6.12	Edition 0	Sheet 1/1



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

Cantidad	Descripción	Marca	Modelo	Watts	Total watts	Amperes
Cluster Central Parte Superior						
2	Bocinas Tiro Medio con difusor	EAW	JF260	1400	0	
0.5	Procesador de Bocinas	EAW	MX200i	15	7.5	0.059
0.5	Ecualizador parametrico	Yamaha	YDP2006	25	12.5	0.098
0.5	Amplificador para HF	Crest	FA901	700	350	2.756
0.5	Amplificador para LF	Crest	FA2401	1200	600	4.724
Cluster Central Parte Inferior						
2	Bocinas Tiro Medio sin difusor	EAW	JF200	1400	0	
0.5	Procesador de Bocinas	EAW	MX200i	15	7.5	0.059
0.5	Ecualizador parametrico	Yamaha	YDP2006	25	12.5	0.098
0.5	Amplificador para HF	Crest	FA901	700	350	2.756
0.5	Amplificador para LF	Crest	FA2401	1200	600	4.724
Bocinas Superiores Laterales						
2	Bocinas Tiro Medio con difusor	EAW	JF260	1400	0	
1	Procesador de Bocinas	EAW	MX200i	15	15	0.118
1	Ecualizador parametrico	Yamaha	YDP2006	25	25	0.197
1	Amplificador para HF	Crest	FA901	560	560	4.409
1	Amplificador para LF	Crest	FA2401	700	700	5.512
Bocinas Inferiores Laterales						
2	Bocinas Tiro Medio sin difusor	EAW	JF200	1400	0	
1	Procesador de Bocinas	EAW	MX200i	15	15	0.118
1	Ecualizador parametrico	Yamaha	YDP2006	25	25	0.197
1	Amplificador para HF	Crest	FA901	560	560	4.409
1	Amplificador para LF	Crest	FA2401	700	700	5.512
Subwoofers						
2	Bocinas	EAW	SB528	4000	0	
1	Procesador de Sub	Rane	DC-24	20	20	0.157
1	Ecualizador parametrico	Yamaha	YDP2006	25	25	0.197
1	Amplificador	Crest	7001	1430	1430	11.260
Monitores de Escenario						
4	Bocinas de Escenario	EAW	SM200i	2000	0	
2	Ecualizadores Graficos	Yamaha	Q2031A	20	40	0.315
3	Amplificadores	Crest	FA2401	800	2400	18.898
Area de Principal de Mezcla						
1	Consola	Crest	Century TC	400	400	3.150
1	Fuente para consola	Crest	GT8	400	400	3.150
1	Ecualizador Grafico	Yamaha	Q2031A	20	20	0.157
2	Limitadores 2 canales	Simetrix	425	25	50	0.394
1	Gate compuerta 4 canales	Simetrix	564	25	25	0.197
1	Procesador de efectos	Yamaha	SPX990	25	25	0.197
1	Procesador de efectos	Lexicom	PCM70	25	25	0.197
1	Headphones	Senheisser	HD-250	1	1	
Area de Playback						
1	Cassette Deck	Tascam	122MKIII	10	10	0.079
1	Dat Deck	Tascam	DA-40	25	25	0.197
1	Compac Disc Player	Tascam	CD-401MKII	25	25	0.197
Cuarto de Control						
2	Bocinas de monitoreo de Operador	JBL	Control-5	350	0	
1	Ecualizador parametrico	Yamaha	YDP2006	25	25	0.197
1	Amplificador para monitores	Crest	FA601	300	300	2.362
3	Distribuidores de señal de audio	Oxmoor	MDA-26	25	75	0.591
1	Limitador de señal de audio	APX	Dominator 720	25	25	0.197
Cuarto de Amplificacion						
1	Acondicionador de potencia	ONE	Mark 30.0-III			
1	Secuenciador de retardo de encendido	LYN	PDS-16			
Total				22081	9886	77.835

Tabla 3. Equipo utilizado para calcular la corriente total del teatro



6.3. SISTEMAS DE TIERRA PARA LOS EQUIPOS

El suministro de energía que entrega la compañía distribuidora para alimentar a los instrumentos del sistema de sonorización, puede causar un problema para la gente y el equipo, cuando no se tiene un sistema de tierra adecuado.

Un diseño detallado de redes de tierra, es necesario para evitar accidentes ya que fácilmente se llega a intensidades de algunos miles de amperes.

En la tierra las corrientes se esparcen en todo el espacio y su distribución depende de la conductividad de los materiales en la superficie terrestre que es mucho menor que la conductividad de los materiales. De hecho dos de los constituyentes principales de la tierra, el óxido de silicio y el óxido de aluminio son excelentes aisladores. La conductividad eléctrica de la tierra se debe en gran medida de las sales y a la humedad que contiene.

Para el diseño de un sistema de tierra se supondrá el sistema en forma de mallas de material conductor enterrado a una profundidad de aproximadamente 0.3 a 0.5 m debajo de la superficie. En muchos casos es conveniente instalar varillas verticales de aproximadamente 0.19 cm de diámetro y de unos 3 m de longitud, principalmente cuando la resistividad del terreno es alta en la superficie.

Un cable continuo debe bordear el perímetro de la malla para evitar concentraciones de corriente y por lo tanto gradientes altos en los extremos de los cables.

El cobre es el metal más común empleado para las mallas para tierras. El acero recubierto con cobre se usa en las varillas o electrodos verticales por razones de rigidez y capacidad calorífica. Se tiene la ventaja con el cobre de una alta conductividad aunada a la ausencia de corrosión, ya que es catódico con respecto a otros metales que puedan estar enterrados en la vecindad y con ello se asegura una larga vida de la red si los conductores que la forman han sido escogidos adecuadamente para soportar las corrientes a tierra y para resistir a daños mecánicos.

Ventajas de incorporar un sistema de tierra:

1. Seguridad al personal que labora en el lugar
2. Protección al equipo contra descargas eléctricas
3. Confiabilidad en el servicio
4. Reducir operación y mantenimiento debido a:
 - Reducción en magnitud de picos de voltaje
 - Protección para la iluminación
 - Simplificación al localizar la tierra



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

El sistema de puesta a tierra es definido en el diccionario de estándares (STD 100-1984) de IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), indica que todo el equipamiento o instrumentación debe ser conectado a tierra, pero si esto no es posible se tendrán voltajes diferentes entre el equipamiento bajo condiciones de avería. Una puesta a tierra del chasis del equipo minimiza las diferencias de potencial a las personas que tocan equipos que tienen una avería eléctrica.

Comúnmente se tiene que proveer al recinto de tres fases, neutro y tierra física, además se debe alimentar un acondicionador de voltaje que cuide al sistema de sonorización de variaciones de voltaje, de ahí se conecta a un distribuidor de encendido y apagado, y este a su vez se conecta a un secuenciador ya que como es un sistema de amplificación, algunos instrumentos del sistema si son encendidos al final y los amplificadores son encendidos primero estos pueden generar un pico de voltaje que es amplificado y esta variación puede dañar las bocinas. En la figura 6.18 se muestra como llega el suministro de energía hacia el chasis del equipamiento

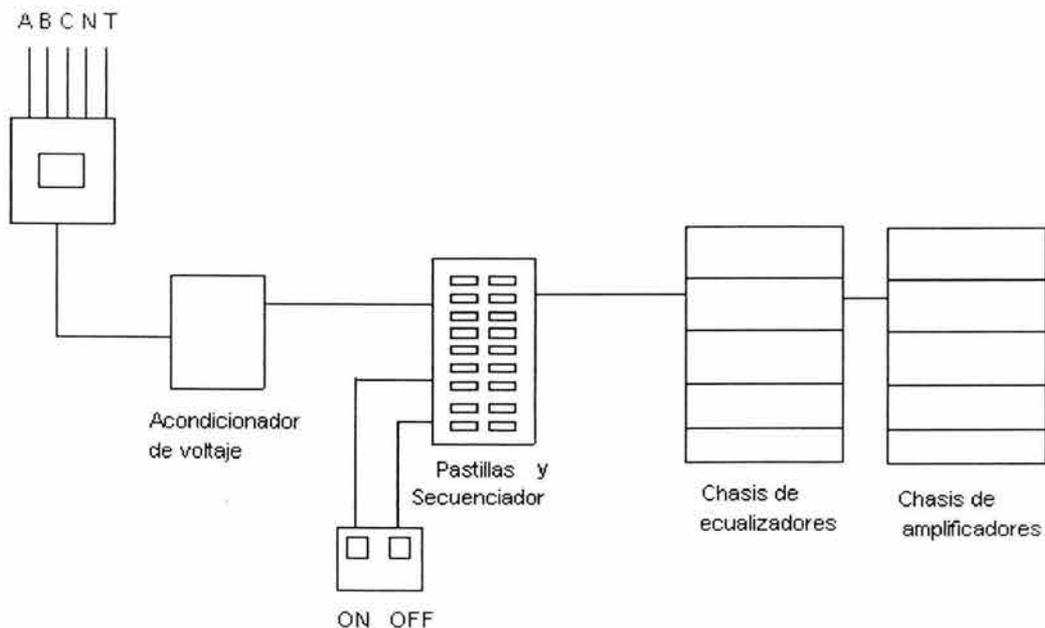


Figura 6.18. Alimentación de voltaje hacia el equipo

El centro de carga de la figura 6.19 muestra como debe ser y como se distribuye la potencia a diferentes circuitos.

La forma de calcular la potencia necesaria para soportar toda la carga de audio es sumando toda potencia de consumo de todo el equipamiento y al resultado añadirle un margen del 15% para que así se tenga la posibilidad de conectar otros equipos ajenos al espacio.

Los nuevos modelos de equipo que conforman el sistema de sonorización tienen protección para estos casos, por eso se debe tener un sistema de encendido y apagado automático que evite estos errores de conexión.

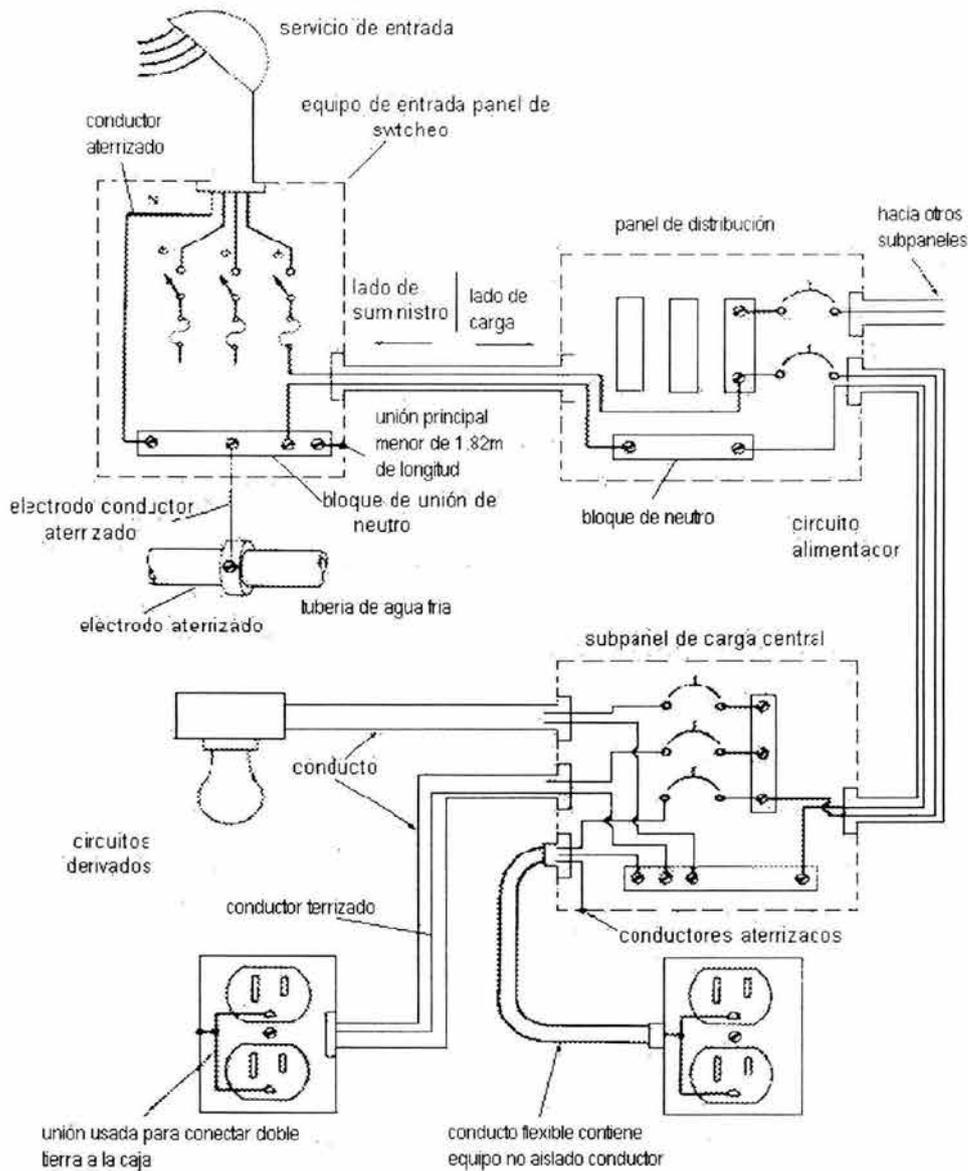


Figura 6.19. Sistema de distribución de potencia

Otro factor importante por el cual todo debe estar aterrizado es reducir los ruidos generados por cargas inductivas. Los campos eléctricos y magnéticos pueden generar fuentes de ruido por la capacitancia o inductancia de estas líneas. Los métodos para controlar estos tipos de acoplamientos incluyen separación, líneas balanceadas y blindaje. El ruido sobre las líneas de potencia de AC es transmitido por el conductor haciendo que el electrodo a tierra el cual manda a tierra al



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SONORIZACIÓN DE UNA DISCOTECA-BAR Y EL ANÁLISIS DE UN TEATRO

conductor neutro controlando los ruidos de entrada al sistema de audio. En la figura 6.20 se muestra el diagrama de un sistema de potencia.

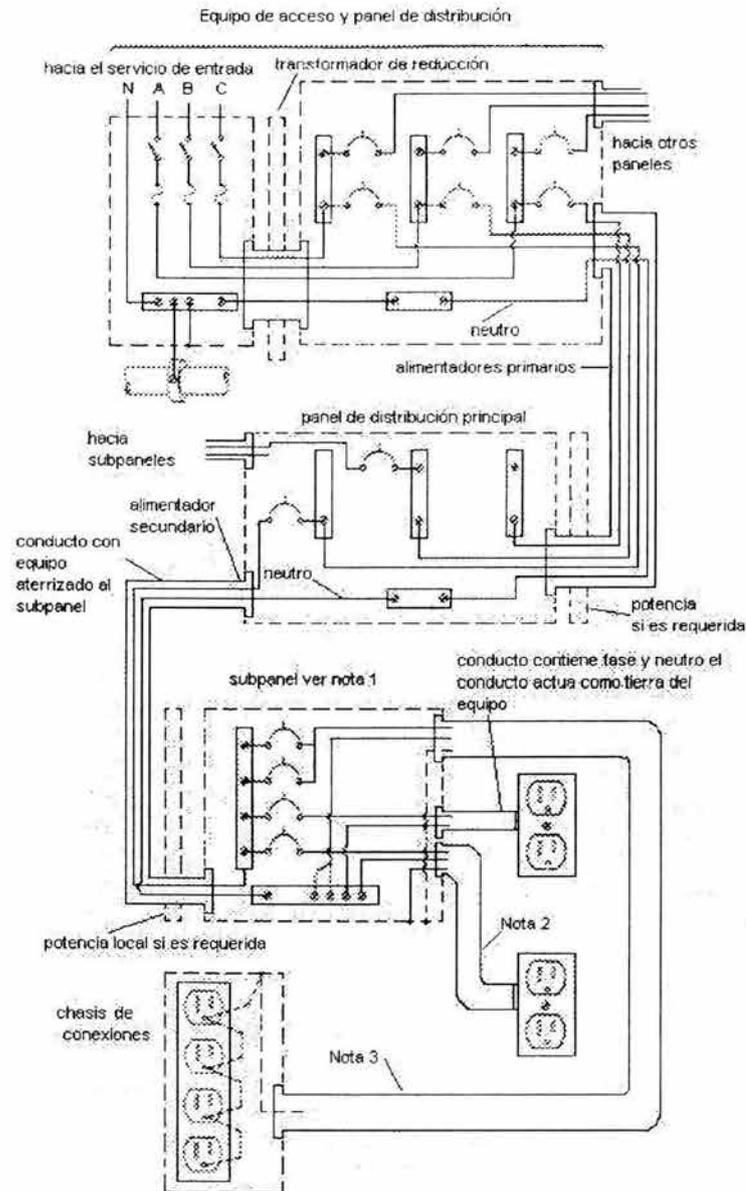


Figura 6.20. Distribución del sistema de tierra

Nota 1. Los subpaneles por lo general contienen 3 fases como muchas transmisiones.

Nota 2 cable flexible contiene fase neutro y equipo conductor aterrizado.

Nota 3. Conducto contiene fase y neutro y normalmente contiene equipo no aislado y aterrizado. El conducto puede ser usado como equipo conductor a tierra



En la figura 6.21 se muestra un ejemplo de como un elemento del sistema de sonorización esta aterrizado para evitar diferencias de voltaje. Es importante que todo este aterrizado como se muestra en la figura 6.21 para evitar lazos de conductividad creado por sus elementos.

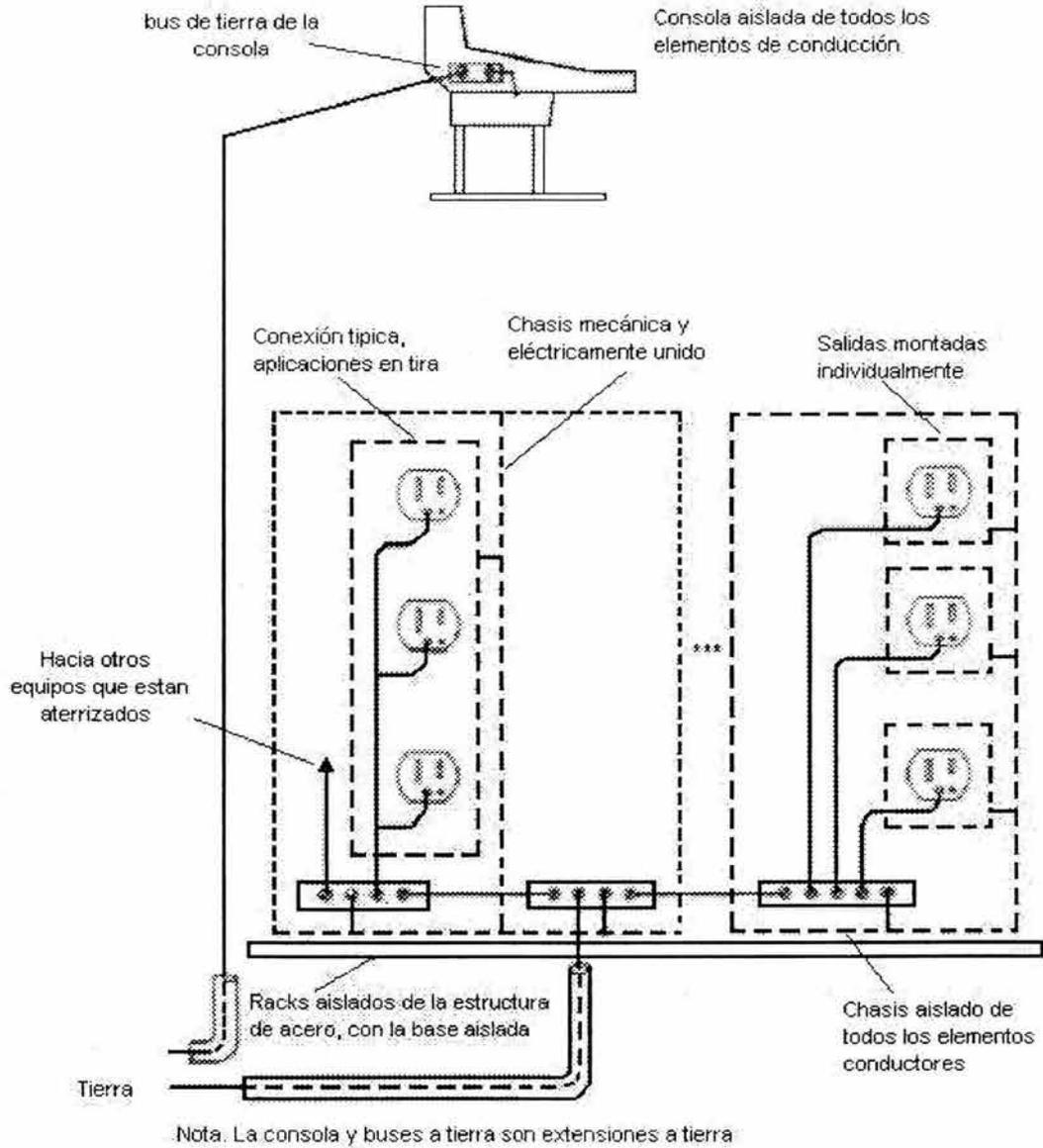
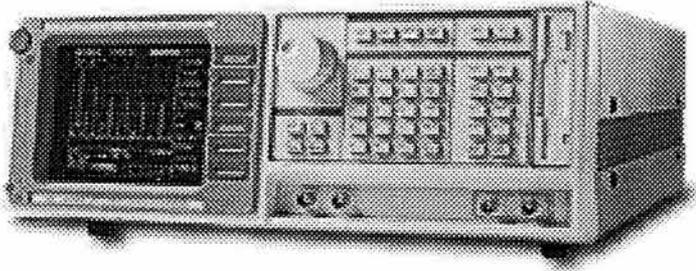


Figura 6.21. Extensión de un bus a tierra



7. VERIFICACIÓN DE FALLAS Y MEDICIONES SONORAS

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se sugieren pasos a seguir después de haber conectado e instalado el equipo para verificar que todo el cableado, así como los instrumentos de sonorización estén en perfecto estado y bien conectados según especificaciones del diseño, además de realizar mediciones del sistema de sonorización para verificar el buen posicionamiento de las bocinas para una mejor repuesta en frecuencia del sistema en el teatro así como saber el nivel sonoro del sistema, también medir el tiempo de reverberación de la sala, saber que frecuencias nos pueden ocasionar problemas a la hora de tener un evento en el recinto y tomar las medidas correspondientes.

7.1 VERIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS Y DETECCIÓN DE FALLAS EN EL SISTEMA SONORO

Ahora que el sistema esta diseñado e instalado es tiempo de comenzar la tarea de verificación. Todo el cuidadoso trabajo de diseño parecería poco si no se perfecciona la instalación de audio. La señal sigue una trayectoria desde la fuente original pasando por el sistema de sonorización hasta llegar al público, tiene una multitud de oportunidades de cambio inadvertido de fase, pérdida de ganancia no planeada, malas conexiones y problemas de incompatibilidad de los componentes. El sistema de sonorización que se verificó es el de un teatro esto se ilustra en el plano 6.9 donde se muestra el diagrama de flujo del sistema y donde se dará seguimiento de la señal. El sistema incluye varios canales de entrada, efectos insertados y múltiples mezclas de salidas ruteadas a un sistema de 3 vías y bocinas de escenario. Cada uno de estos



componentes necesitan verificarse individualmente y después como un sistema completo.

La verificación se divide en 6 secciones:

- Escenario: Micrófonos, cajas directas, Splitters
- Mezcla: Consola mezcladora, efectos externos, compresores, compuertas y ecualizadores
- Chasis de Sala: Ecualizadores del sistema y líneas de atraso
- Chasis de Amplificación: Procesadores y Amplificadores
- Bocinas: LF (Baja Frecuencia), MF (Medias Frecuencias), HF (Altas Frecuencias)
- Conexiones: Cable, Conectores, Transmisores y Receptores inalámbricos

Verificación de Micrófonos

- Verificar la respuesta en frecuencia en frecuencia y fase
- Analizar el patrón de direccionalidad del micrófono sobre diferentes frecuencias
- Asegurar la compatibilidad de los micrófonos
- Verificar posibles daños o desgastes de micrófonos

Verificación de Mezcladora

Lo que se debe verificar en una mezcladora es:

- Sección de Entrada
- Sección de salida

Sección de Entrada

El canal de entrada tiene que ser capaz de recibir nivel de micrófono o nivel de línea y entregar nivel de línea para ser enviado a la salida. Los puntos de inserción y salida directa también deben verificarse porque usualmente sus conectores utilizados son de tipo "Phone jack T/R/S", después se debe verificar cuando ocurre el punto de saturación.

Sección de Salida

La consola mezcladora debe ser probada para asegurar que es capaz de proporcionar suficiente señal de salida para llevar el sistema a su máxima capacidad. Cualquier mezcladora profesional debe ser capaz de entregar +24 *dBu* en su salida con la condición de que está operando dentro de su estructura normal de ganancia. Cada modelo posee diferente topología relacionada con su estructura de ganancia en cuanto a las entradas, subgrupos, master y matriz. El



objetivo es obtener la señal de entrada a la salida sin que suceda el clip internamente.

Verificación del Chasis de Sala

Contiene los componentes para la alineación del sistema como ecualizadores y líneas de atraso. El chasis de sala debe ser probado para asegurar que la señal de salida tiene el nivel necesario para utilizar el sistema a su máxima capacidad. Cualquier ecualizador profesional o línea de atraso debe ser capaz de entregar +24 *dBu* a su salida con la condición de que opera dentro de su estructura normal de ganancia. Los modelos difieren en los controles de entrada y salida y en la estructura de ganancia. El objetivo es ser capaz de obtener la señal de entrada a la salida sin que suceda una saturación. Después se tiene que verificar la precisión de los indicadores del panel frontal en términos de los filtros de ecualización, tiempos de atraso y estado de sobrecarga.

Verificación del Chasis de Amplificación

El chasis de amplificación es la última etapa en la ruta de la señal de audio. Las condiciones entre el procesador de bocinas y el amplificador tienen que ser verificadas ya que son determinantes para la protección del sistema. La ganancia de voltaje de los amplificadores y su polaridad son factores críticos si el sistema está integrado por amplificadores de diferentes fabricantes. El cableado entre estos sistemas debe verificarse ya que existe la probabilidad de que estos fallen.

Verificación de Bocinas

Como las bocinas son el punto final de señal, generalmente si existe una falla en algún punto de las etapas anteriores y no se tiene un conocimiento de los sistemas de instrumentación se le atribuye la falla a la bocina. Bocinas quemadas, dañadas o que por el gran uso de ellas empiecen a perder sus características originales, errores de cableado interno, pérdidas de tornillos o daños en las cajas.

Falsificación de Bocinas: Al adquirir o rentar bocinas con una compañía de dudosa reputación puede como consecuencia que dichas bocinas sean falsificadas. Hay varias compañías que manufacturan copias de bocinas de varias marcas y las venden como si fueran auténticas. Afortunadamente la mala calidad de su acabado y ensamblaje hace que sea fácil detectar por el usuario que tenga el conocimiento del equipo original.

Cableado interno: Si a las bocinas les han dado mantenimiento es posible que haya errores internos de cableado. Aunque esto es relativamente raro. Al abrir el cajón se debe hacer la última prueba de verificación de polaridad.



Verificación de Conexiones

Se toma en cuenta 3 aspectos:

- Líneas Balanceadas con polaridad normal
- Líneas Balanceadas con polaridad invertida
- Líneas Desbalanceadas

Líneas Balanceadas con Polaridad Normal

La continuidad de los cables puede ser verificada fácil y confiablemente por una amplia gama de equipos. Estos incluyen ohmetros, probadores de cable, y analizadores de tiempo real (RTA's). Los parámetros a ser probados incluyen continuidad, polaridad, respuesta en frecuencia y de fase, relación señal a ruido y distorsión.

Líneas Balanceadas con Polaridad Invertida

Sólo hay 3 conductores en un cable de micrófono balanceado y hay docenas de maneras creativas de conectarlos. El error más típico es el de invertir la terminal 2 y la terminal 3. el resultado es polaridad invertida. Los componentes con líneas balanceadas no necesariamente son inmunes a la inversión de polaridad. Se necesita que al menos uno de esos componentes maneja su polaridad invertida para arruinar el funcionamiento del sistema.

Líneas Desbalanceadas

La gran mayoría de las conexiones entre los componentes utilizan entradas y salidas balanceadas. Las líneas balanceadas son preferidas por su superioridad para protegerse del ruido y mejor manejo de la señal de audio. Las líneas balanceadas utilizan dos señales una con polaridad invertida respecto a la otra. Es posible perder una de las dos señales sin que se interrumpa la señal (aunque la señal disminuye 6 *dB*). Al perder una de las señales la línea se desbalancea, disminuyendo la protección contra el ruido. Como la señal no se interrumpe es difícil detectar este tipo de cables lo cual causa problemas.

Verificación de la Polaridad en el Sistema de Sonoro

Uno de los aspectos más críticos de la verificación del sistema es el mantener la polaridad de manera estándar. Aunque las inversiones pueden ocurrir entre las conexiones de los equipos, no es hasta que sale de la bocina cuando se detecta un deterioro de la señal. Esta sección muestra como verificar que verdaderamente hay una polaridad invertida presente.



Existen 5 formas donde se verifica la polaridad

- Inversión de polaridad entre bocinas
- Polaridad invertida en el punto de corte
- Verificación de la polaridad de la bocina de graves
- Múltiples bocinas
- Optimización de la polaridad de los subwoofers

Inversión de Polaridad Entre Bocinas

Cuando una o más bocinas reproducen el mismo intervalo de frecuencias, deberán tener la misma polaridad. Esto produce que sea más eficiente la potencia del sistema.

Si se observa la figura 7.1, algunas bocinas tienen polaridad invertida con respecto a la otra dentro del mismo intervalo de frecuencias.

Esto causa:

1. Que las señales de las bocinas no se sumaran apropiadamente comprometiendo la potencia del sistema
2. Se van a crear patrones de cobertura anormal
3. Se va a producir respuesta en frecuencia irregular
4. La confiabilidad del sistema se va a reducir debido al exceso de excursión

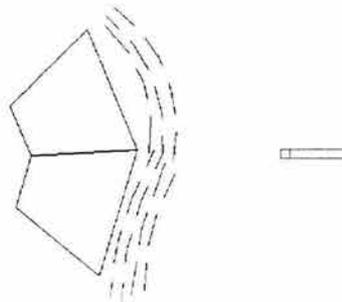


Figura 7.1. Polaridad invertida entre bocinas

Polaridad Invertida en el Punto de Corte

Cuando 2 o más bocinas cubren diferentes intervalos de frecuencias, estas deben tener la misma polaridad en el punto de corte. Esto provoca que sea más eficiente la potencia del sistema en el área del punto de corte. Esto no significa que tenga la misma polaridad de DC. En la figura 7.2 se muestra la polaridad invertida en el punto de corte.

Esto causa:

1. Que las señales de las bocinas no se sumaran apropiadamente comprometiendo la potencia del sistema en el punto de corte



2. El patrón de cobertura vertical se va a deteriorar
3. Se va a producir respuesta en frecuencia irregular
4. La confiabilidad de la bocina de agudos se va a reducir debido al exceso de excursión.

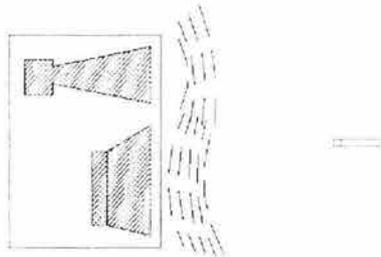


Figura 7.2. Polaridad invertida en el punto de corte

Verificación de la Polaridad de la Bocina de Subwoofer

La polaridad DC de las bocinas sigue el estándar de la industria en el que el voltaje positivo DC esta en la terminal roja y produce movimiento hacia delante de la bocina.

La polaridad de las bocinas de frecuencias bajas puede ser verificada por medio de una batería de 9 Volts, esto se muestra en la figura 7.3.

En el caso de las bocinas con difusor ("Horn Loaded") se requiere de una lámpara para ver el movimiento del diafragma de la bocina.

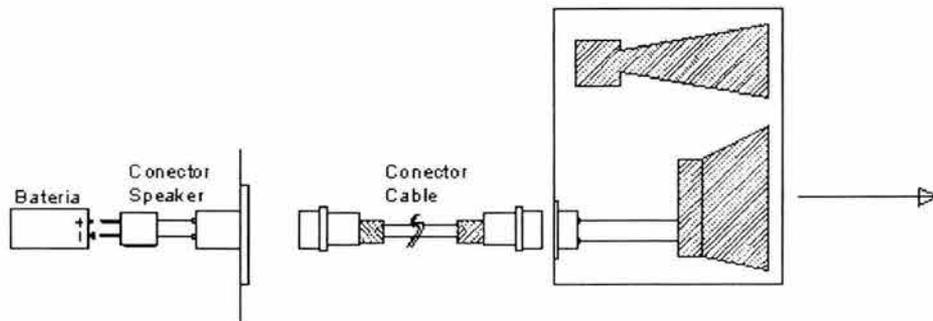


Figura 7.3. Prueba de polaridad para subwoofers con una batería de 9 volts

Optimización de la Polaridad de los Subwoofers

La verificación de la polaridad del subwoofer combinado con el sistema de intervalo completo de frecuencias se ilustra en la figura 7.4. Las bocinas han sido medidas individualmente. La respuesta en frecuencia muestra un punto de corte acústico en el área de 120 Hz. En la figura 7.4 la respuesta de fase esta claramente acoplado en el intervalo mutuamente cubierto. Cuando se suman las 2 bocinas quedan acopladas eficientemente. En contraste la figura 7.7 muestra que la respuesta de fase de las 2 bocinas mantienen un desajuste de fase de 180°



7. VERIFICACIÓN DE FALLAS Y MEDICIONES SONORAS

aproximadamente. Cuando se suman (figura 7.4) la respuesta en frecuencia resultante muestra menos energía que antes de sumar el subwoofer.

La polaridad del sistema del subwoofer debe ser evaluada caso por caso debido a que la relación de fase en el área de división de frecuencias esto depende de:

- La relación física en el área del punto de división de frecuencias entre el subwoofer y las bocinas de intervalo completo
- La relación de los subwoofers con las paredes
- El número de subwoofers y su arreglo

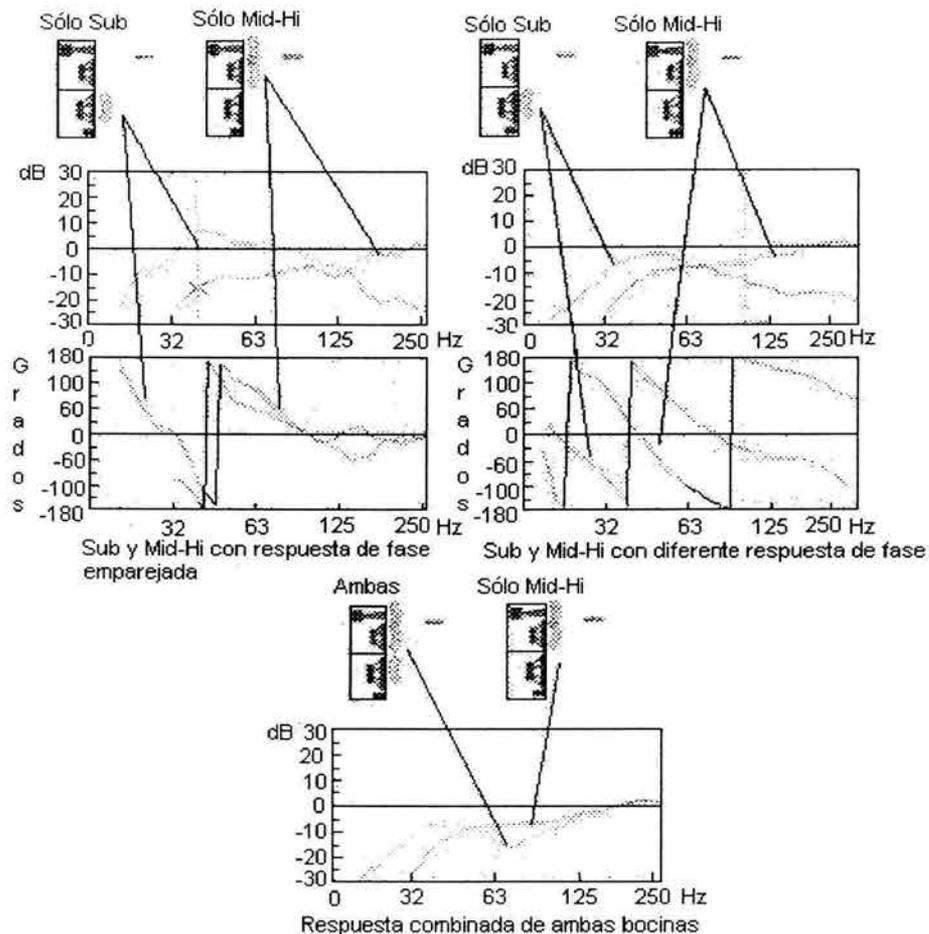
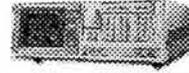


Figura 7.4. Respuesta en frecuencia y de fase de bocinas con subwoofers

Una manera sencilla de verificar que las señales de los subwoofer se estén sumando sin tener un instrumento de medición es la siguiente.

Se utiliza ruido rosa, se selecciona un filtro de equalización del área del punto de división de frecuencia (por ejemplo de 90 a 120 Hz) y se le aplica una ganancia. Si la intensidad del sonido aumenta las bocinas están correctamente polarizadas y en el caso de que la intensidad del sonido disminuya la polaridad esta invertida.



Un ejemplo de un arreglo típico para concierto. Es el que se muestra en la figura 7.5. El sistema principal está colgado y los subwoofers están en el piso. Para los asientos que están a la misma distancia de ambos sistemas la respuesta de fase es la misma que si el sistema estuviera junto. Pero en los asientos de más adelante el sonido del subwoofer llega primero. Y en el balcón sucede lo contrario. El punto de división de frecuencias es aproximadamente 100 Hz. Por lo tanto diferencias de tiempo equivalentes a 5 ms entre ambos sistemas producen cancelaciones. Y diferencias de 10 ms producen suma. Así también, las diferencias de 15 y 20 ms producen los efectos anteriores.

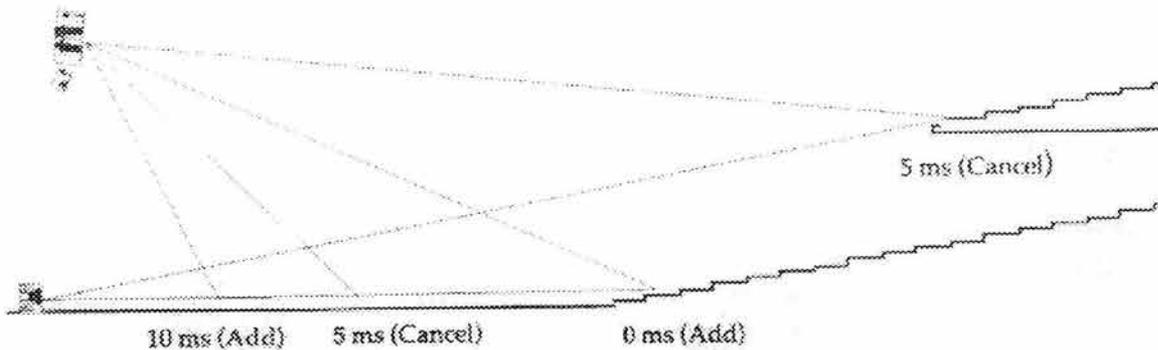


Figura 7.5. Desajustes de tiempo entre el sistema principal y los subwoofers

Múltiples Bocinas

Invertir la polaridad de una bocina de intervalo completo no tiene consecuencias siempre y cuando no se este utilizando ninguna otra bocina. Es sólo cuando se tienen múltiples bocinas acomodadas en un arreglo, cuando la polaridad absoluta se vuelve crítica. Una vez que el sistema funciona de manera combinada se vuelve difícil detectar polaridades invertidas, especialmente en salas con mucha reverberación.

La figura 7.6 muestra la respuesta en frecuencia y fase, de 2 bocinas medidas de la manera descrita. La polaridad de ambas bocinas es opuesta (cual es la correcta, depende de la manera en que se conecte la señal positiva a pin 2 o a pin 3). Observe que la respuesta en frecuencia es igual para ambos casos. De esta manera la fase presenta una diferencia de 180° en todo el intervalo de frecuencias, indicando la polaridad invertida para ambas bocinas (graves y agudos). De manera individual las bocinas funcionarían bien, juntas van a producir cancelaciones.

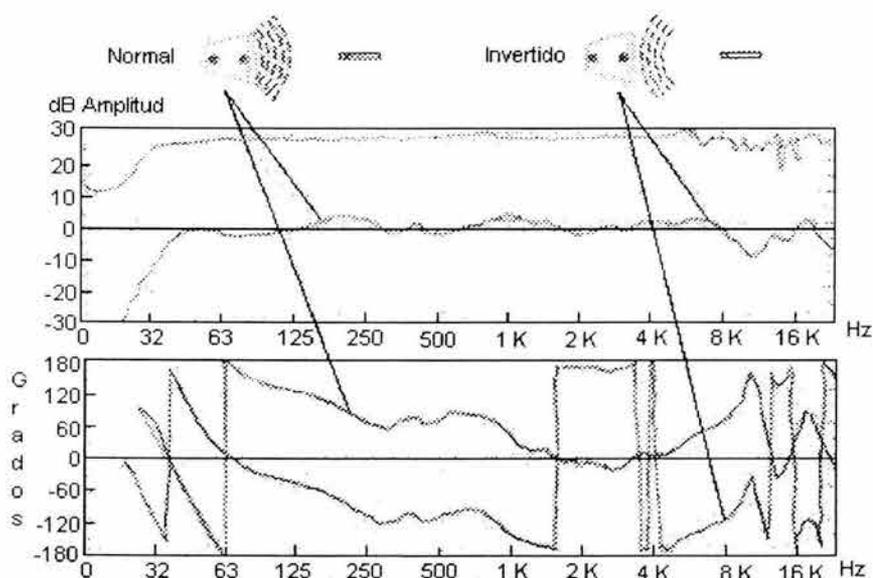


Figura 7.6. Dos bocinas una con polaridad normal y otra con polaridad invertida

Los arreglos de bocinas pueden probarse después de ser verificadas individualmente, de la siguiente manera:

Se colocan 2 bocinas de manera adyacente con el micrófono de medición colocado en el eje de la línea central entre las 2 bocinas. Primero se conecta una sola bocina. Se introduce señal apropiada como ruido rosa y se observa el nivel de la respuesta en frecuencia. Después se agrega la otra bocina. La respuesta completa deberá ser 6 dB mayor. Si hubiera polaridad invertida entre las 2 bocinas se pueden producir cancelaciones. Al separar las bocinas y al alejarlas entre sí, las cancelaciones se hacen menos severas en el intervalo de frecuencias altas, por lo que es más difícil detectarlas. Por esta razón la polaridad debe ser probada con bocinas adyacentes. Esto se muestra en la figura 7.7.

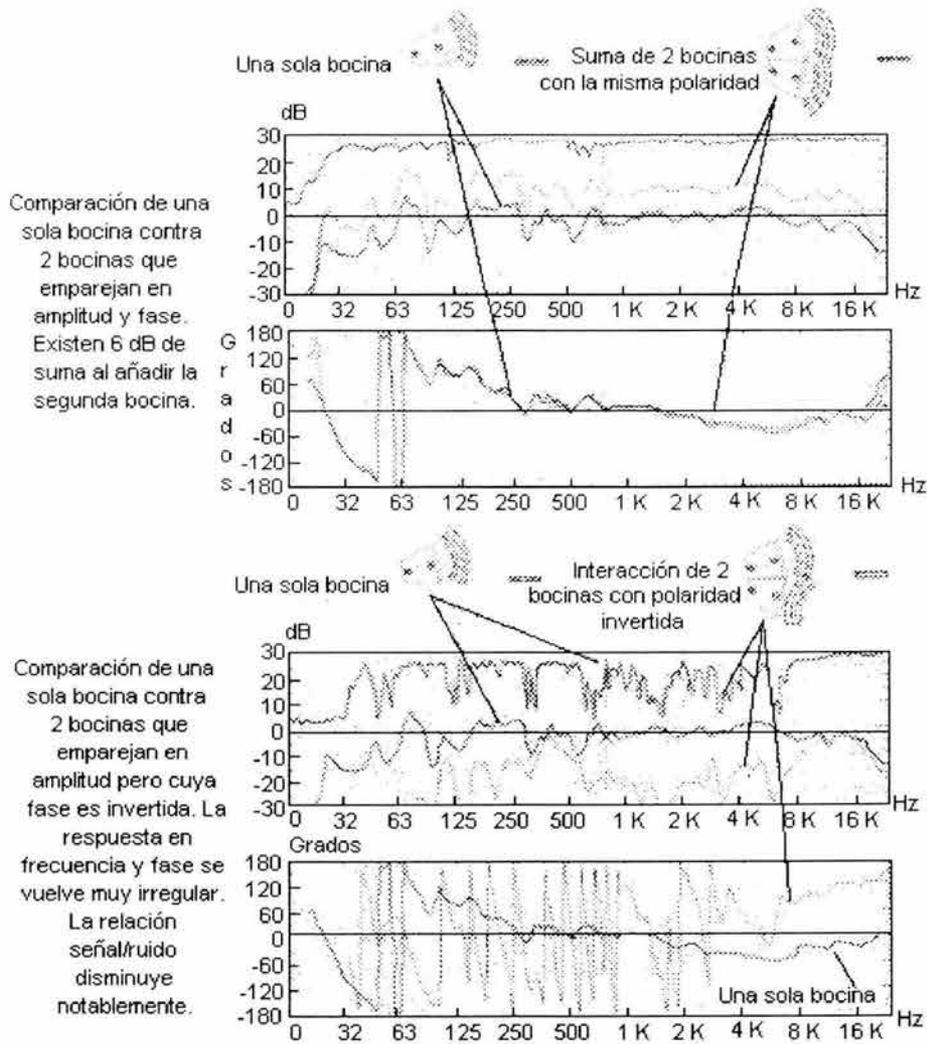
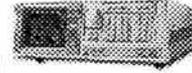


Figura 7.7. Interacción entre bocinas con polaridad igual y con polaridad invertida

7.2 PRUEBAS ACÚSTICAS DEL TEATRO

Estado del Sistema de Sonorización

Teniendo en cuenta que el teatro tiene una antigüedad de 9 años aproximadamente y que sus equipos no han sido actualizados, en la tabla 7.1 se muestra el estado encontrado de cada equipo que conforma el sistema de sonorización, las fallas encontradas en los aparatos del teatro son por vejez y por el gran uso que se les da, y que han sobrepasado sus horas de uso eficiente y por lo tanto las fallas son muy comunes y constantes. Las fallas más comunes son que los potenciómetros fallen, las tarjetas electrónicas de todos los aparatos fallan, los componentes de las tarjetas ya no tienen los valores originales, todo esto genera que el sistema se descalibre, y sea más difícil su control.



7. VERIFICACIÓN DE FALLAS Y MEDICIONES SONORAS

Cantidad	Descripción	Marca	Modelo	Estado del Equipo
Cluster Central Parte Superior				
2	Bocinas Tiro Medio con difusor	EAW	JF260	Funcionando
0.5	Procesador de Bocinas	EAW	MX200i	Descalibrado
0.5	Ecuilizador parametrico	Yamaha	YDP2006	Descalibrado
0.5	Amplificador para HF	Crest	FA901	Funcionando
0.5	Amplificador para LF	Crest	FA2401	Funcionando
Cluster Central Parte Inferior				
2	Bocinas Tiro Medio sin difusor	EAW	JF200	Funcionando
0.5	Procesador de Bocinas	EAW	MX200i	Funcionando
0.5	Ecuilizador parametrico	Yamaha	YDP2006	Funcionando
0.5	Amplificador para HF	EAW	FA901	Funcionando
0.5	Amplificador para LF	EAW	FA2401	Funcionando
Bocinas Superiores Laterales				
2	Bocinas Tiro Medio con difusor	EAW	JF260	Funcionando
1	Procesador de Bocinas	EAW	MX200i	Descalibrado
1	Ecuilizador parametrico	Yamaha	YDP2006	Descalibrado
1	Amplificador para HF	Crest	FA901	Funcionando
1	Amplificador para LF	Crest	FA2401	Funcionando
Bocinas Inferiores Laterales				
2	Bocinas Tiro Medio sin difusor	EAW	JF200	Funcionando
1	Procesador de Bocinas	EAW	MX200i	Funcionando
1	Ecuilizador parametrico	Yamaha	YDP2006	Funcionando
1	Amplificador para HF	Crest	FA901	Funcionando
1	Amplificador para LF	Crest	FA2401	Funcionando
Subwoofers				
2	Bocinas	EAW	SB528	Funcionando
1	Procesador de Sub	Rane	DC-24	Fallando
1	Amplificador	Crest	7001	Funcionando
Monitores de Escenario				
4	Bocinas de Escenario	EAW	SM200i	Funcionando
2	Ecuilizadores Graficos	Yamaha	Q2031A	Funcionando
3	Amplificadores	Crest	FA2401	Funcionando
Area de Principal de Mezcla				
1	Consola	Crest	Century TC	Fallando
1	Fuente para consola	Crest	GT8	Funcionando
1	Ecuilizador parametrico	Yamaha	Q2031A	Funcionando
2	Limitadores 2 canales	Simetrix	425	Funcionando
1	Gate compuerta 4 canales	Simetrix	564	Funcionando
1	Procesador de efectos	Yamaha	SPX990	Funcionando
1	Procesador de efectos	Lexicom	PCM70	Funcionando
1	Headphones	Senheisser	HD-250	Fallando
Area de Playback				
1	Cassette Deck	Tascam	122MKIII	Funcionando
1	Dat Deck	Tascam	DA-40	Fallando
1	Compac Disc Player	Tascam	CD-401MKII	Fallando
Cuarto de Control				
2	Bocinas de monitoreo de Operador	JBL	Control-5	Funcionando
1	Ecuilizador parametrico	Yamaha	YDP2006	Funcionando
1	Amplificador para monitores	Crest	FA601	Funcionando
3	Distribuidores de señal de audio	Oxmoor	MDA-26	Funcionando
1	Limitador de señal de audio	APX	Dominator 720	Funcionando
Cuarto de Amplificacion				
1	Acondicionador de potencia	ONE	Mark 30.0-III	Funcionando
1	Secuenciador de retardo de encendido	LYN	PDS-16	Funcionando

Tabla 7.1. Estado de los equipos del teatro



Como se ve en la tabla 7.1 se hizo primero la verificación de todos los elementos de instrumentación del sistema de sonorización y se encontraron algunos fallando en ciertas partes, como la consola Crest que 4 canales introducen ruido a la señal, otros estaban descalibrados, etc., o como el reproductor de CD's que da el efecto de que se brinca la señal causado por la falta de mantenimiento al equipo, se tuvo que utilizar otro para hacer las mediciones. Además los ecualizadores paramétricos estaban fallando unos tenían diferentes ganancias en un mismo nivel de referencia de entrada.

Descripción del Sistema de Medición

Para la realización de las mediciones se utilizó el siguiente equipo:

- Una computadora Laptop que contiene el programa Spectrum Analyser pro live 3.5
- Un micrófono de condensador Shure SM81 propiedad del teatro
- Una fuente sonora con ruido rosa
- Un sonómetro
- El sistema de sonorización del teatro

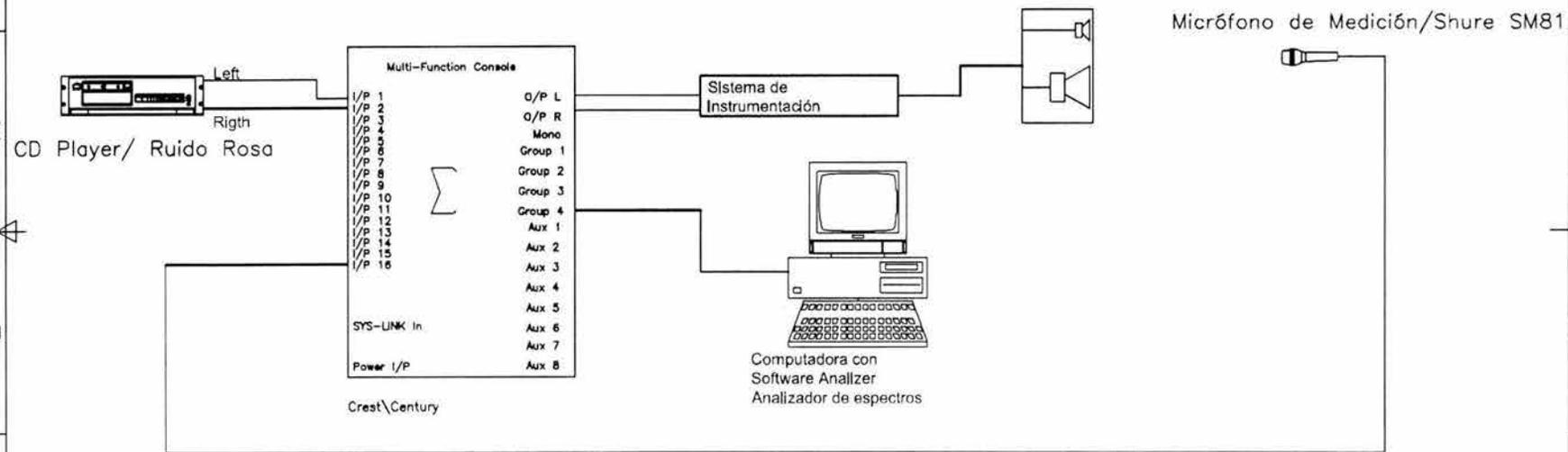
En el plano 7.1 se muestra la conexión de los instrumentos de medición, en la entrada del canal 1 y 2 de la consola Crest se alimentó con la señal del CD player el cual reproducía ruido rosa, se ajustó a 0 dB , y de ahí se dirigió a las salidas master's izquierda y derecha que entran al ecualizador gráfico y de ahí a todo el sistema de sonorización, cuidando que la señal no pierda su ganancia unitaria, es decir que se mantenga la señal por el paso de todos los instrumentos de sonorización a 0 dB , hasta llegar a los amplificadores. También se usó un micrófono para la medición, en este caso se utilizó el micrófono Shure Modelo SM81 que es de condensador y era el más idóneo de todos los micrófonos con los que se contaba, este micrófono se conectó a la entrada 16 de la consola Crest, en donde esta señal fue dirigida a la salida del grupo 4 en donde se conectó la computadora con el software de medición. El software de medición fue el Spectrum Analyzer pro live 3.5 y el Acoustic Tools, estos dos clases de software's muestran la respuesta en frecuencia y utilizan la Transformada Rápida de Fourier para sus cálculos, con estos software's se visualiza si existe alguna pérdida en algún intervalo de frecuencia que podría ser ocasionada por las malas posiciones de las bocinas, algún deterioro o mala conexión de algún equipo del sistema.

Posiciones del Micrófono en la Sala

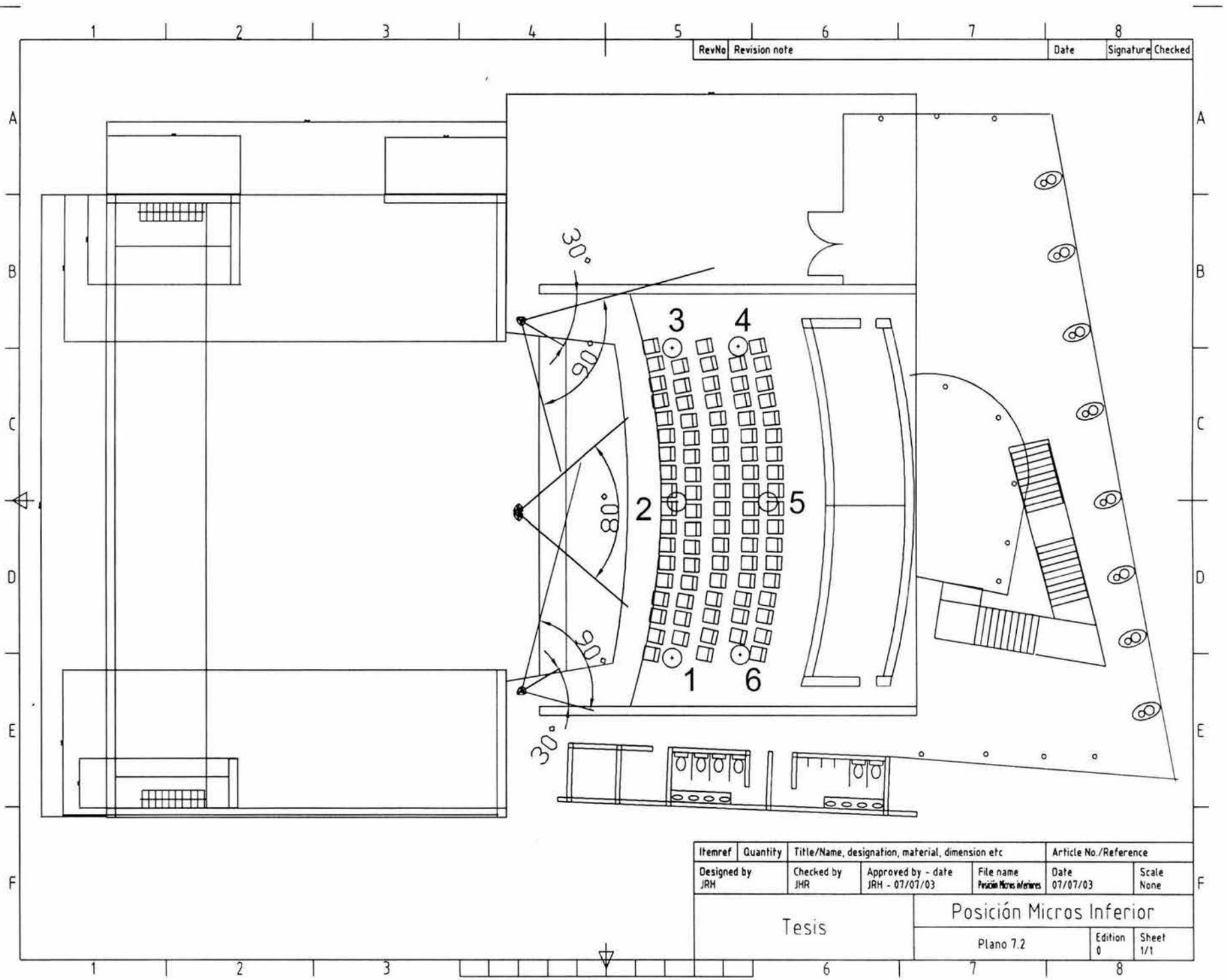
Las posiciones del micrófono en la sala se muestran en el plano 7.2 parte inferior de la sala y el plano 7.3 parte superior de la sala, que son las más representativas. Con estas posiciones se tendrá una idea clara de la respuesta en frecuencia de la sala.

A
B
C
D
E
F

A
B
C
D
E
F

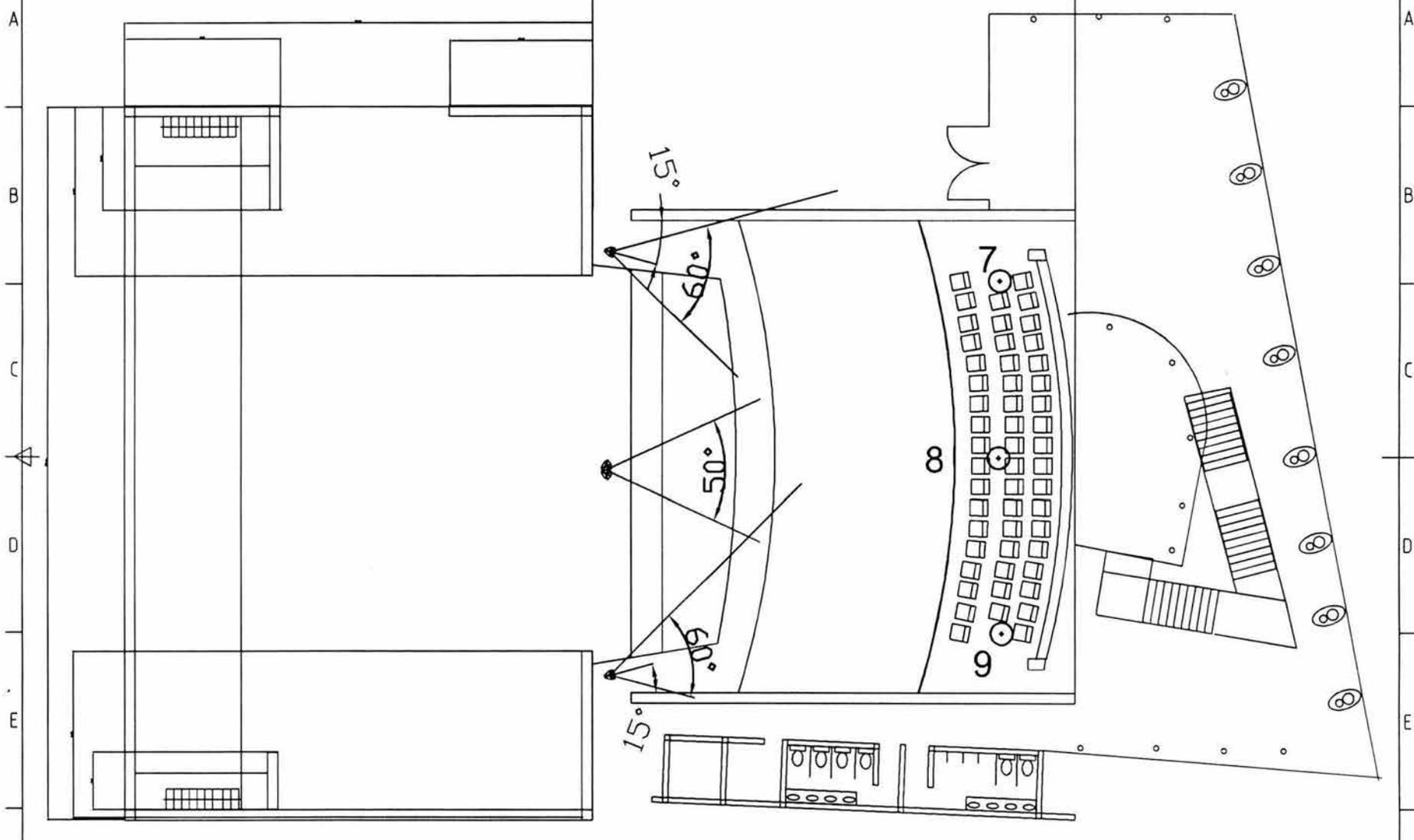


Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 08/24/03	File name Medición	Date 08/24/03	Scale None
Tesis			Diagrama de Medición		
			Plano 7.1	Edition 0	Sheet 1/1



RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked
-------	---------------	------	-----------	---------

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by JRH	Checked by JHR	Approved by - date JRH - 07/07/03	File name Posición Micros inferiores	Date 07/07/03	Scale None	
Tesis			Posición Micros Inferior			
			Plano 7.2	Edition 0	Sheet 1/1	



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by JRH	Checked by JRH	Approved by - date JRH - 07/07/03	File name Posición Micros Superior	Date 07/07/03	Scale None	
Tesis			Posición Micros Superior			
			Plano 7.3	Edition 0	Sheet 1/1	





Se tiene en cuenta que las posiciones de las bocinas del teatro corresponden a los planos referenciados por el capítulo 6 y que por su dispersión horizontal y vertical es la posición más idónea para tener una mejor respuesta en frecuencia sin tantas cancelaciones por interacción y reflexión.

Para hacer las mediciones se tuvieron que poner en bypass todos los ecualizadores paramétricos para no afectar la señal de audio, y ver la respuesta en frecuencia sin ecualización, y conocer el comportamiento del sistema en las posiciones sugeridas y saber si no existe equipo fuera de fase y cancelaciones en las áreas principales del teatro.

Posición 1

Las mediciones de la posición 1 del micrófono son para verificar que la bocina inferior izquierda este en buena posición hacia ese sector del público y no tenga casi interferencia de las otras bocinas esto se verifica con la respuesta en frecuencia acústica de esa posición, en la gráfica de la posición 1 bocina inferior izquierda la respuesta en frecuencia es la más óptima para esta posición, cuando se le suma la bocina superior que es la más cercana a ella casi no tiene interferencia si comparamos las gráficas de la posición 1 bocina inferior con la posición 1 bocina inferior más la superior izquierda no hay cambio alguno, prácticamente es la misma, también se tiene la gráfica de todo el sistema funcionando en la posición 1.

Posición 2

Las mediciones de la posición 2 del micrófono que esta al centro del la butaqueria como se muestra en el plano 7.2, se realizaron 3 mediciones, la primera prueba involucra las bocinas inferiores izquierda y derecha y al comparar esta medición con las mediciones cuando se agregan las bocinas superiores más el cluster central se tiene que no hay mucha interferencia, en los graves es donde se reduce 6 decibeles.

Posición 3

Las mediciones de la posición 3 muestran que las bocinas superiores así como las laterales izquierdas no alteran la respuesta de esta área al contrario cuando se agregan las bocinas superiores como el cluster, existe suma en el área de medias graves.

Posición 4

La mediciones en esta posición teniendo solamente la bocina inferior derecha es con una respuesta en frecuencia muy buena conforme se agregan las bocinas el intervalo de medias bajas frecuencias va aumentando y cuando se agregan todas las bocinas existen unas pequeñas cancelaciones entre 200 y 300 Hz.



Posición 5

Las mediciones en esta posición son las mejores del todo el teatro, cuando se tienen las bocinas inferiores izquierda y derecha solamente la respuesta en frecuencia es buena y al agregar las demás bocinas su respuesta va mejorando así como en el área de medias bajas y altas existe suma.

Posición 6

Las mediciones en esta posición comprueban que las bocinas superiores no afectan esta posición y al ir agregando las bocinas la suma en el área de medias graves va mejorando.

Posición 7

Las mediciones son en la parte superior derecha, aquí cuando están las bocinas superiores el amortiguamiento es más grande en las altas frecuencias pero al agregarle las otras bocinas en esta área mejora sustancialmente.

Posición 8

Las mediciones muestran que al tener el cluster central el amortiguamiento por la distancia en las altas frecuencias es alto, pero al ir agregando las demás bocinas la respuesta del sistema mejora para esta área sumando en las altas frecuencias.

Posición 9

Las mediciones en esta posición muestran que la bocina dirigida a esta posición que es la bocina superior izquierda tiene buena respuesta en frecuencia aunque un poco amortiguadas las frecuencias altas por la distancia y al ir agregando las demás bocinas ayudan a sumar en este intervalo de frecuencias dando una respuesta mas plana al sistema en esta posición.

La conclusión de estas mediciones es que todas las bocinas están en la mejor posición y la más optima para darle el mejor resultado de respuesta en frecuencia y tener el menor número de cancelaciones y como ejemplo se pusieron las bocinas inferiores en mala posición y se comparo con las de la posición 2 y dieron como resultado que las frecuencias altas están muy atenuadas y esto es porque se cambio la dirección de las bocinas drásticamente a otra posición fuera de la cobertura para la posición 2.

Mediciones para el Tiempo de Reverberación

Se utilizó ruido rosa, la posición del micrófono fue en la posición 5 del plano 7.2, como se ve en la figura RT60 donde se muestra las mediciones del tiempo de reverberación hechas por el programa Acoustic Tool's el resultado es de 1.61



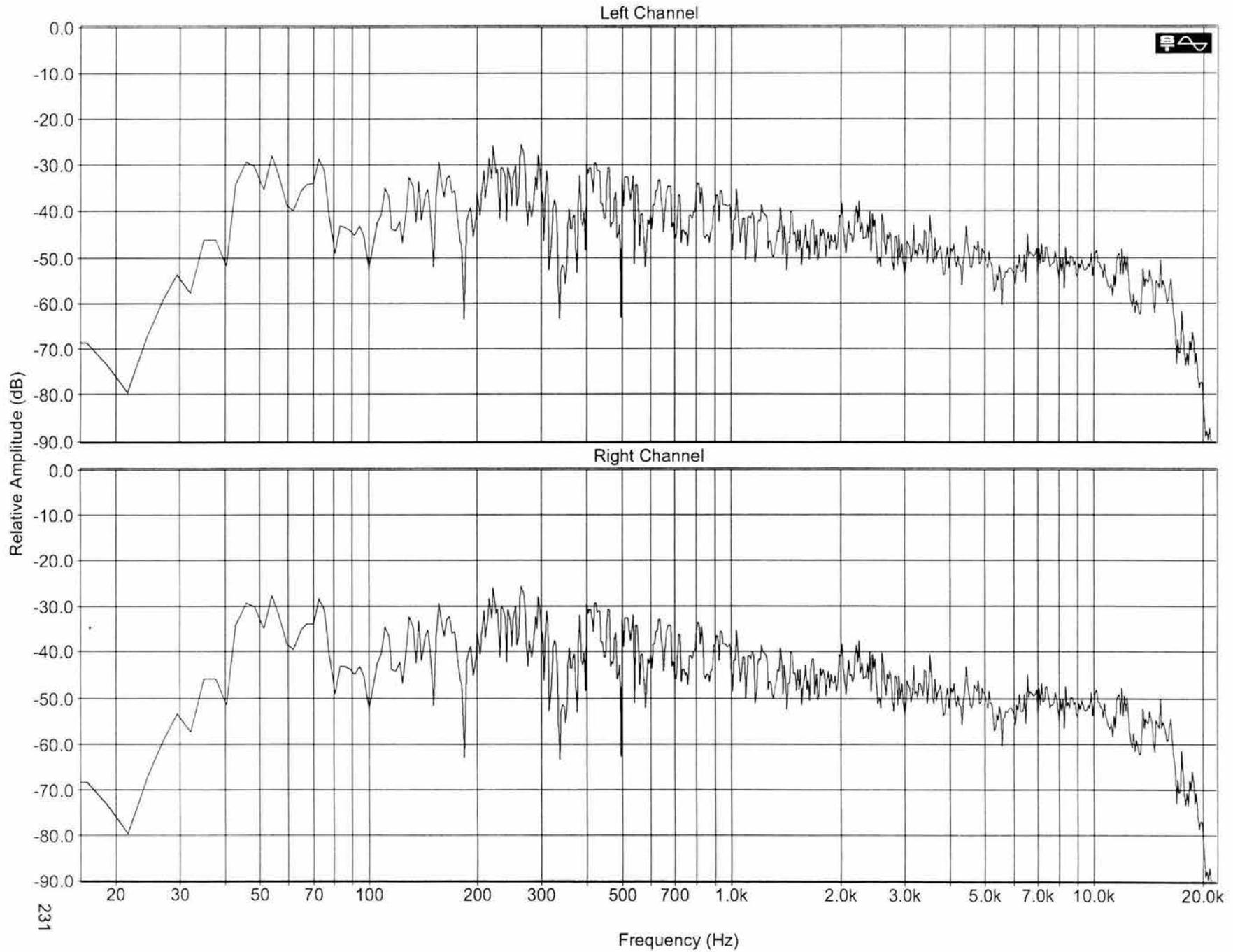
segundos igual al que se cálculo en el capítulo 6. Además el programa da los valores como el porcentaje de articulación de pérdida de consonantes (%ALCONS) que en este caso da 2.50L y 2.07S que es considerado bueno, además del factor de claridad a 50 ms (C50) que da un valor de -1.89 es considerado deficiente y el índice de transmisión del habla (STI) que da 0.03R que es muy malo. En el caso particular del teatro estas variables son a excepción del %ALCONS todas son malas, es por eso que este teatro tiene deficiencias al momento de tener que usar la voz sin la ayuda de algún micrófono se van a tener problemas de claridad.

**GRÁFICAS DE RESPUESTA EN
FRECUENCIA DEL TEATRO A DISTINTAS
POSICIONES DEL MICRÓFONO**

Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 1 Bocina Inferior Izquierda

Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 00:45:29 2003

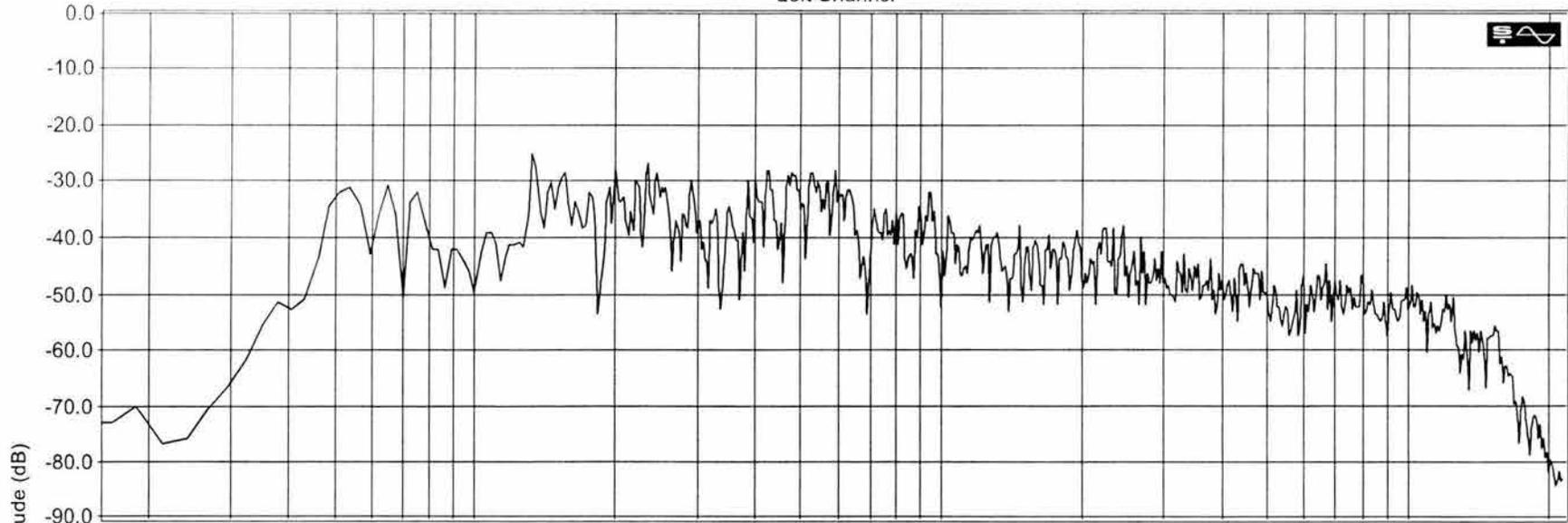


Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

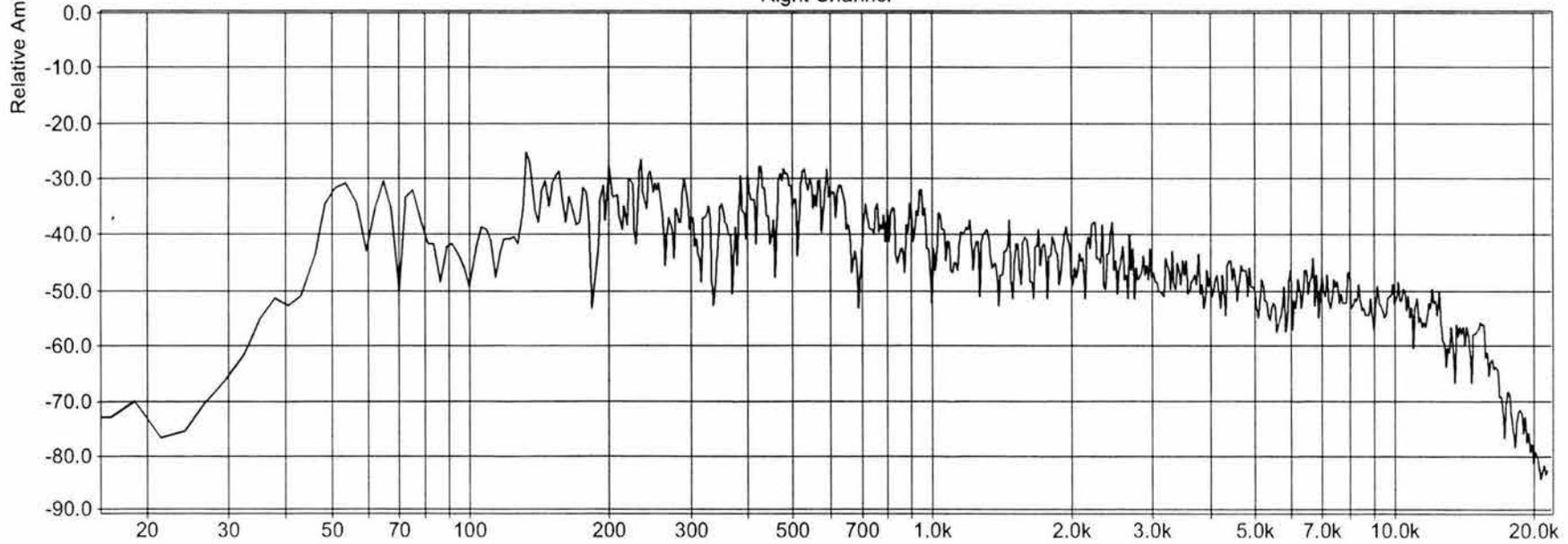
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 00:55:13 2003

Posicion 1 Bocina Inferior Izquierda y superios Izq

Left Channel

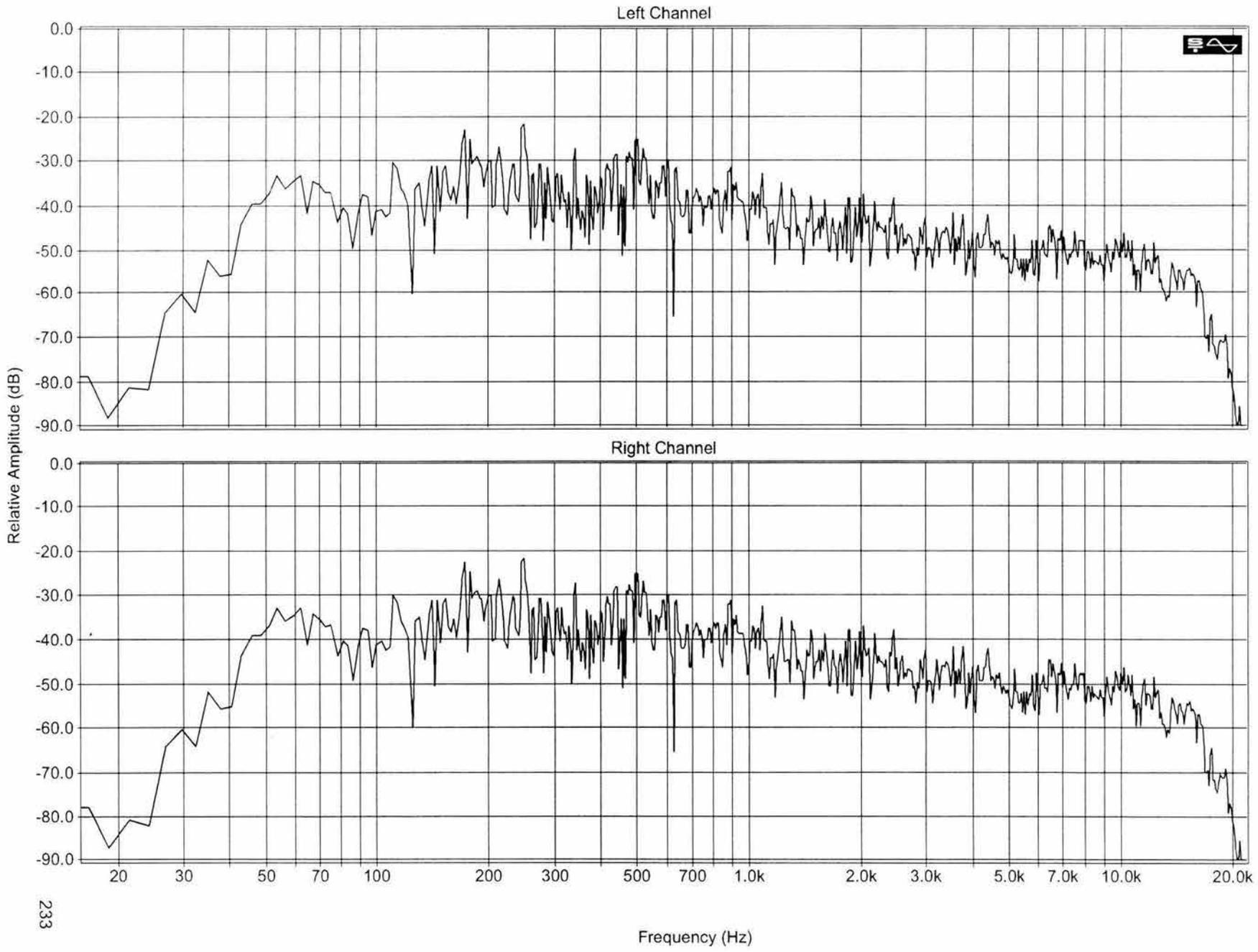


Right Channel



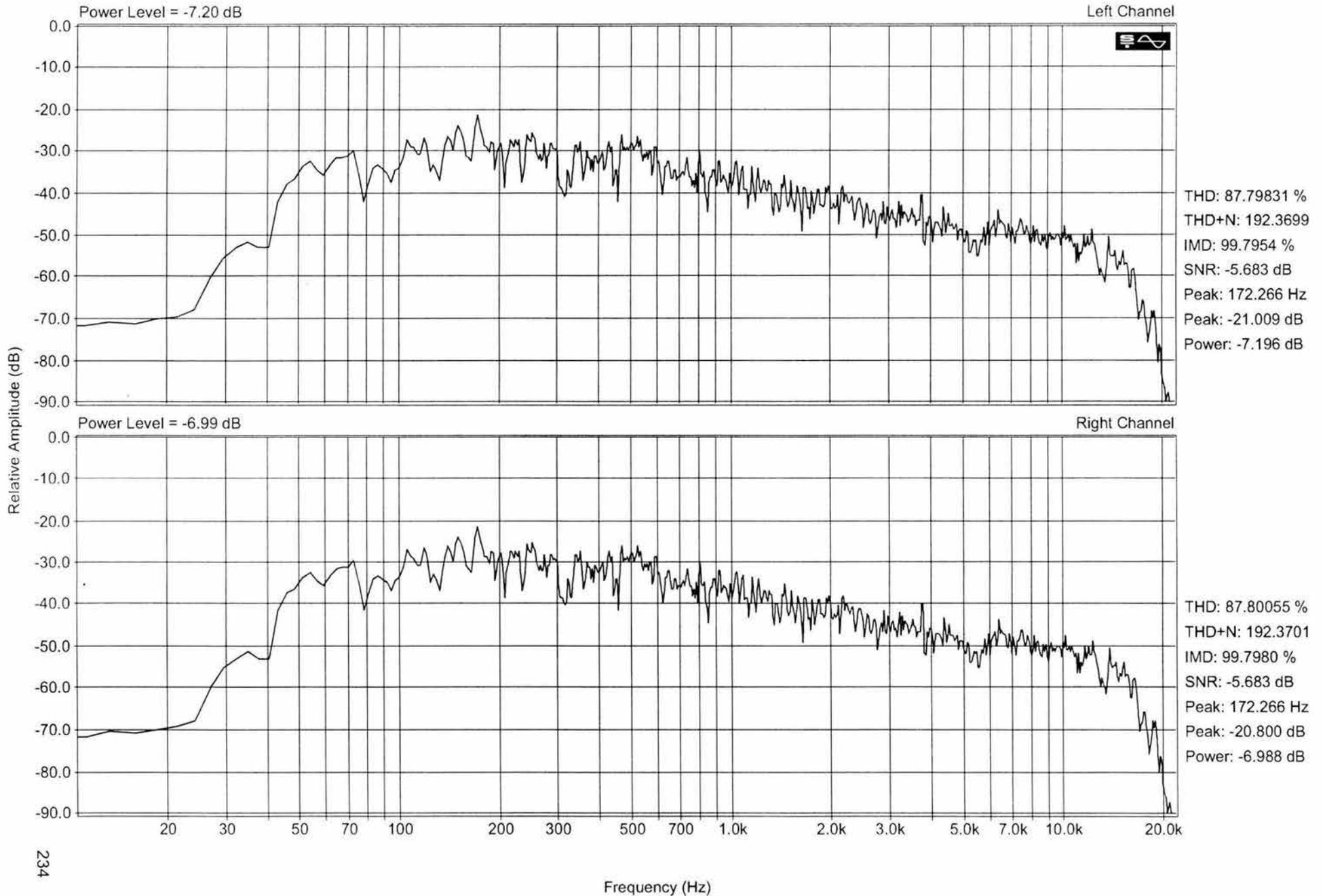
Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 1 Bocina Inferior Izquierda, superior Izq y cluster



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

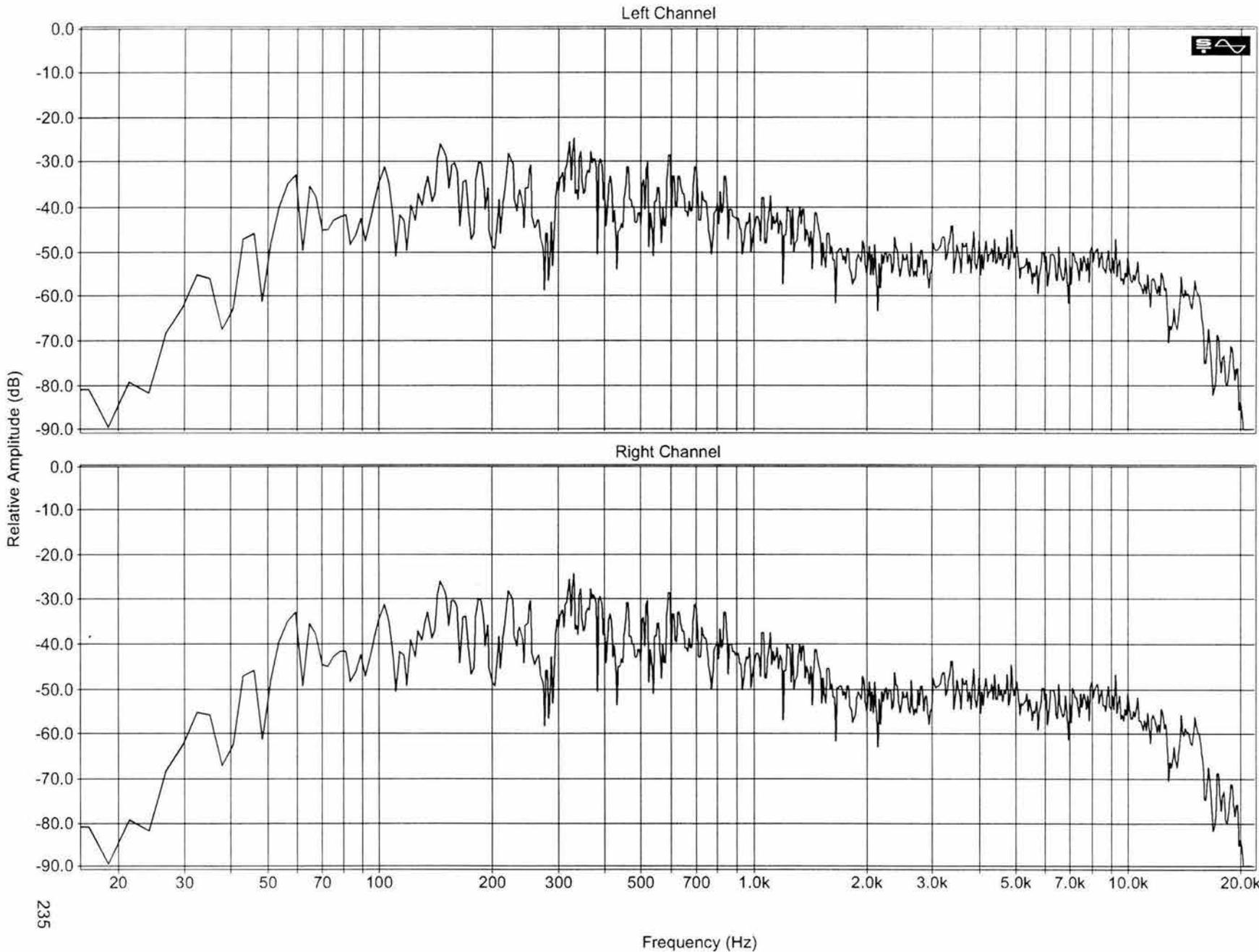
Posicion central Bocina Inferior Izquierda, superior izq, cluster y todo derecho



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 2 Bocina Inferior derecha e izq

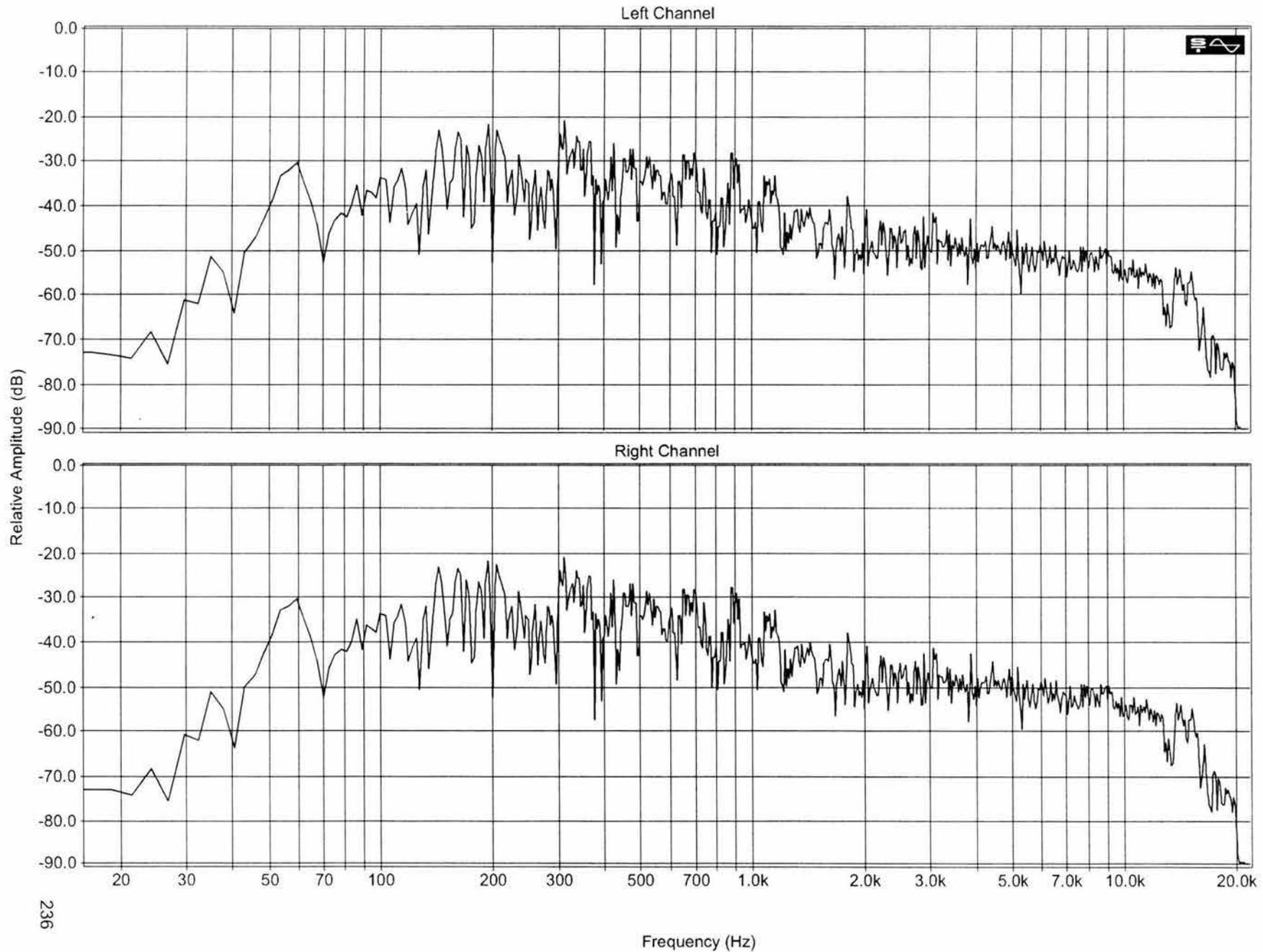
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:22:23 2003



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

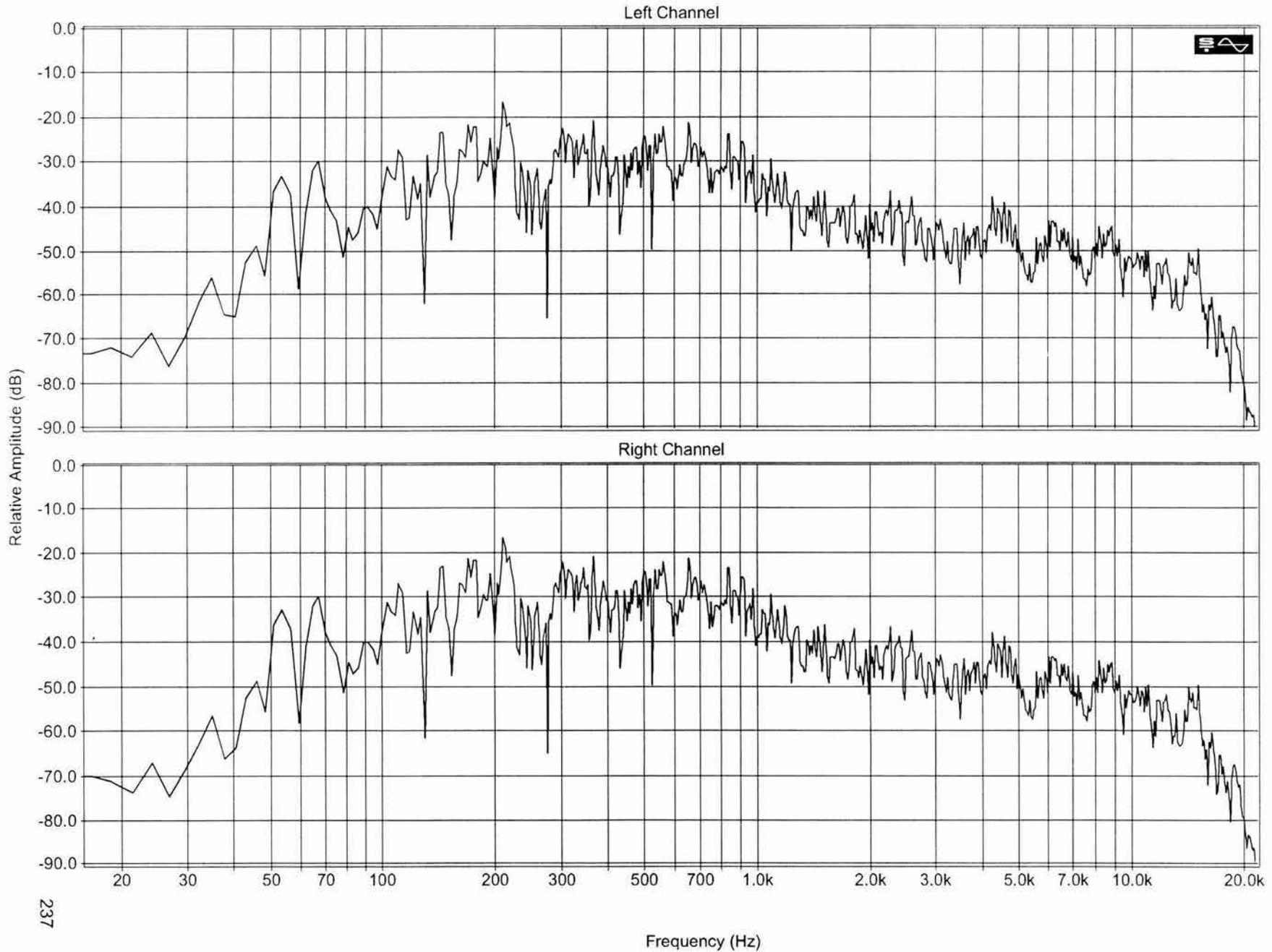
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:21:16 2003

Posicion 2 Bocina Inferior y superior derecha e izq



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

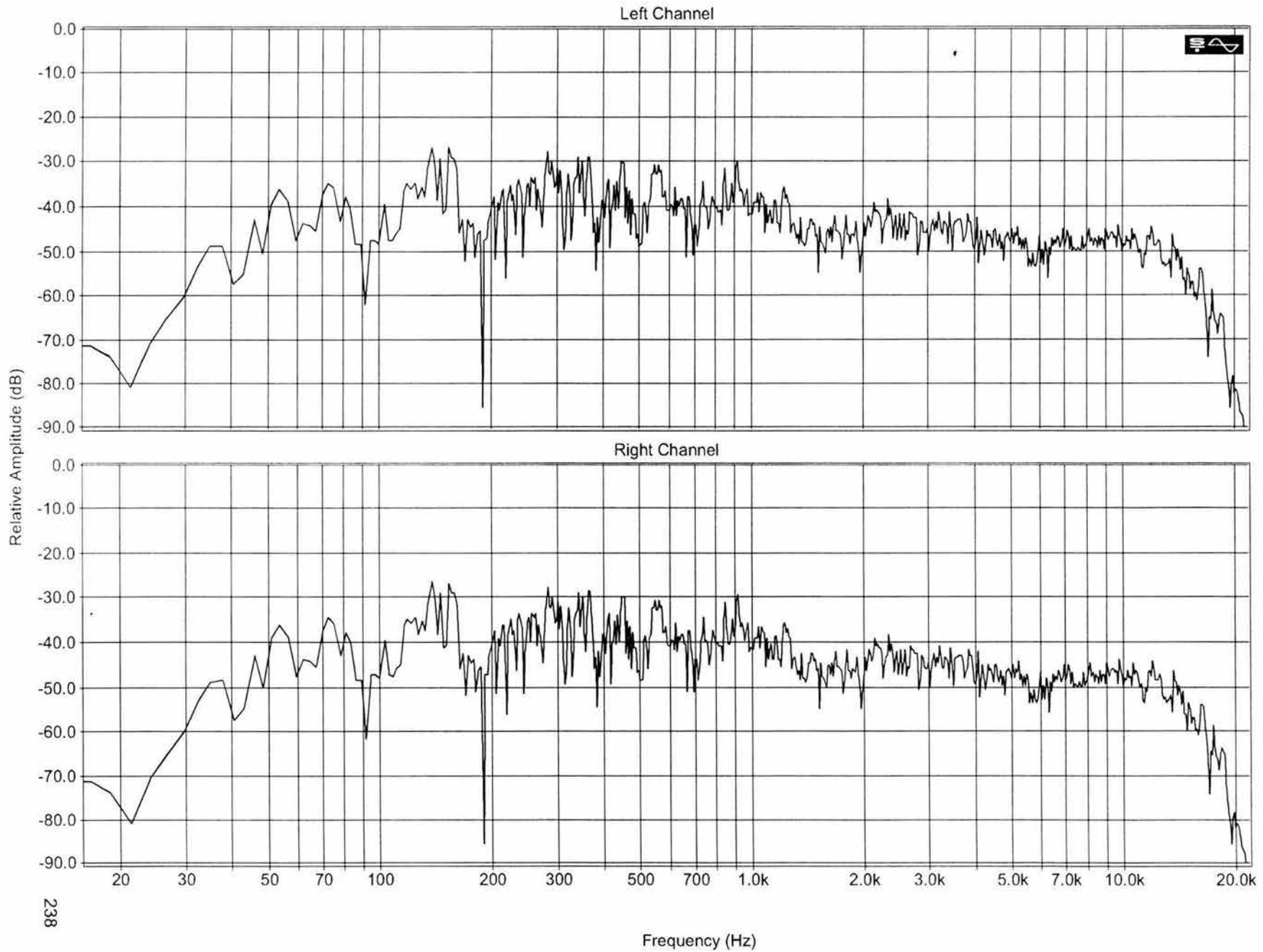
Posicion 2 Bocina Inferior y superior derecha e izq y cluster



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0%

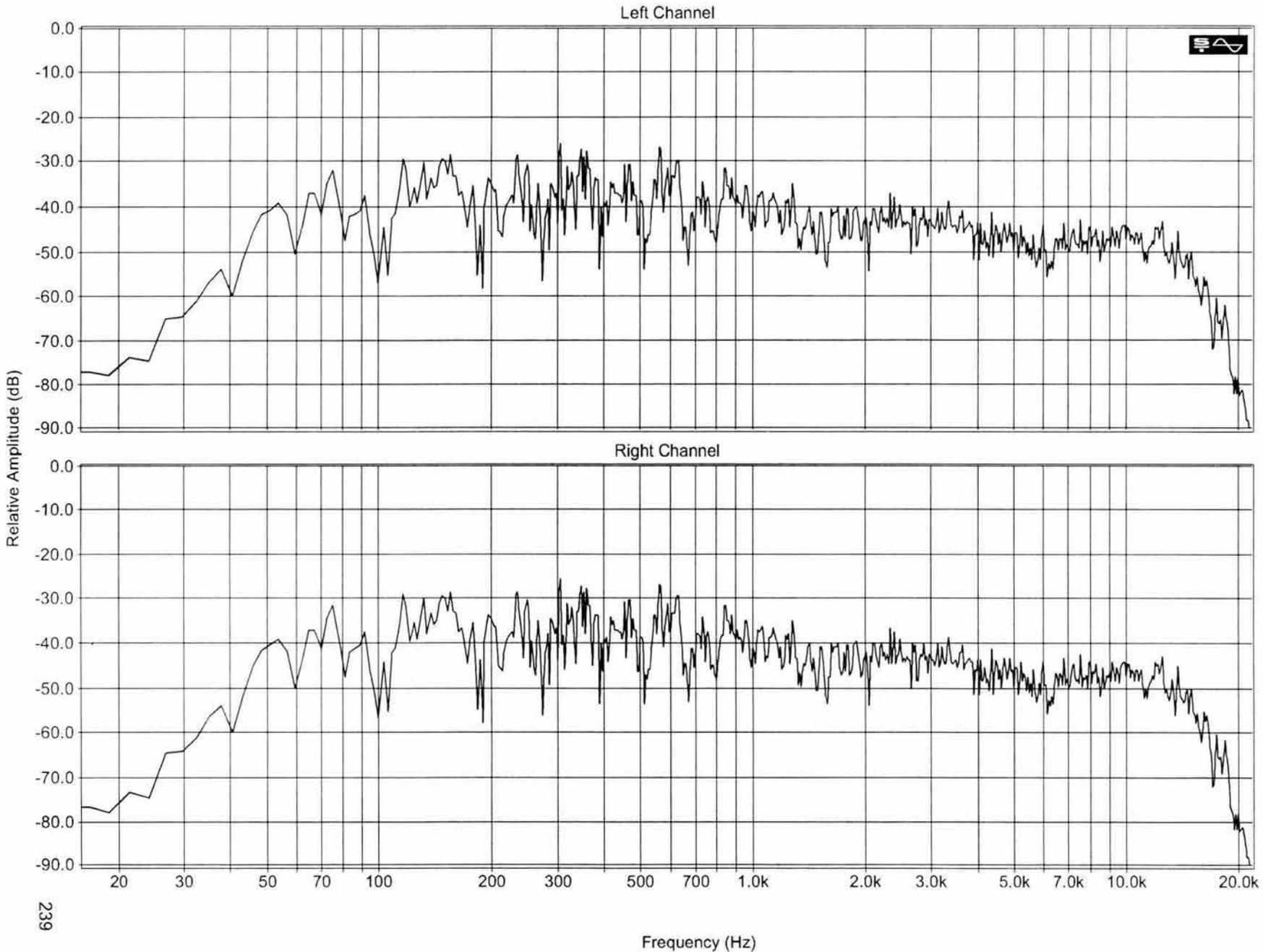
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 02:49:55 2003

Posicion 3 Bocina Inferior derecha



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

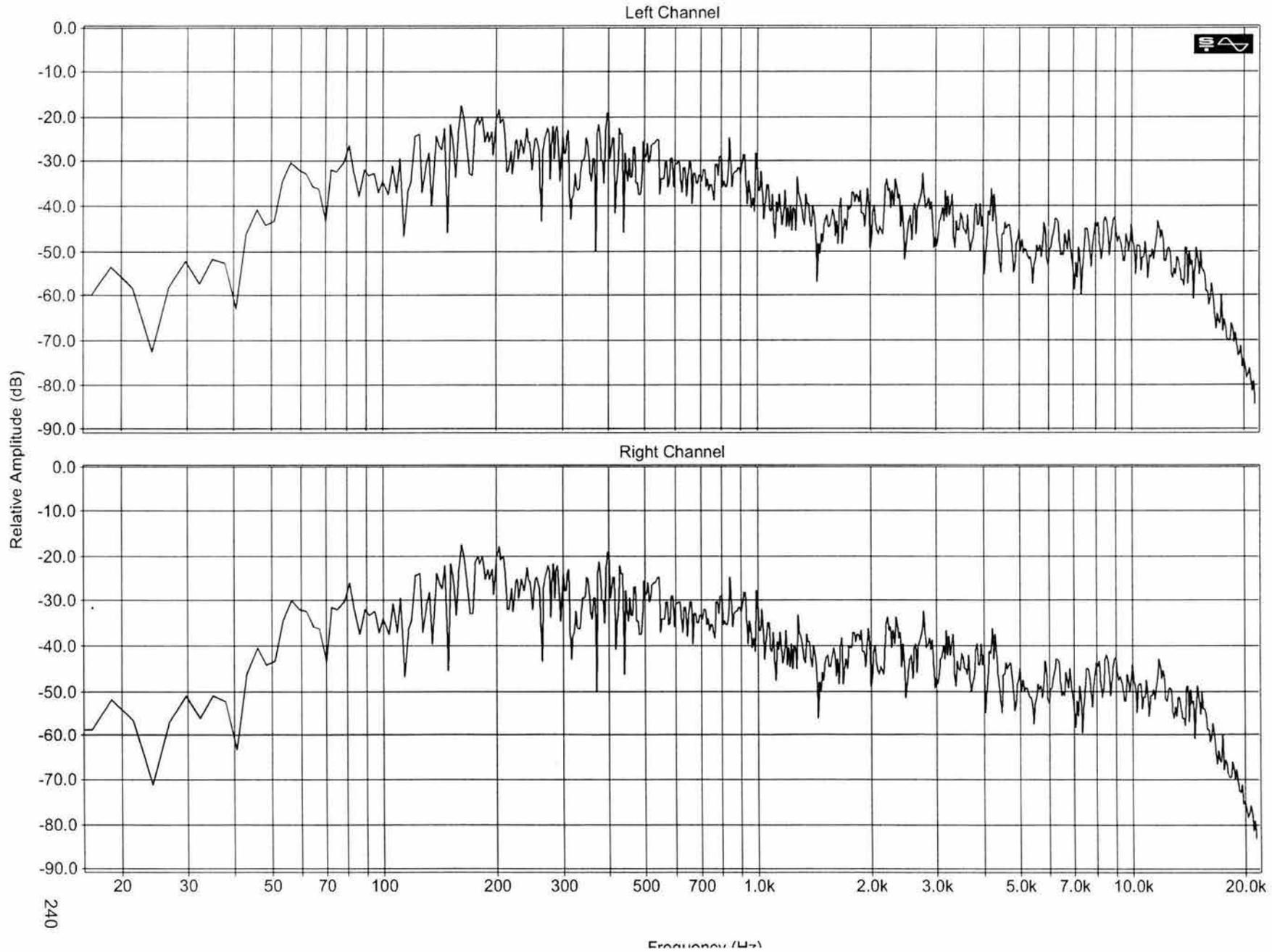
Posicion 3 Bocina Inferior derecha y superior derch



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

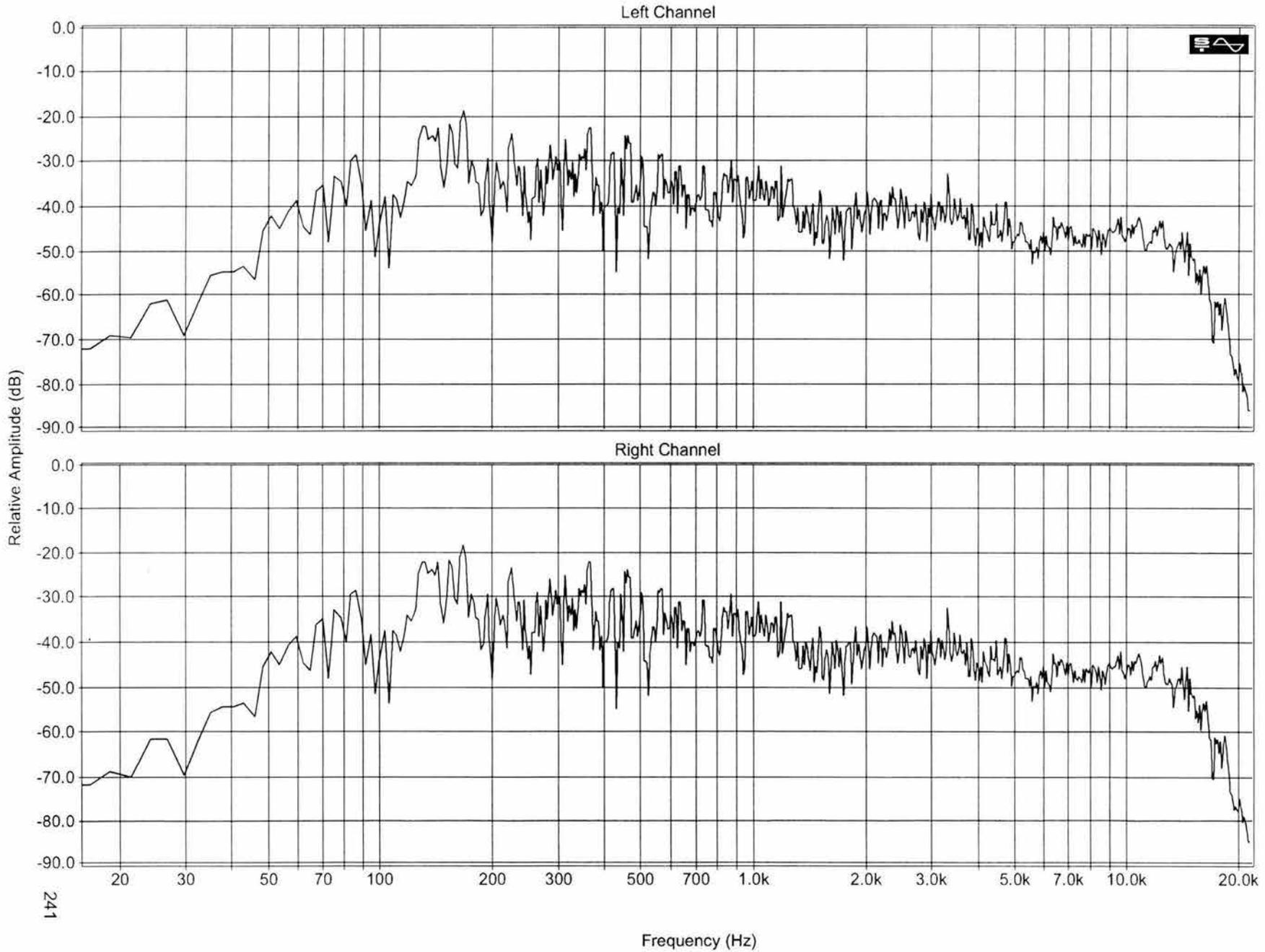
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 02:58:41 2003

Posicion 3
Bocina Inferior derecha, superior derch y cluster



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

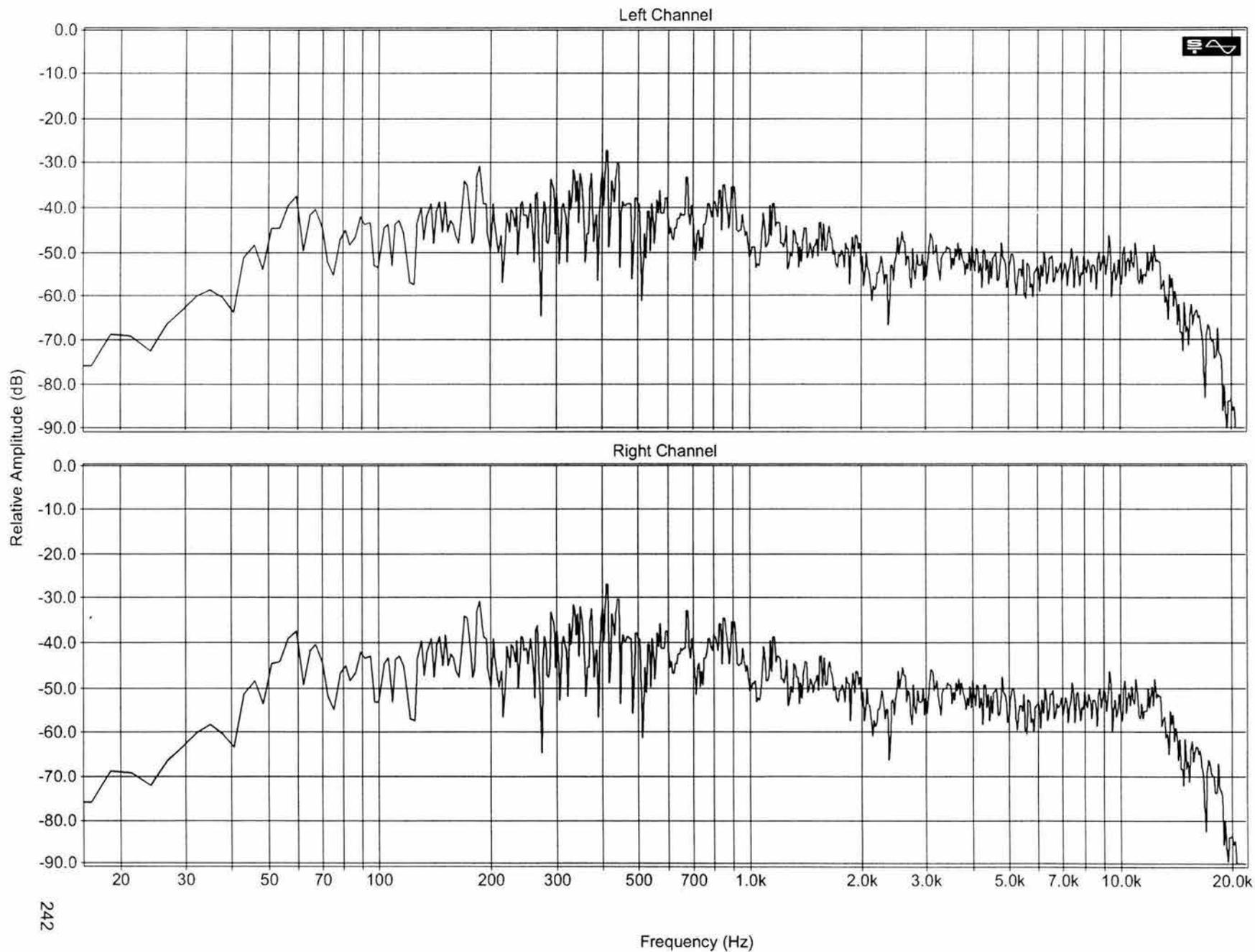
Posicion 3 Bocina Inferior derecha, superior derch, cluster y toda izq



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:31:06 2003

Posicion 4 Bocina Inferior

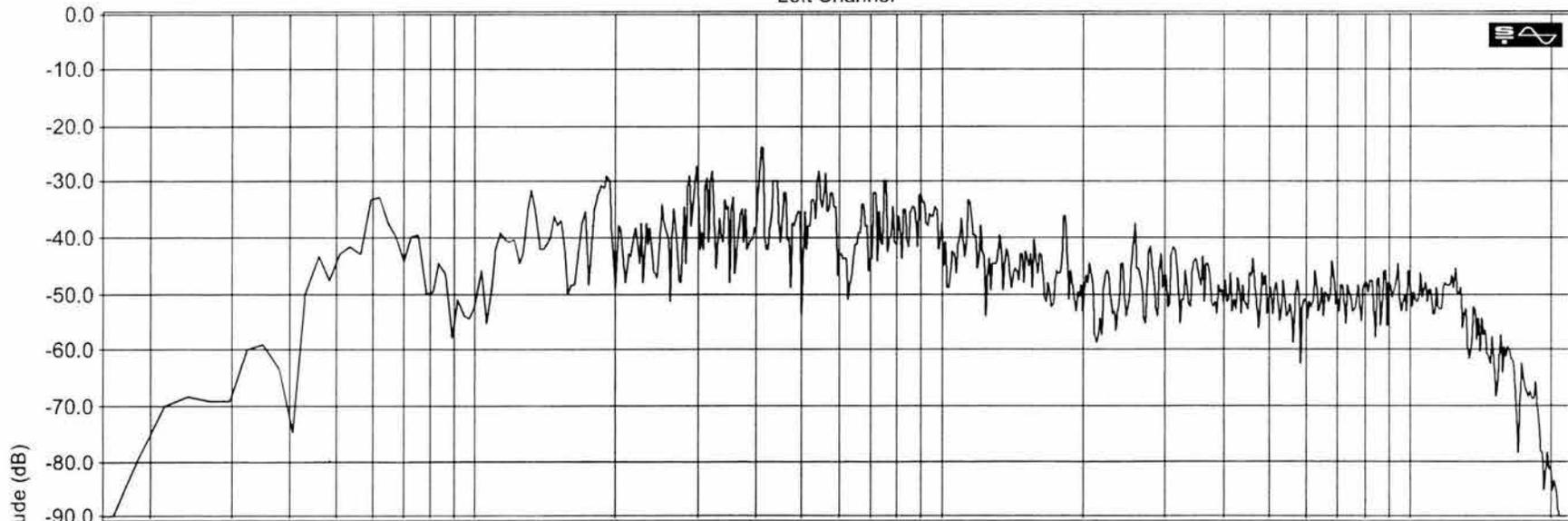


Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

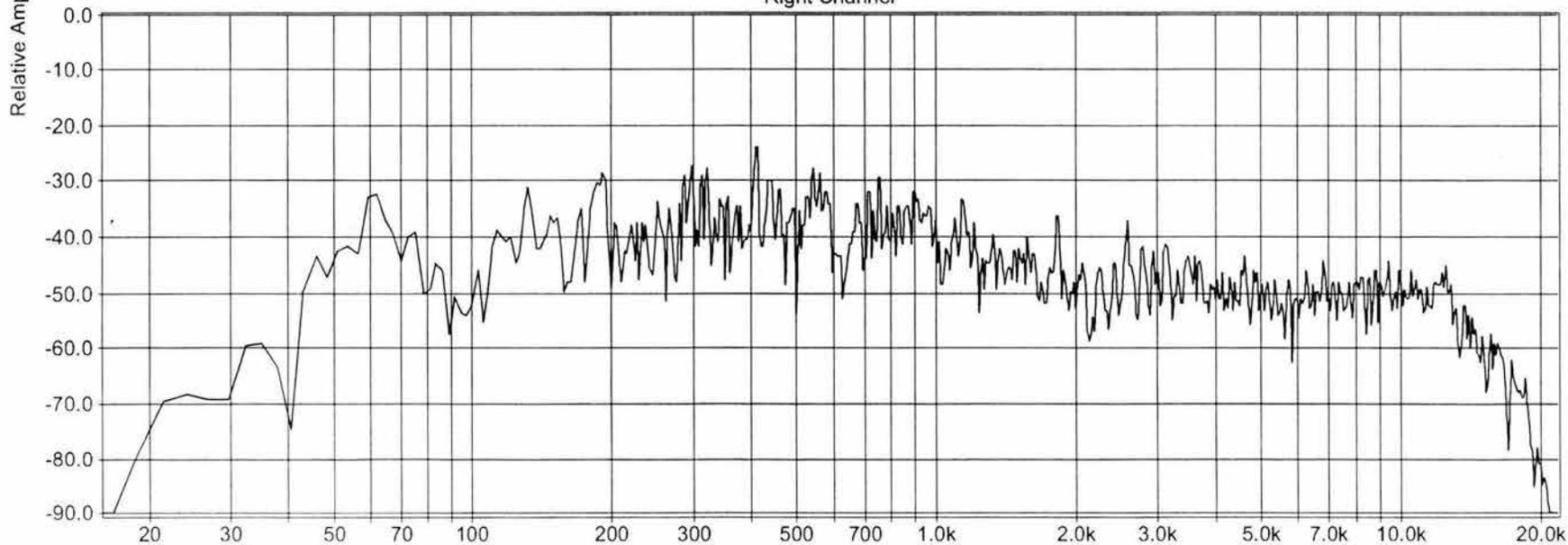
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:33:04 2003

Posicion 4 Bocina Inferior y superior

Left Channel



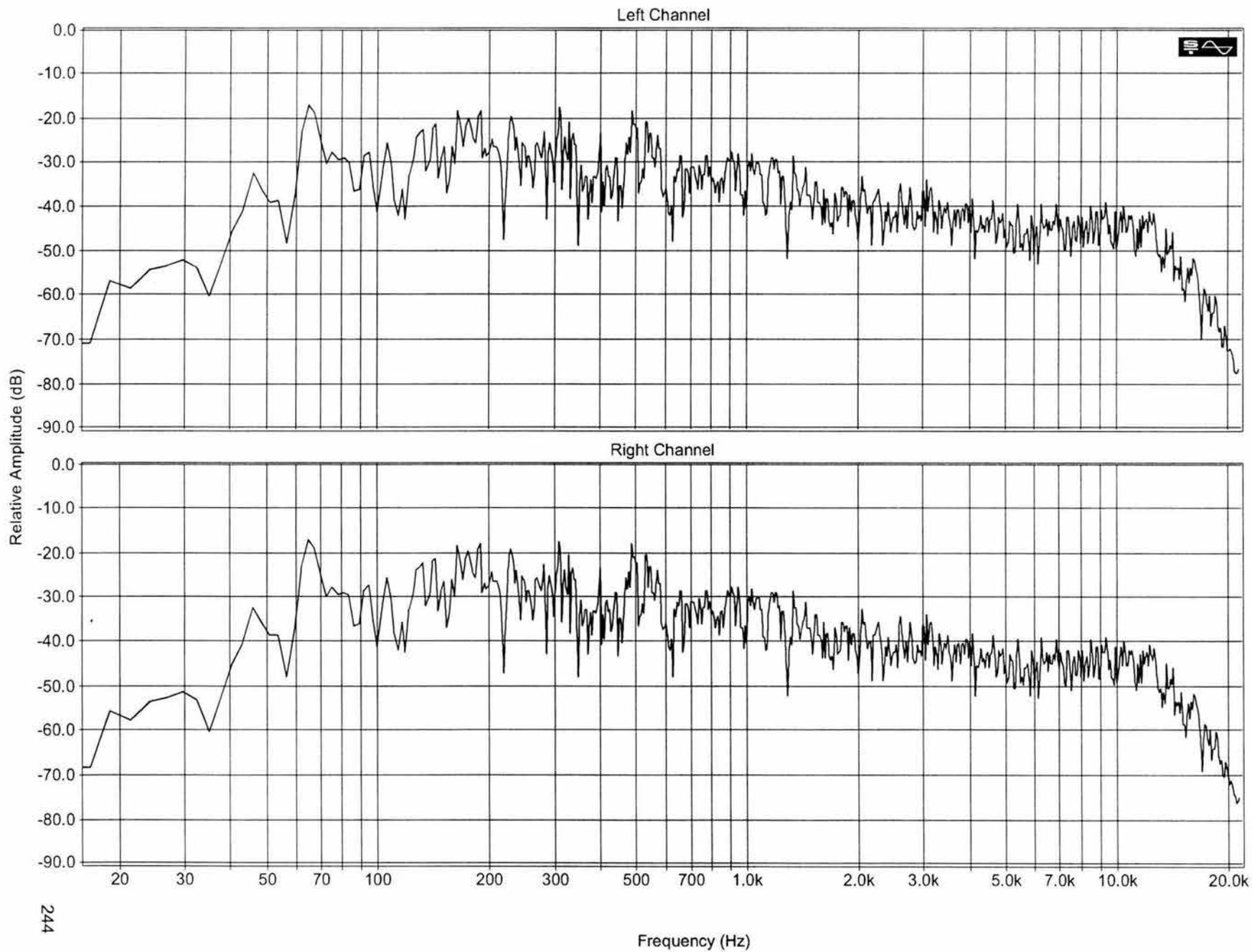
Right Channel



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0%

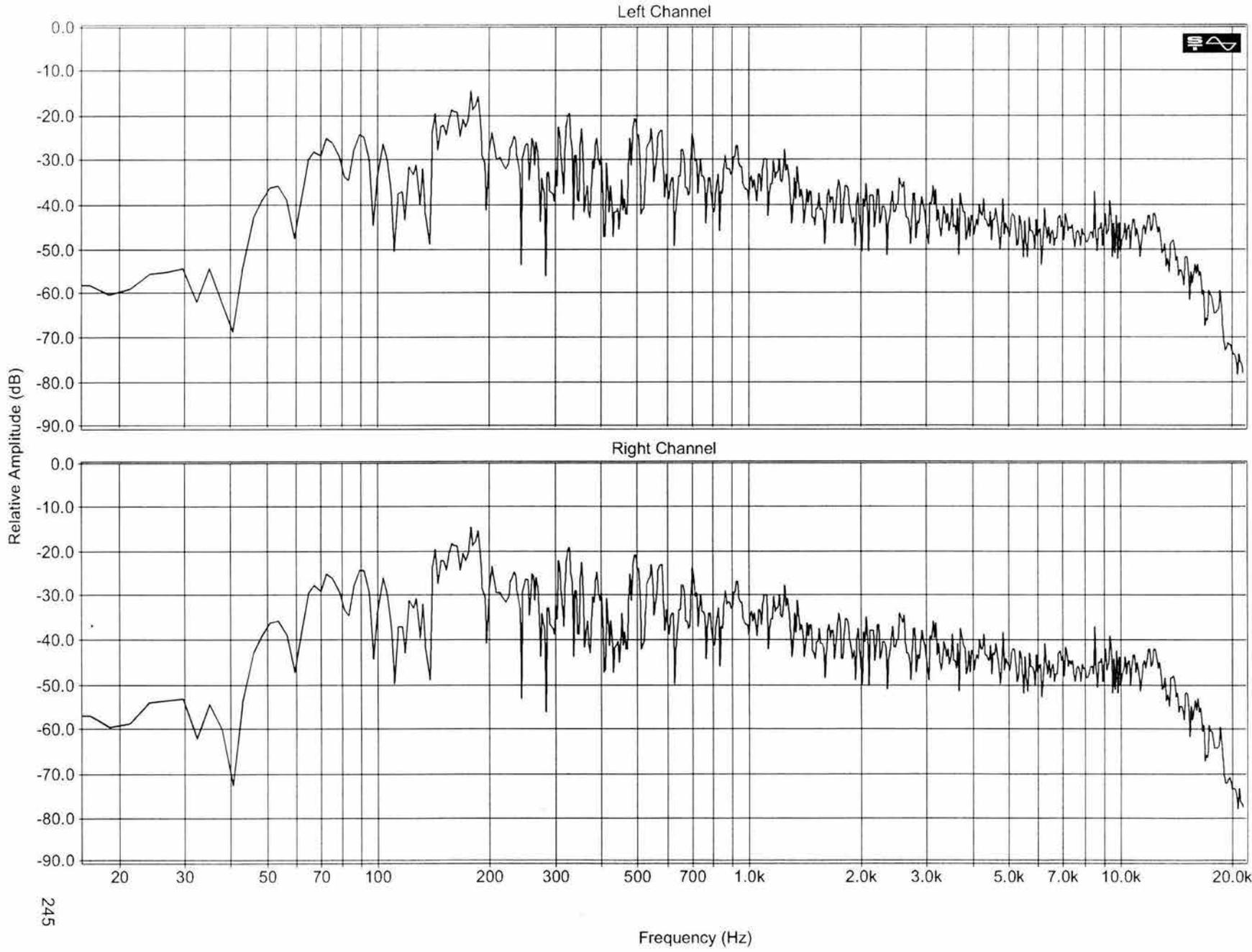
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:34:27 2003

Posicion 4 Bocina Inferior, superior y cluster



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

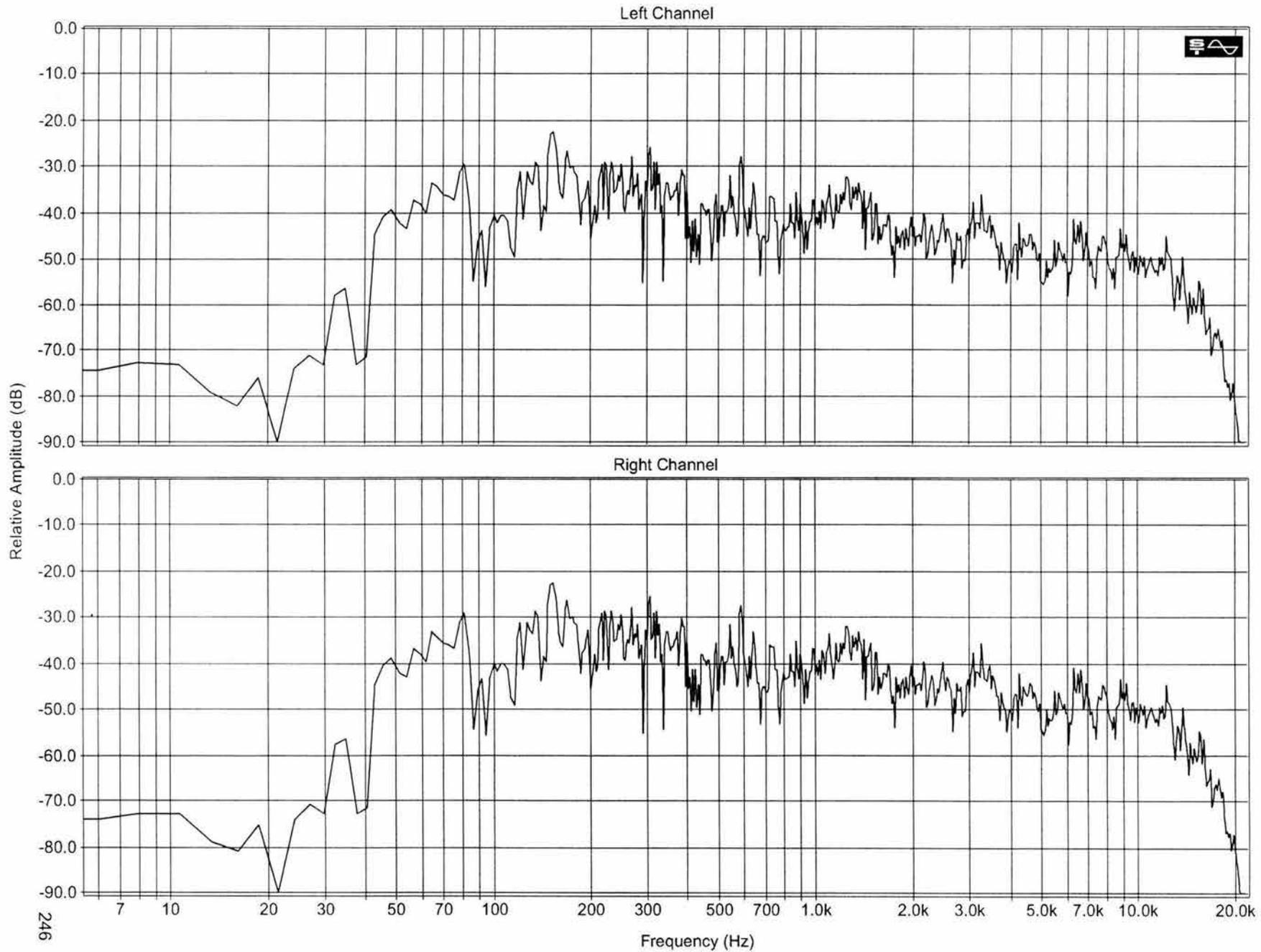
Posicion 4 Bocina Inferior, superior, cluster y todo izq



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0%

Posicion 5 Bocina izq y derech inferior

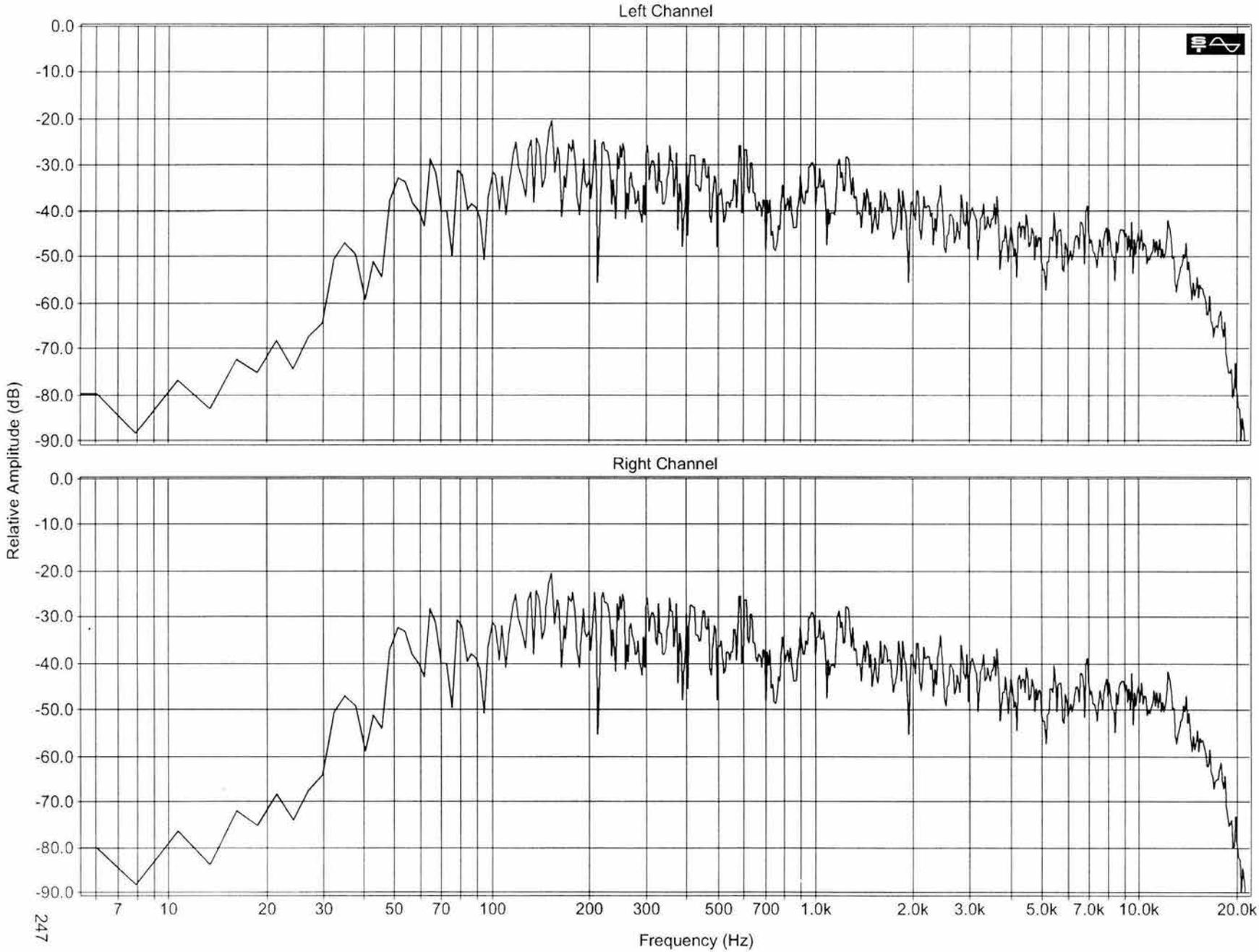
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:43:18 2003



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 5 Bocina izq y derech inferior y superior

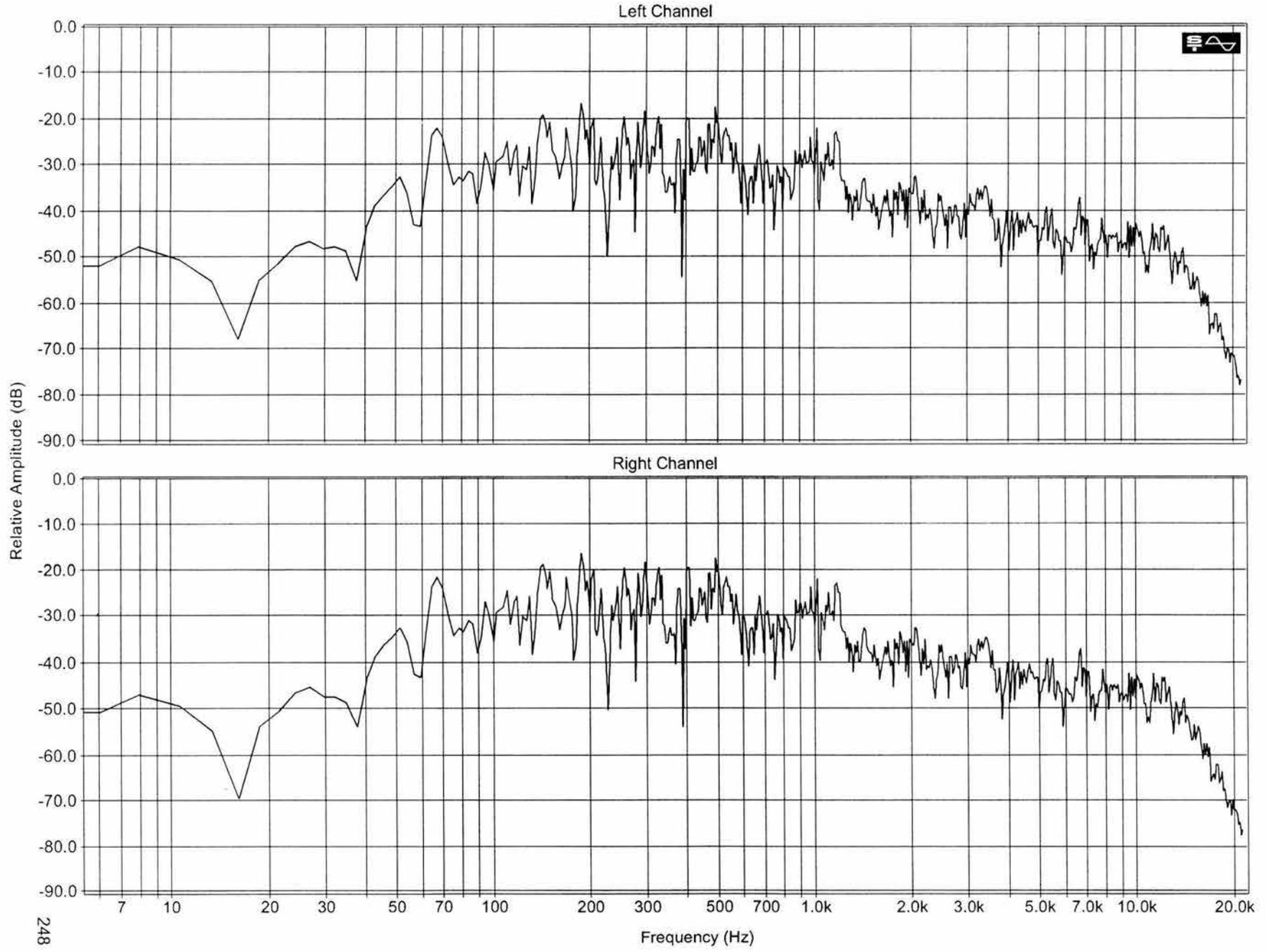
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:44:40 2003



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:46:01 2003

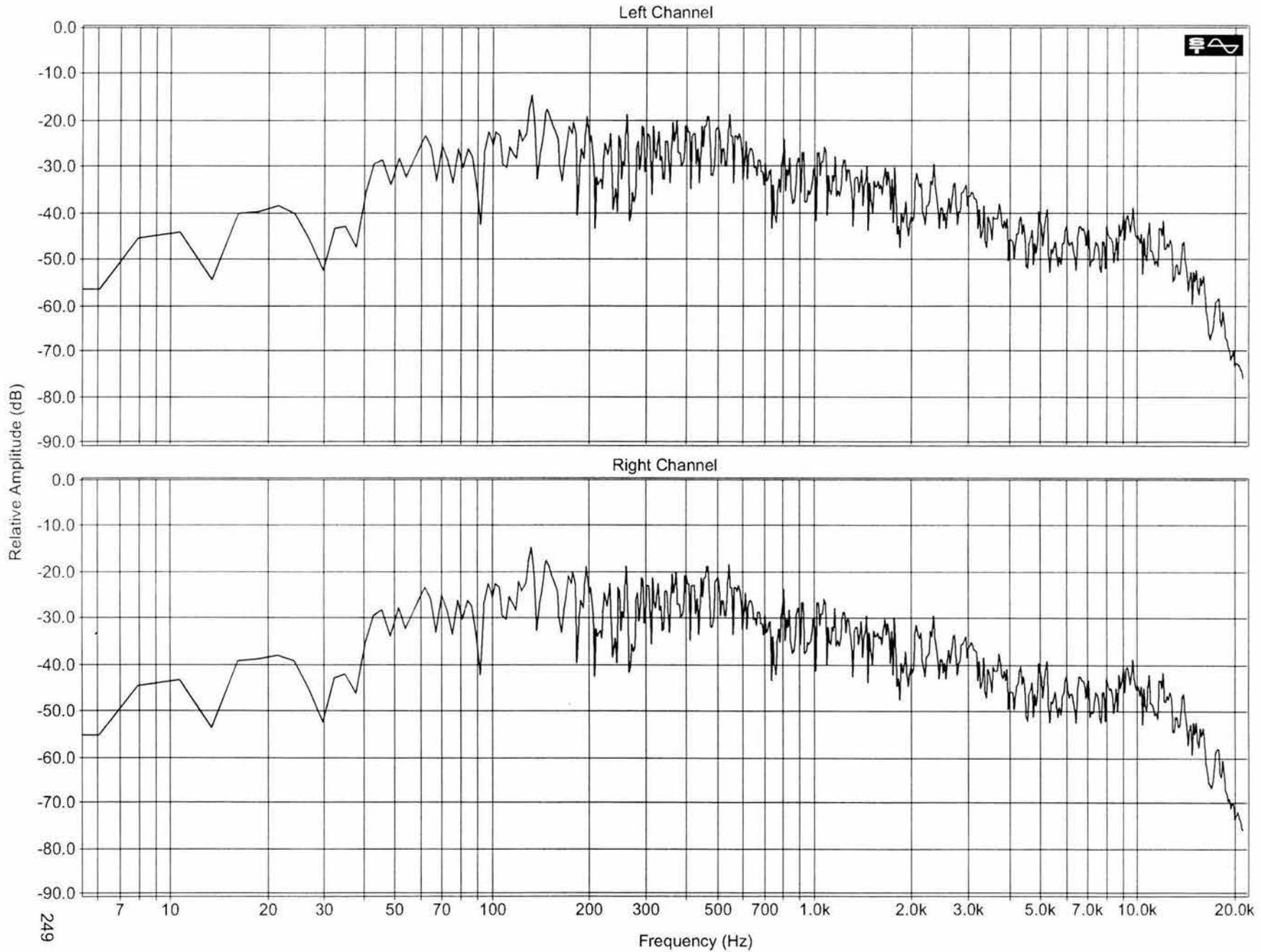
Posicion 5 Bocina izq y derech inferior y superior mas cluster



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion central todas bocinas

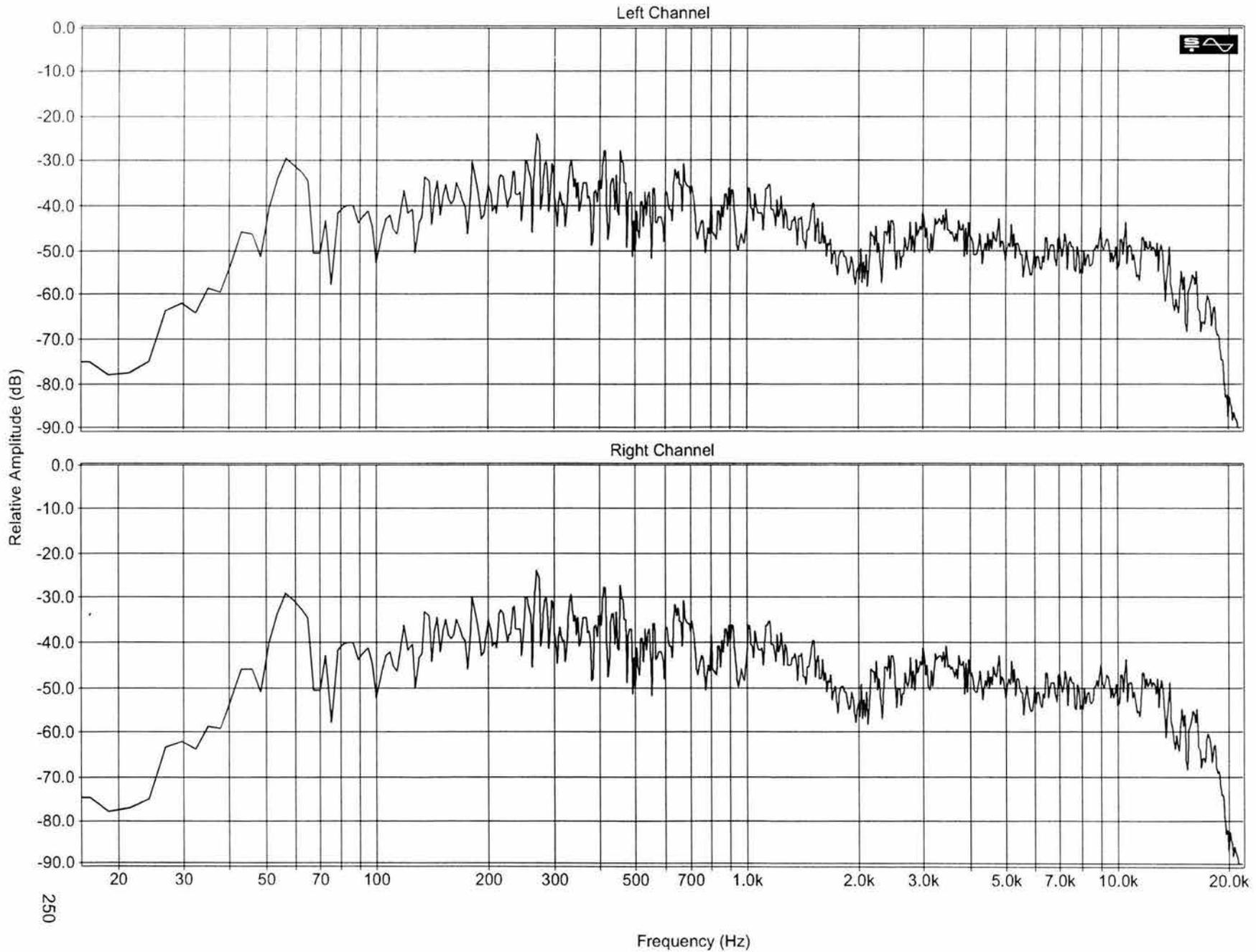
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:48:33 2003



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 6 Bocina Inferior

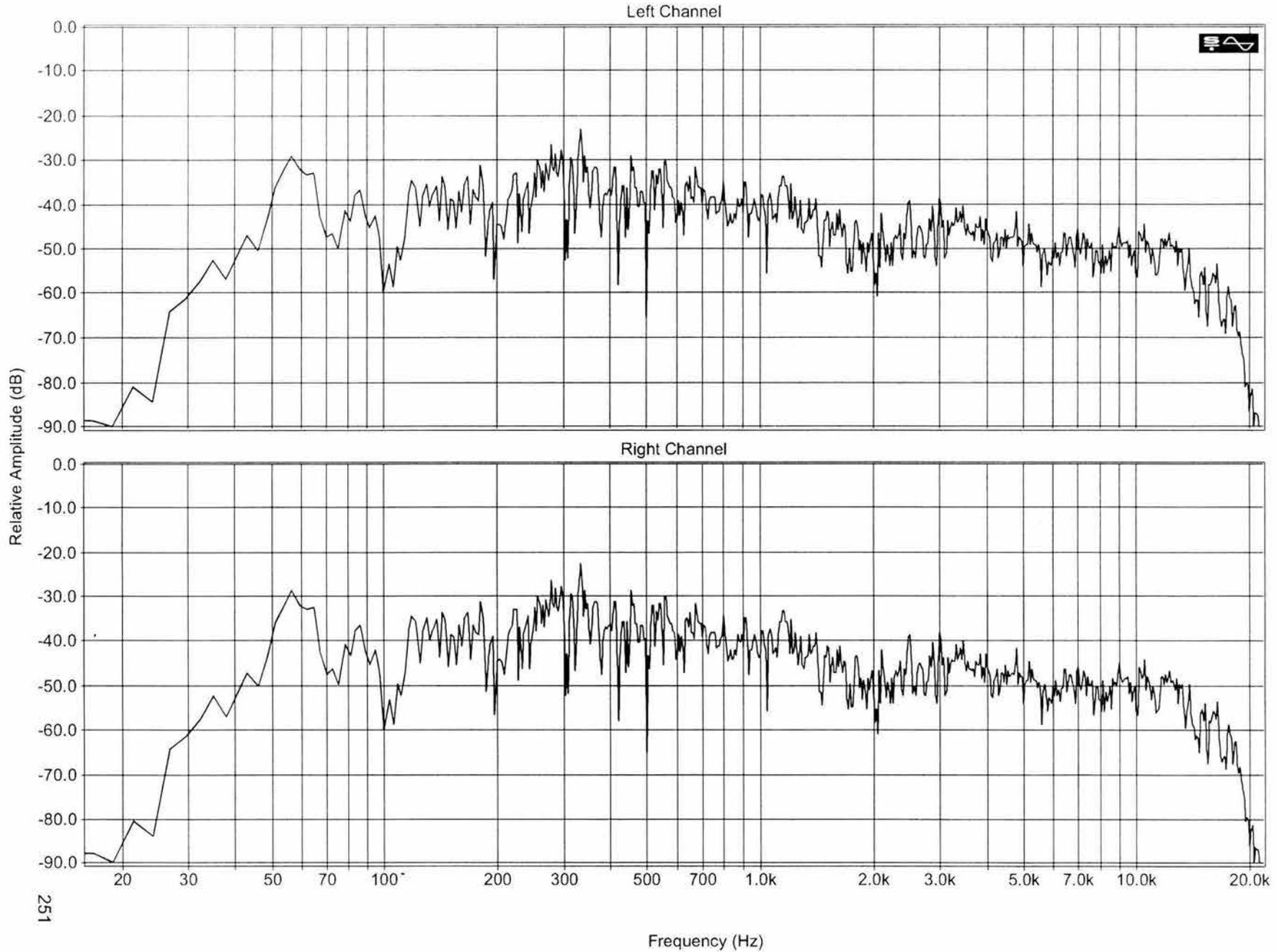
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:25:21 2003



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 6 Bocina Inferior y superior

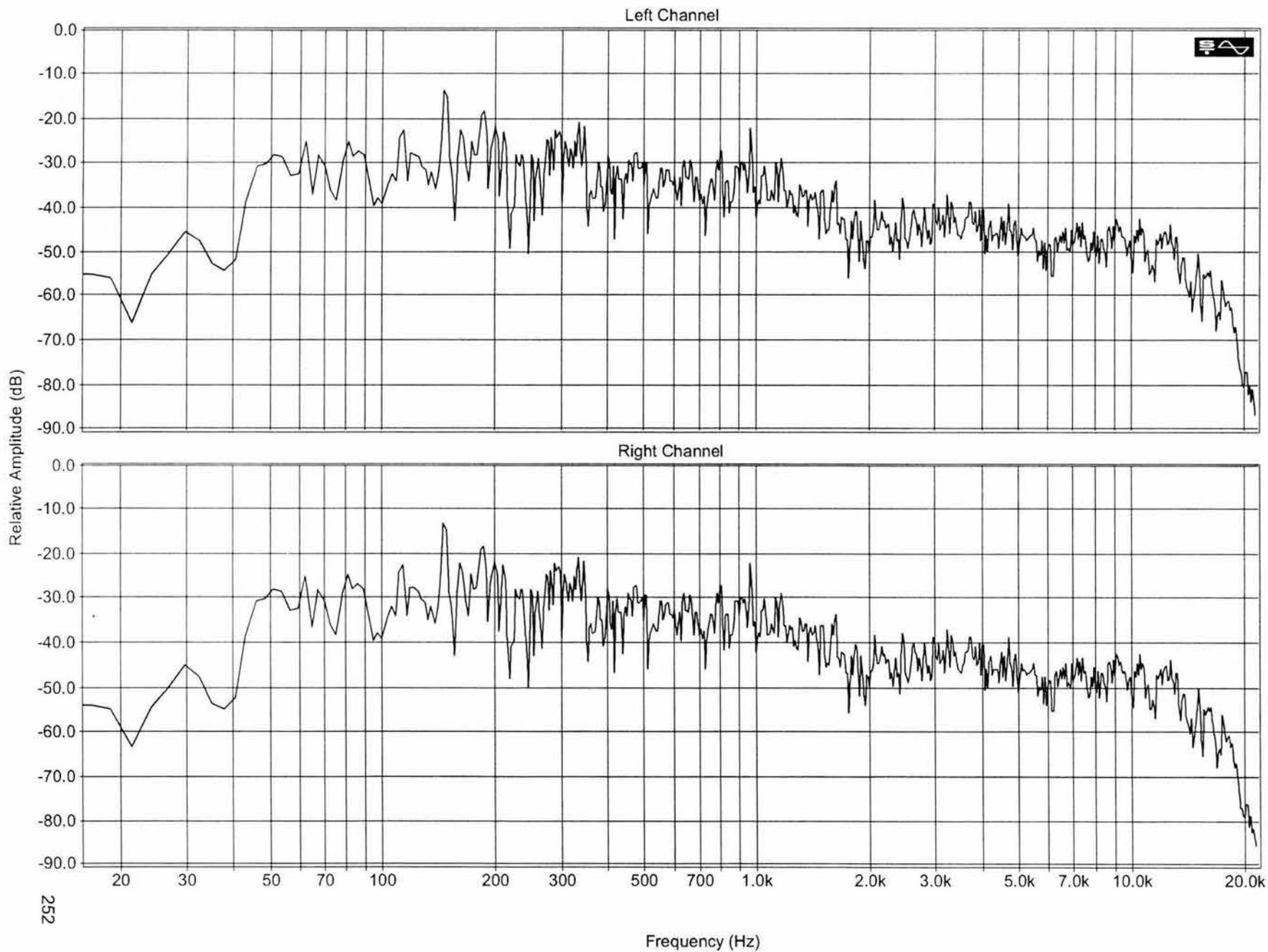
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:27:47 2003



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:28:47 2003

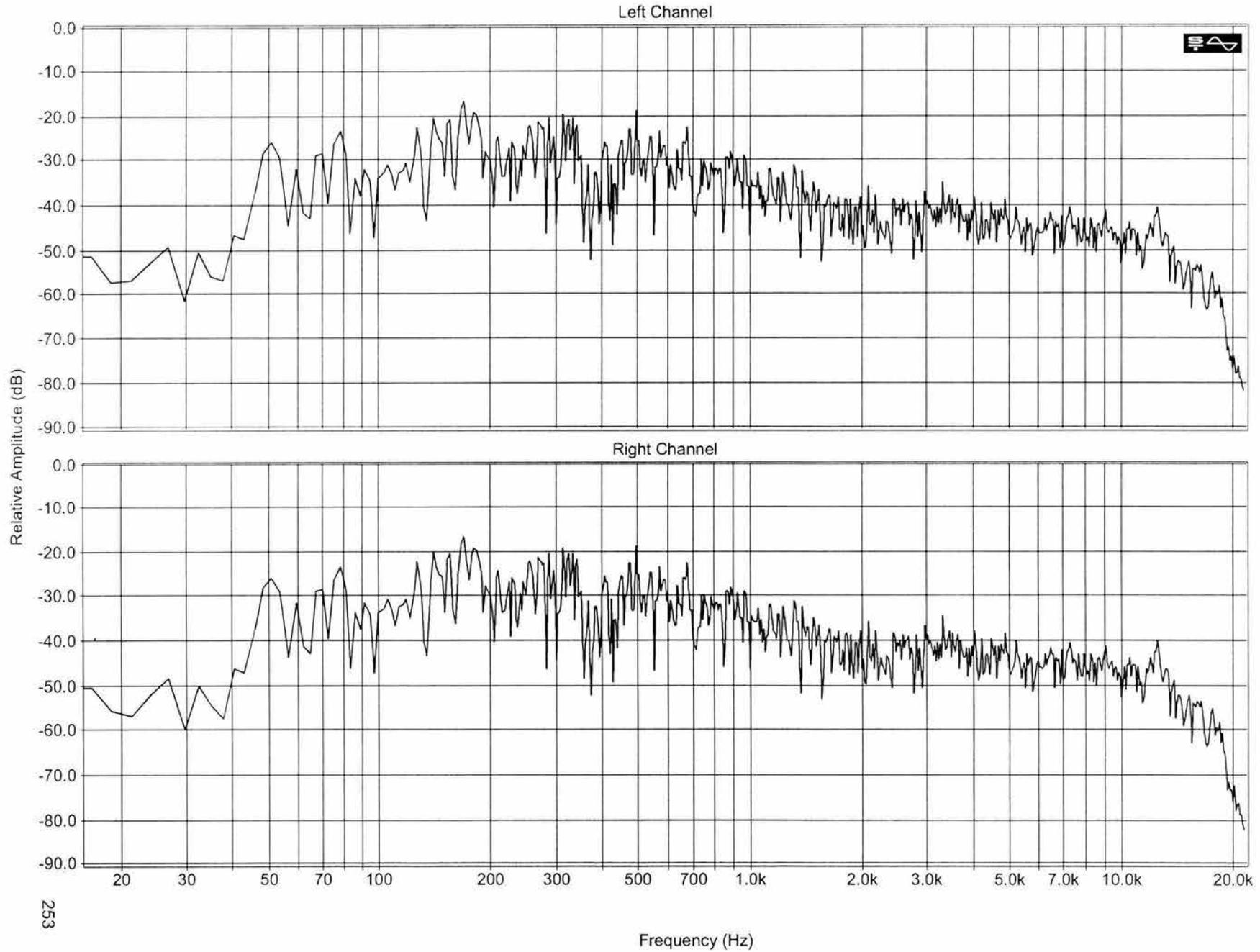
Posicion 6 Bocina Inferior, superior y cluster



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 6 Bocina Inferior, superior, cluster y todo derecho

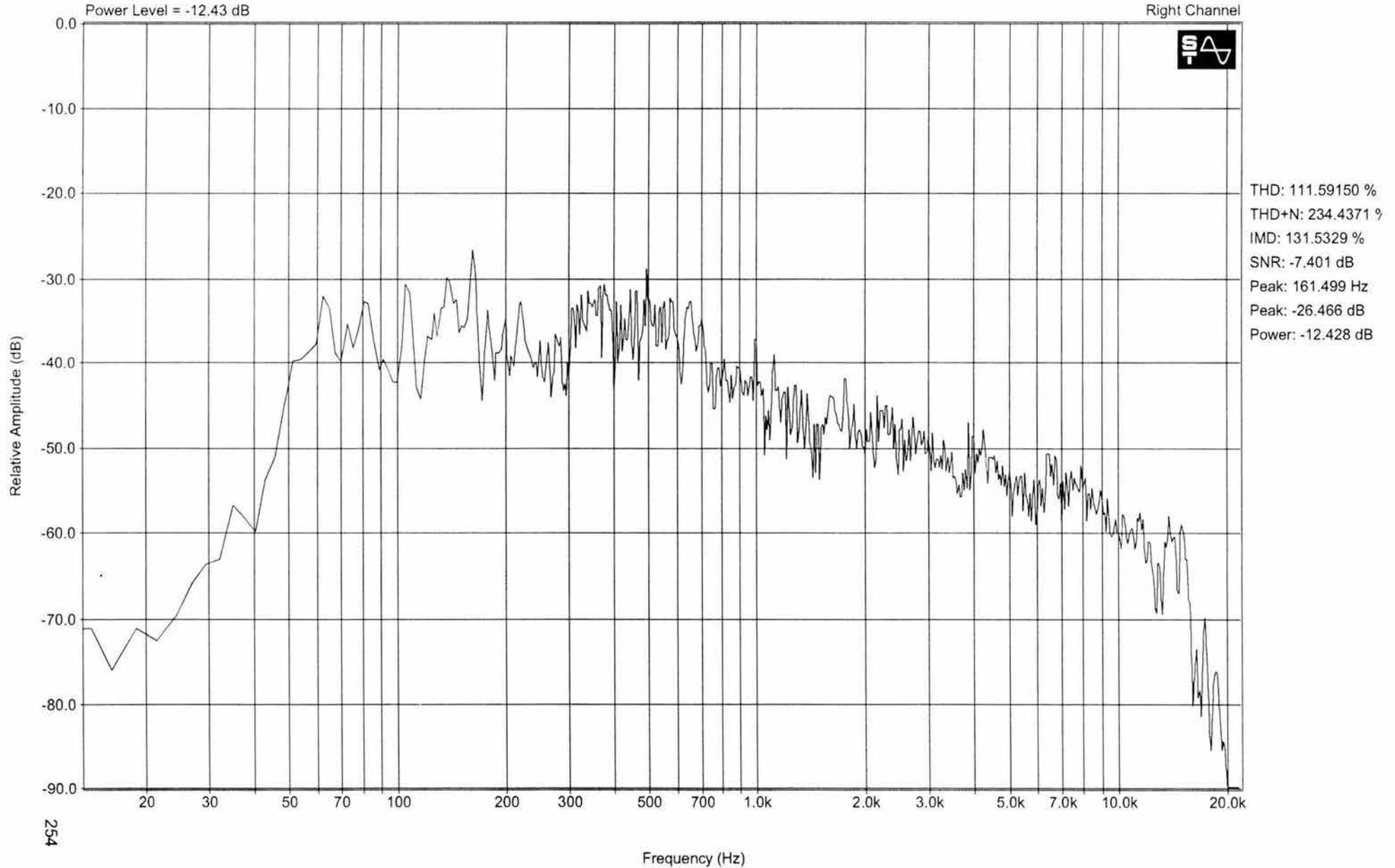
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Thu Aug 28 03:29:52 2003



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 7 Bocinas inferior

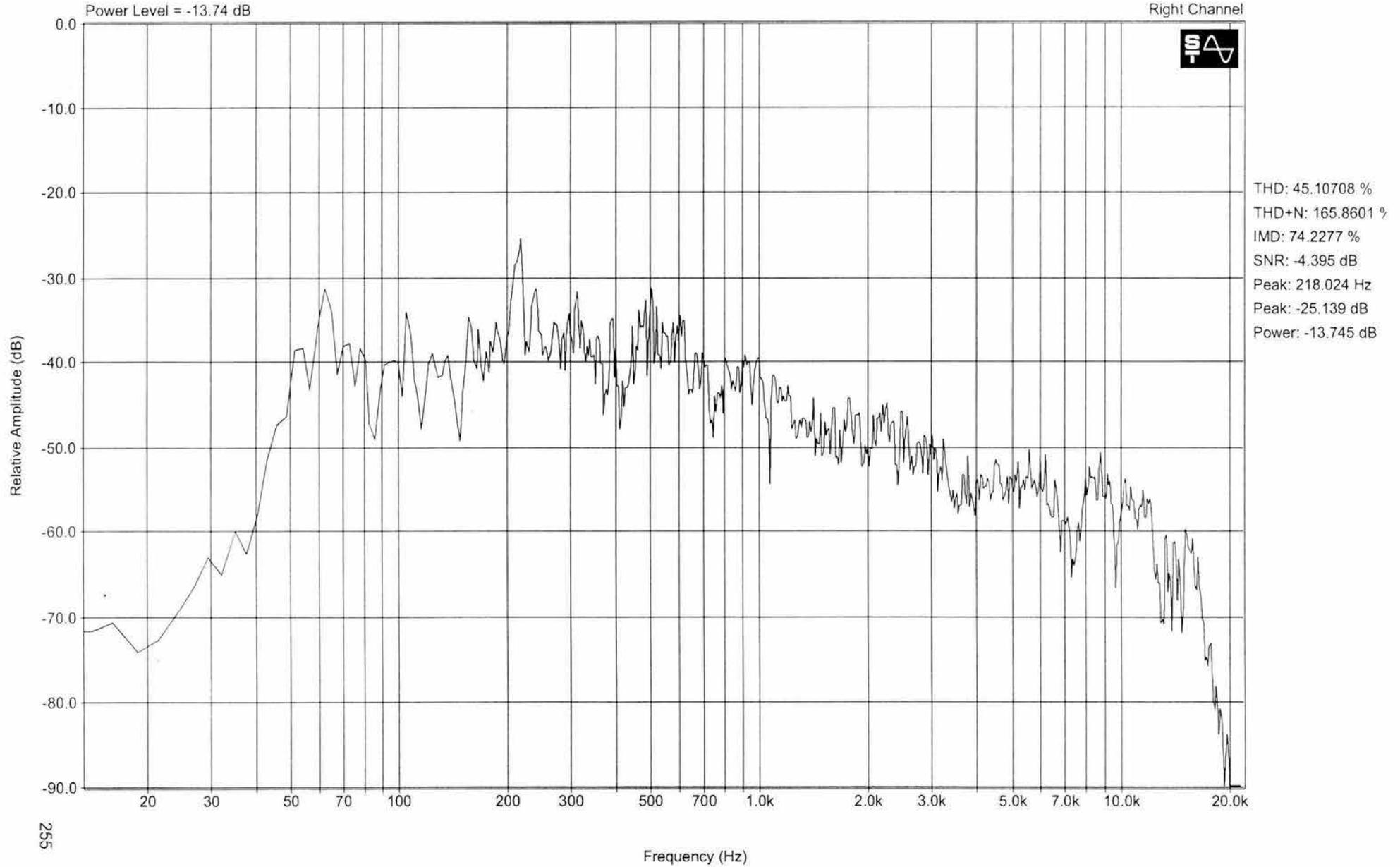
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 05:12:39 2004



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 7 Bocinas superior

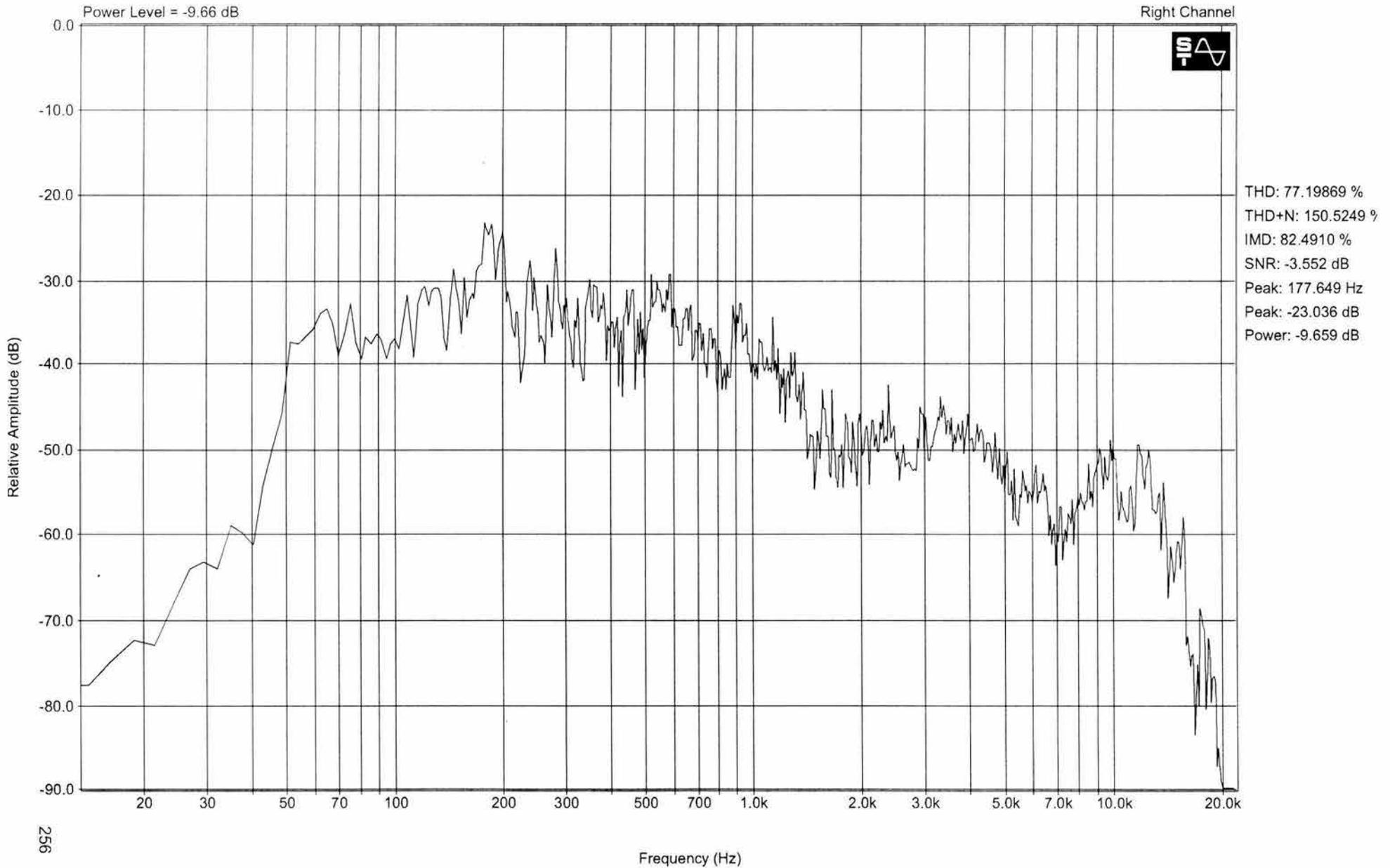
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 05:13:30 2004



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 7 Bocinas cluster superior

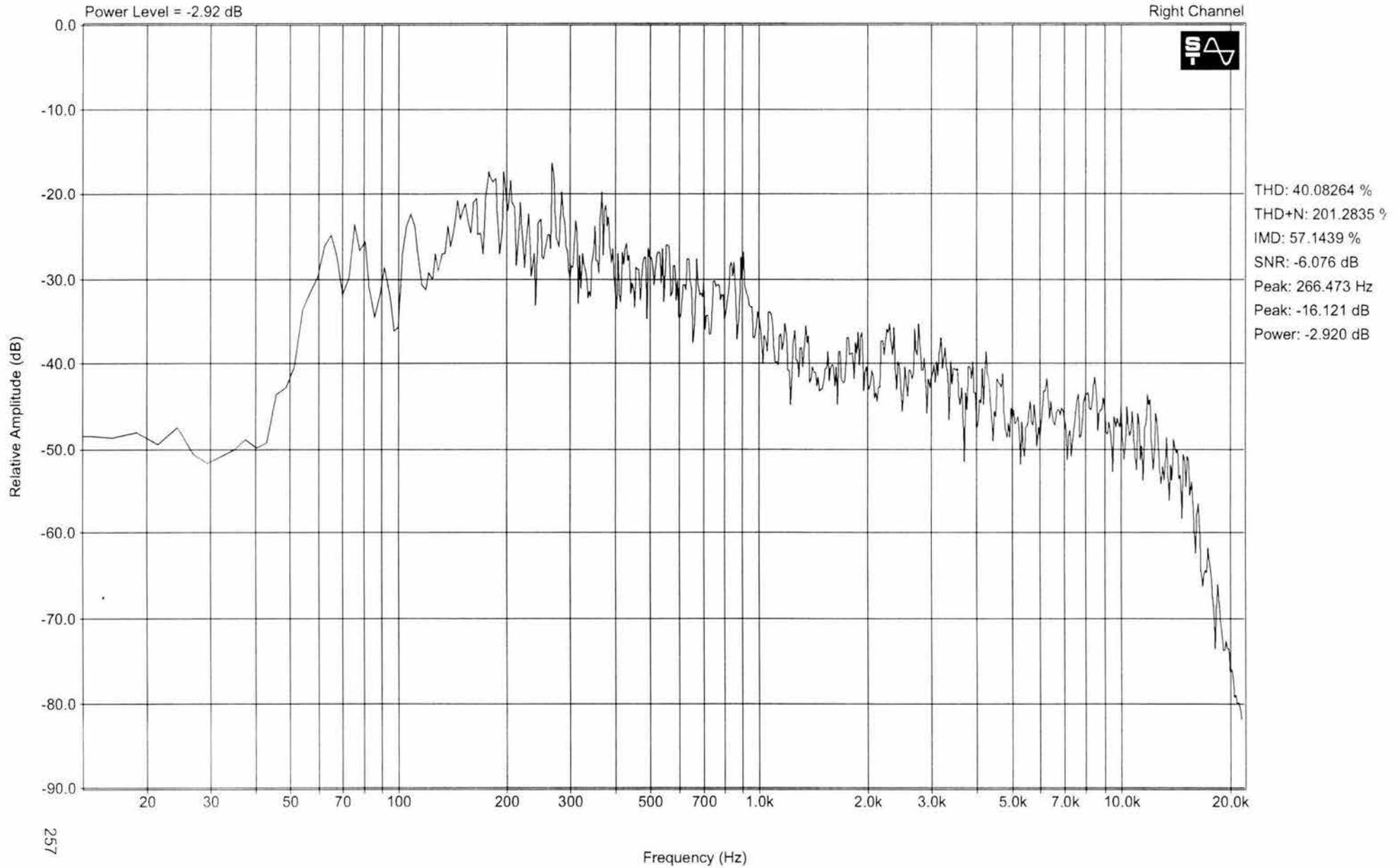
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 05:14:50 2004



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 7 Bocinas todo

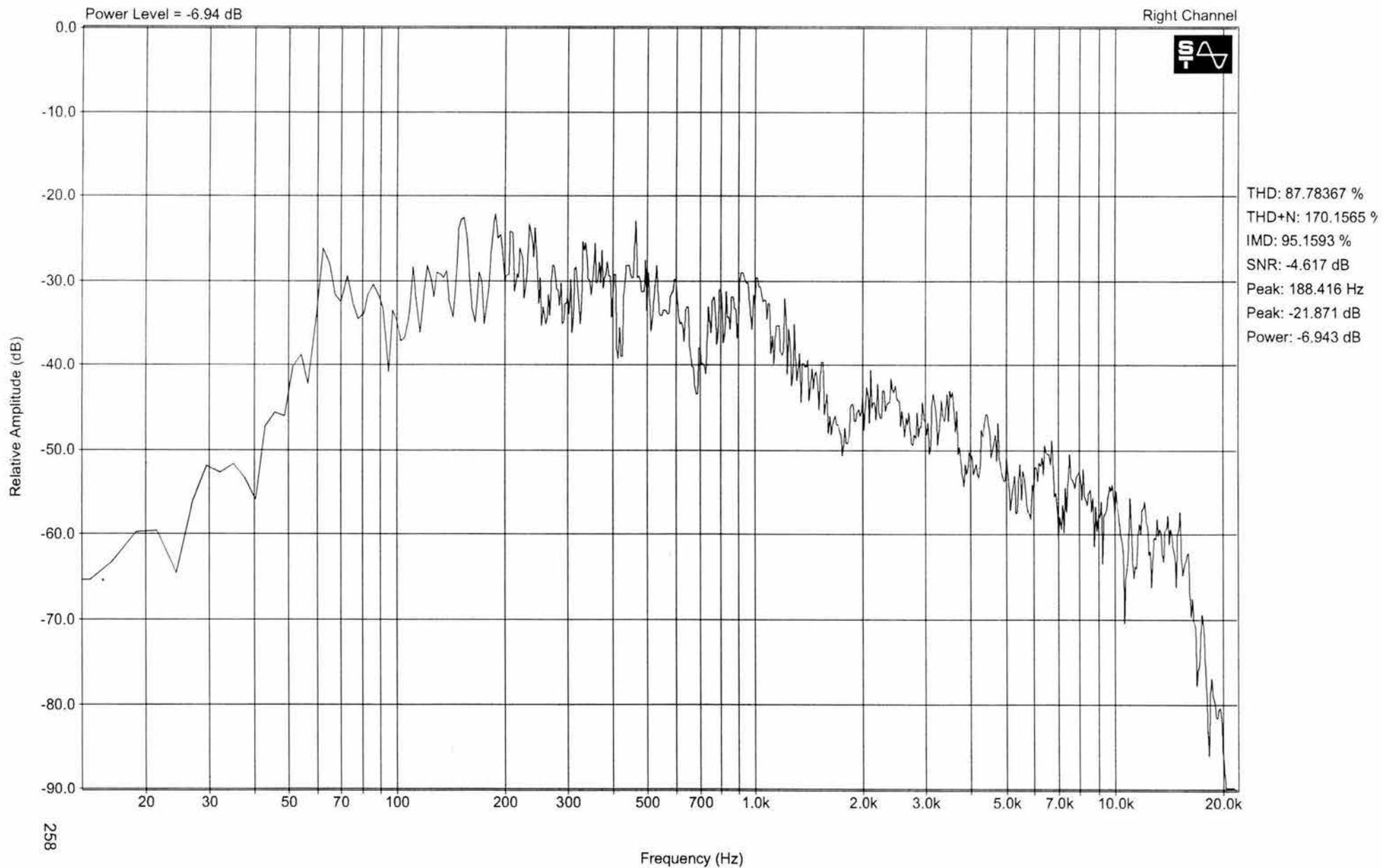
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 05:15:45 2004



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 8 Bocinas cluster inferior

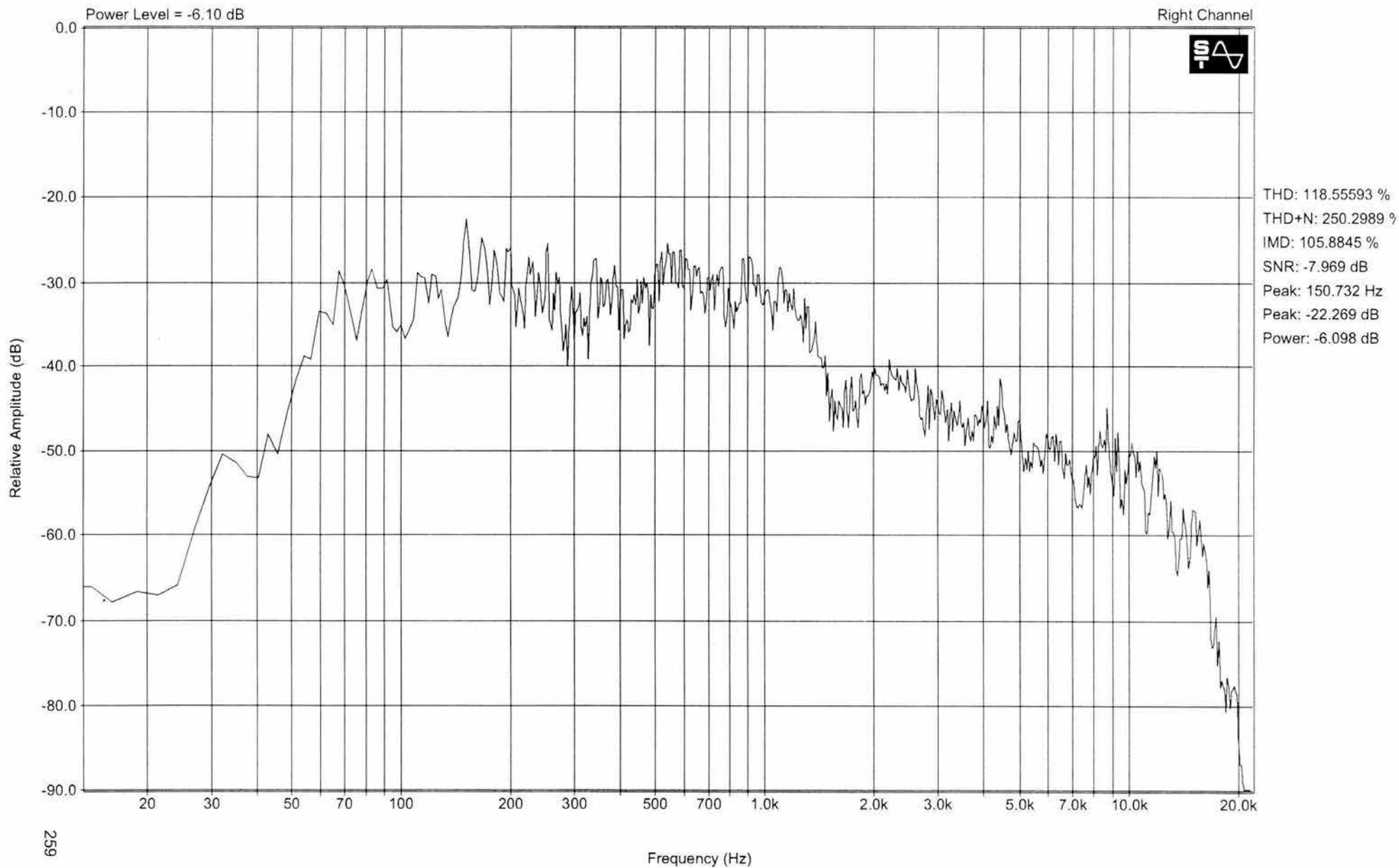
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 05:03:58 2004



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 8 Bocinas cluster superior

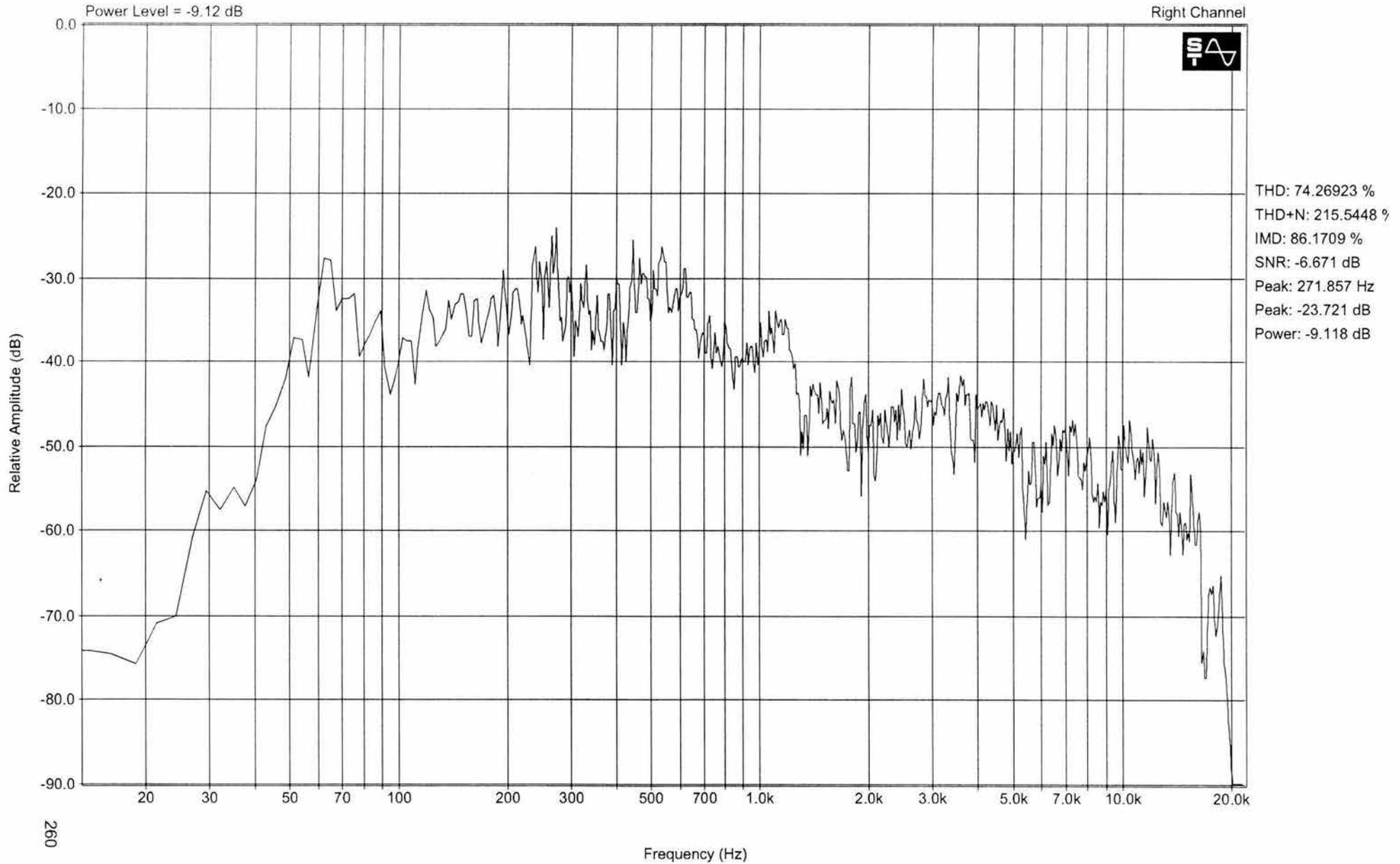
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 05:04:43 2004



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 8 Bocinas superiores L+R

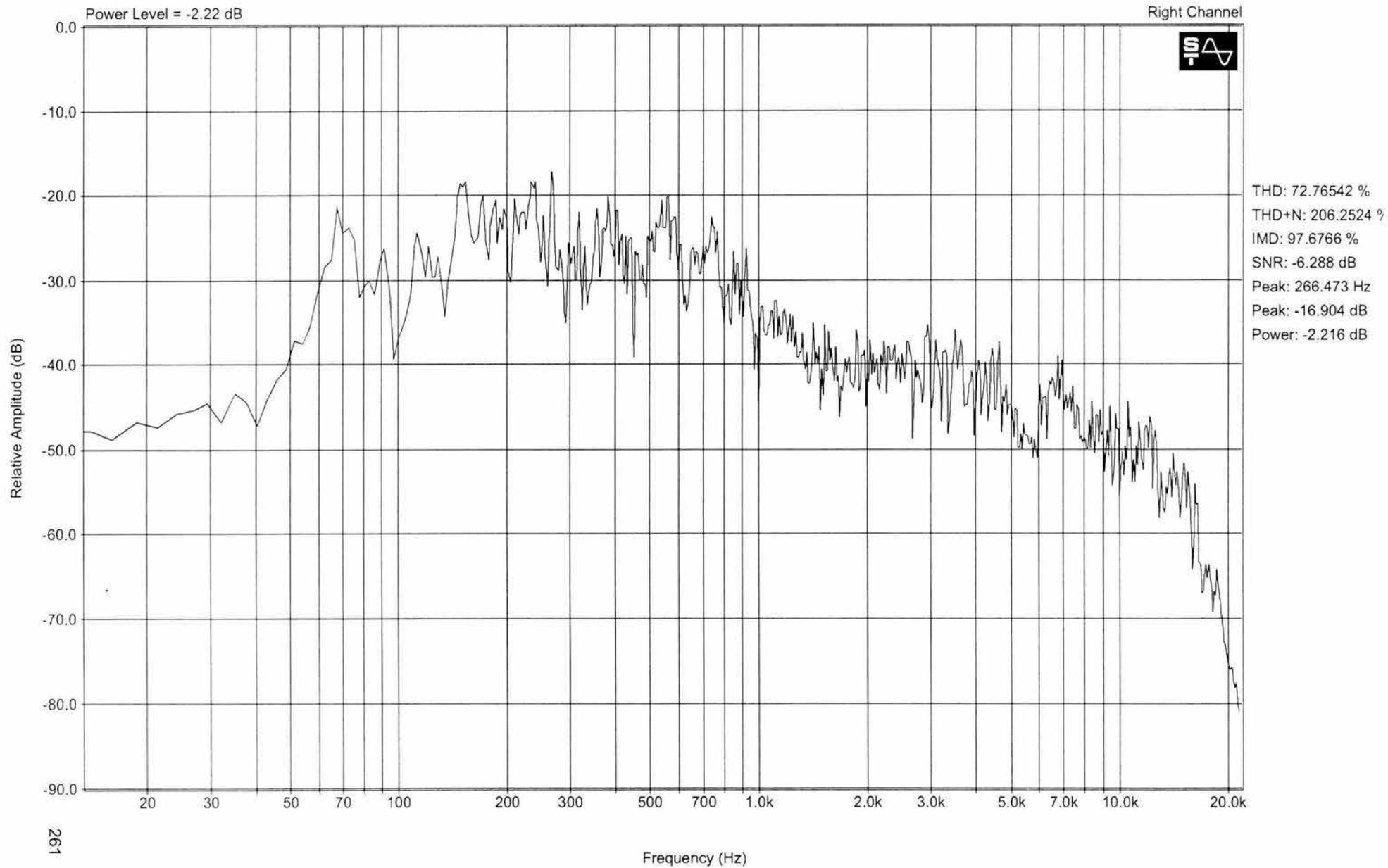
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 05:09:23 2004



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Printed by: SpectralLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 05:11:00 2004

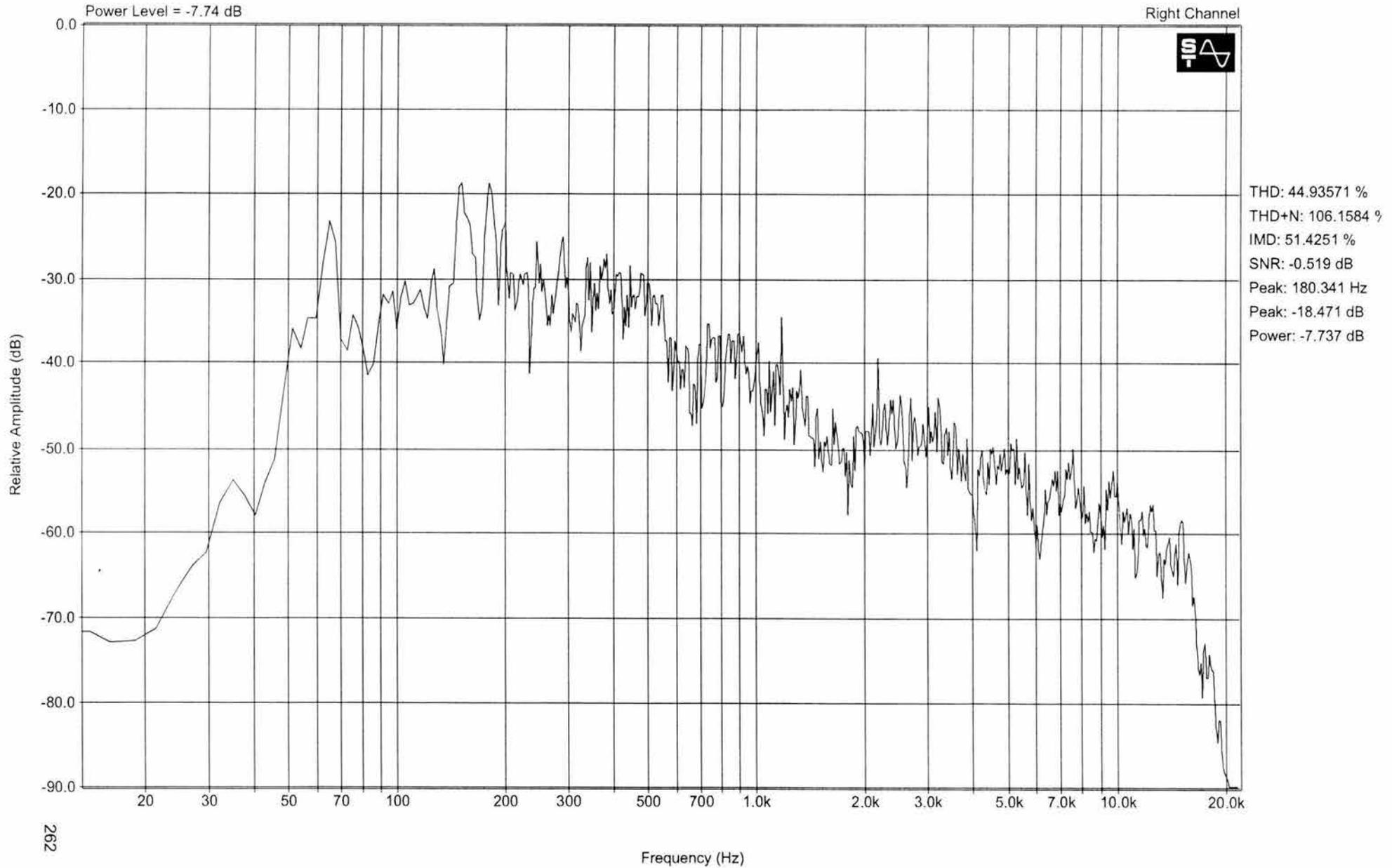
Posicion 8 Bocinas inferior y superiores L+R+cluster



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 9 Bocina cluster

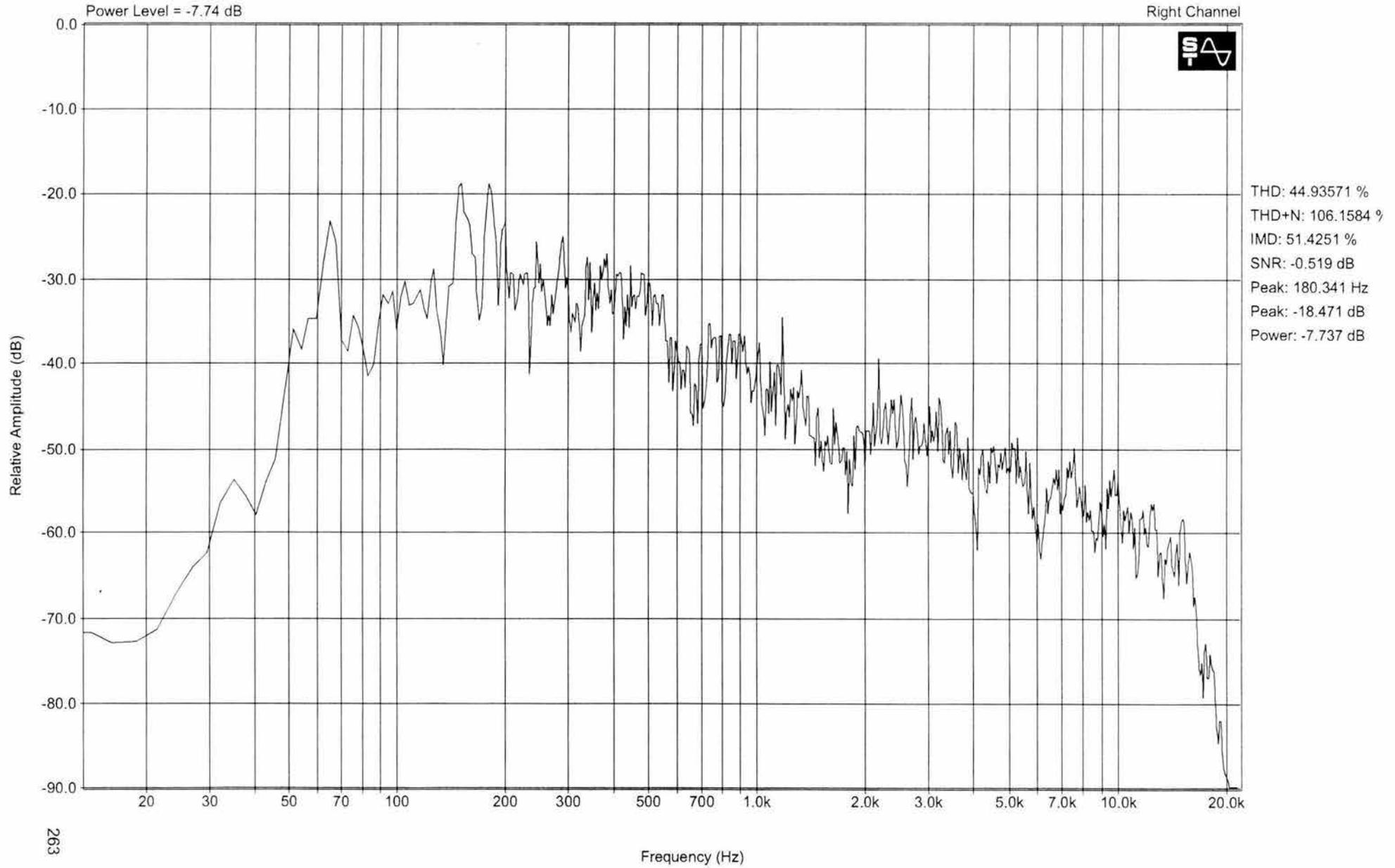
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 04:47:48 2004



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion 9
Bocina cluster inferior

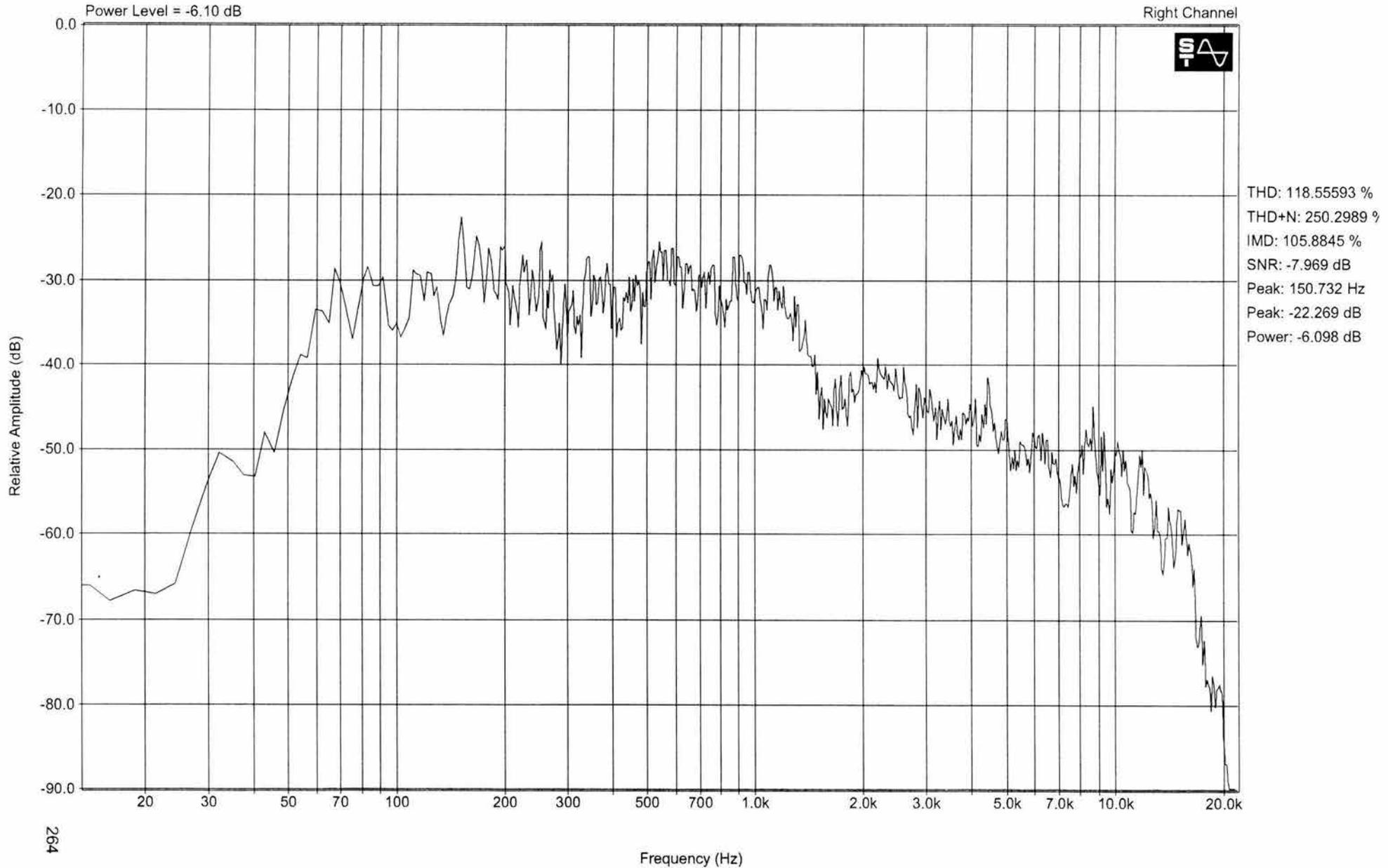
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 04:55:12 2004



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0%

Posicion 9 Bocina cluster superior

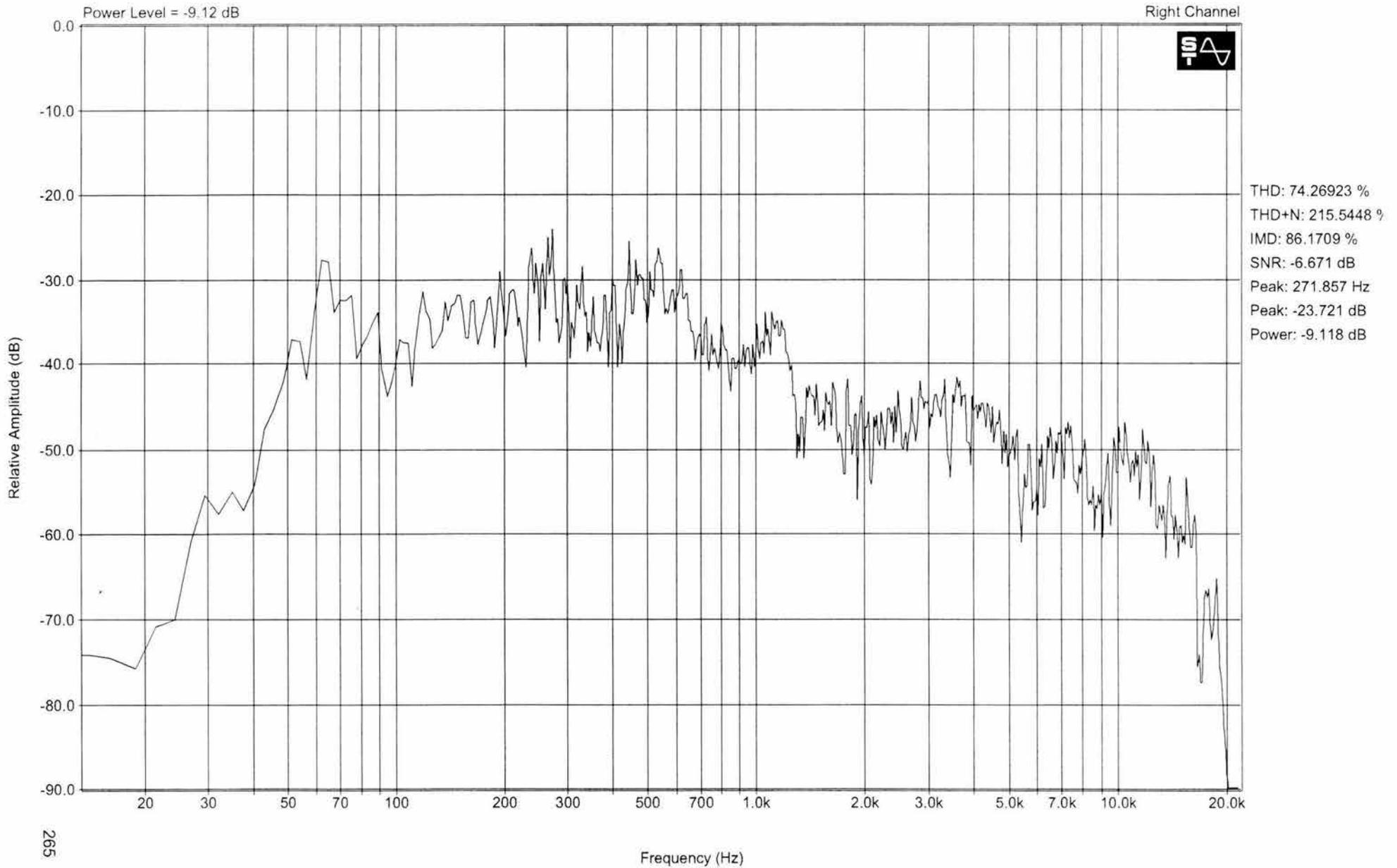
Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 04:56:09 2004



Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 04:57:33 2004

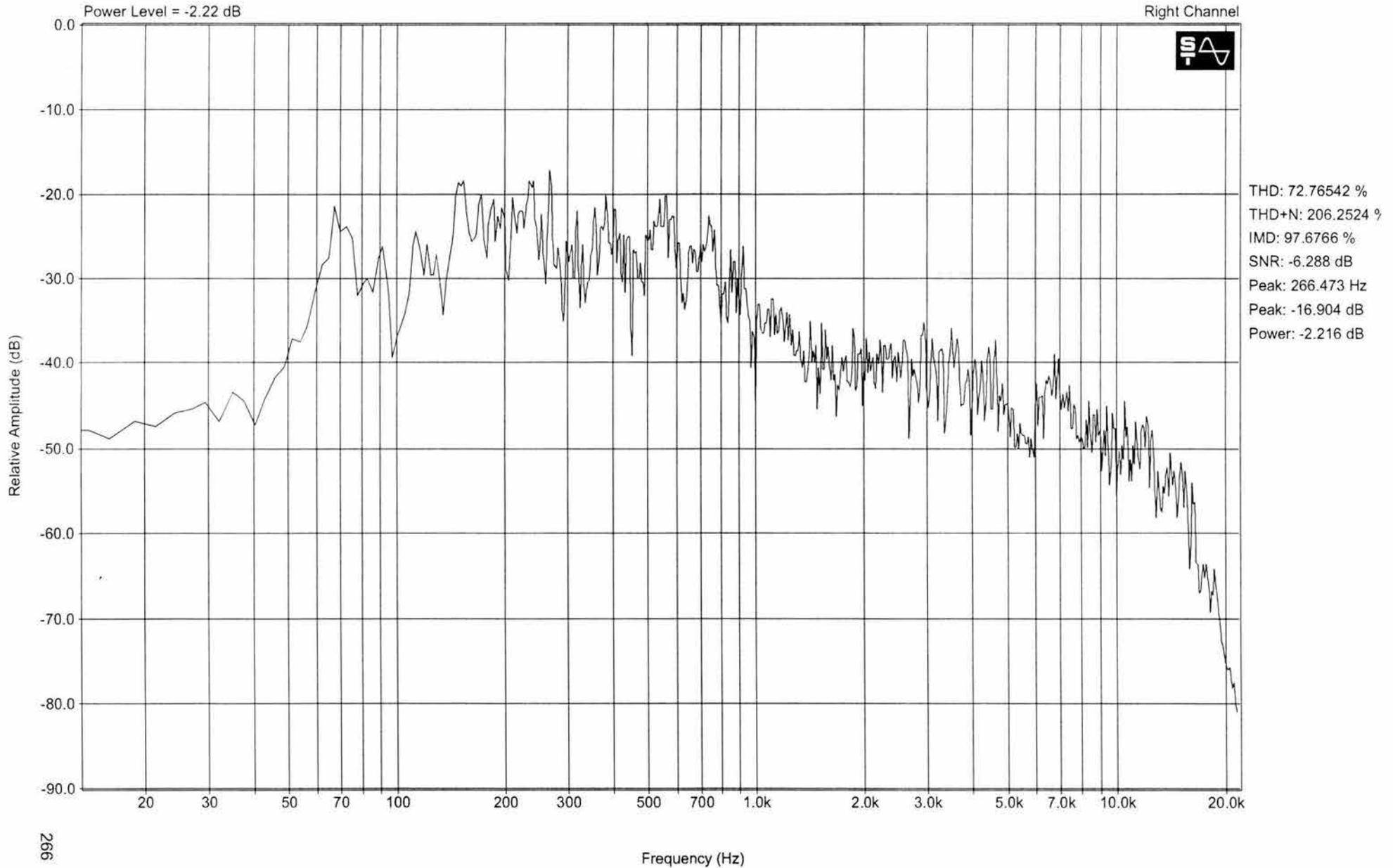
Posicion 9 Bocinas superiores L+R



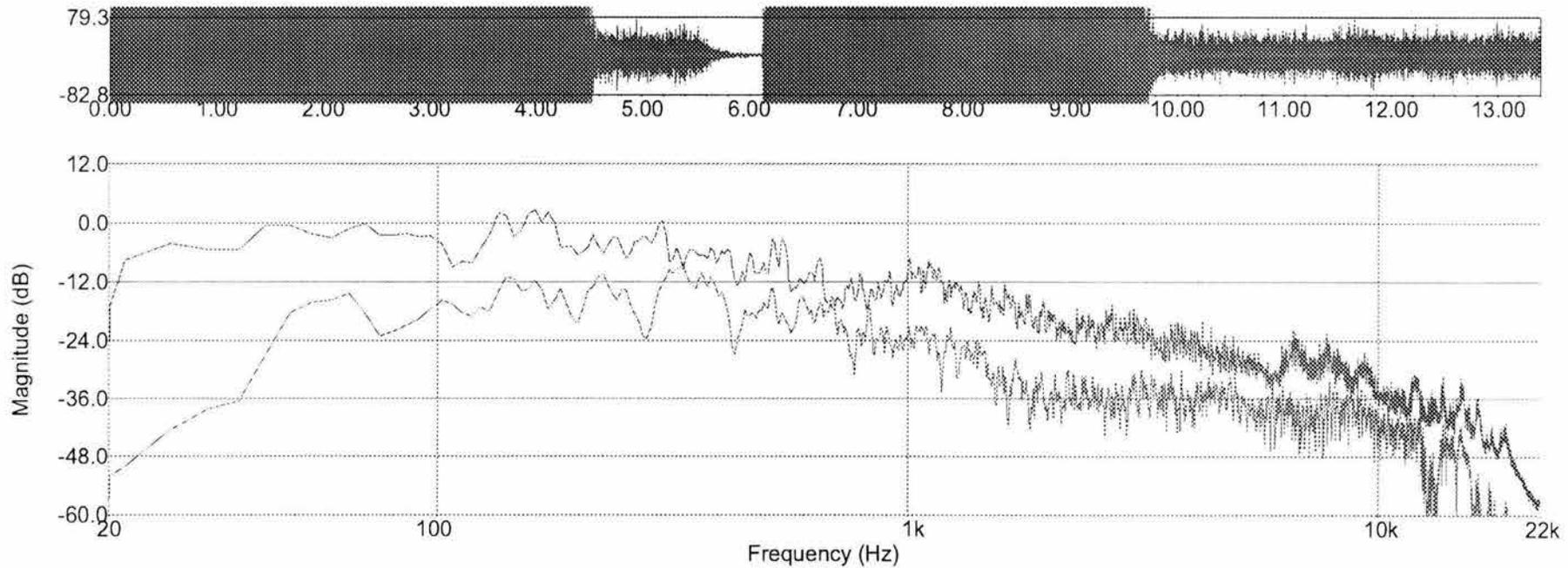
Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0%

Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 05:00:14 2004

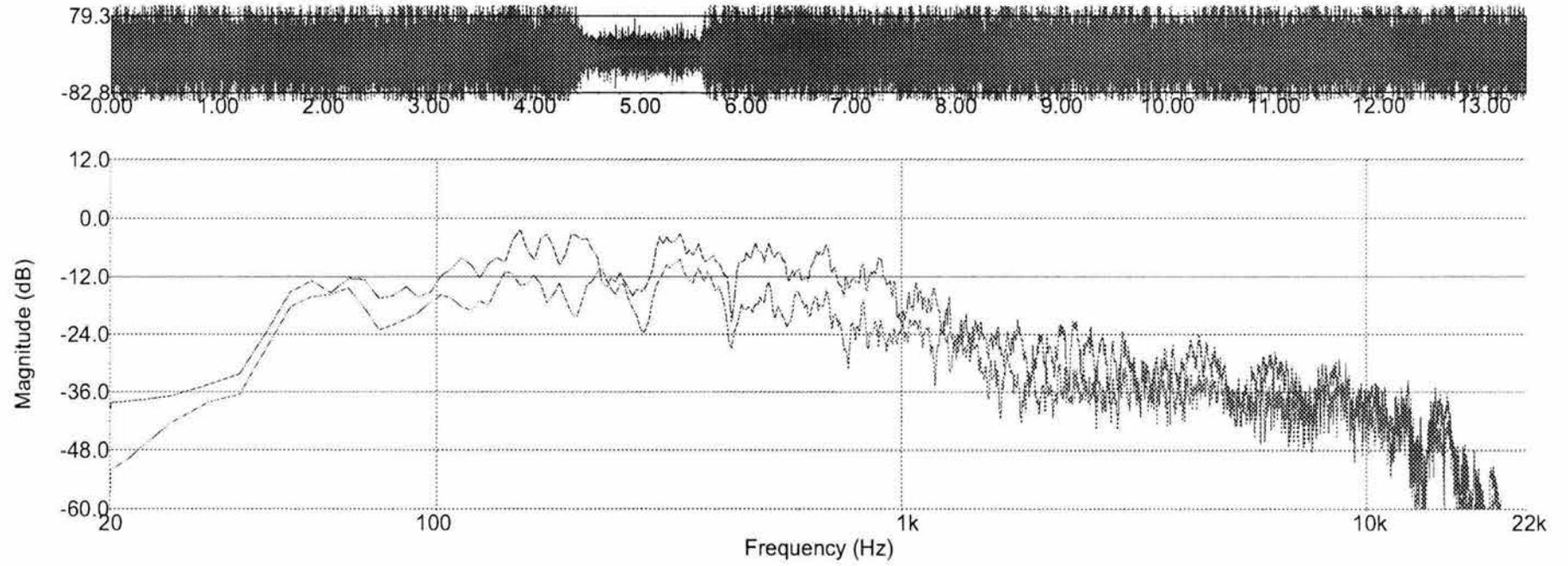
Posicion 9 Bocinas inferiores y superiores L+R+cluster



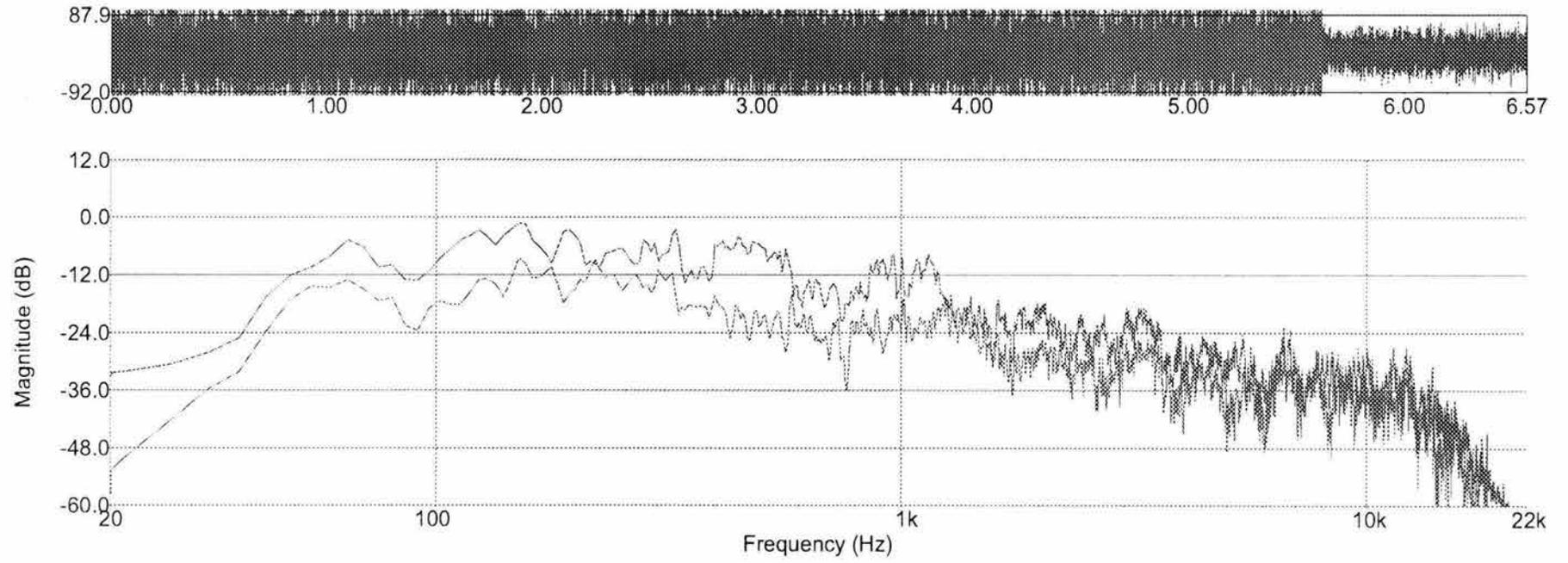
Posicion 2
Comparacion
L+R inferior buena y L+R mala



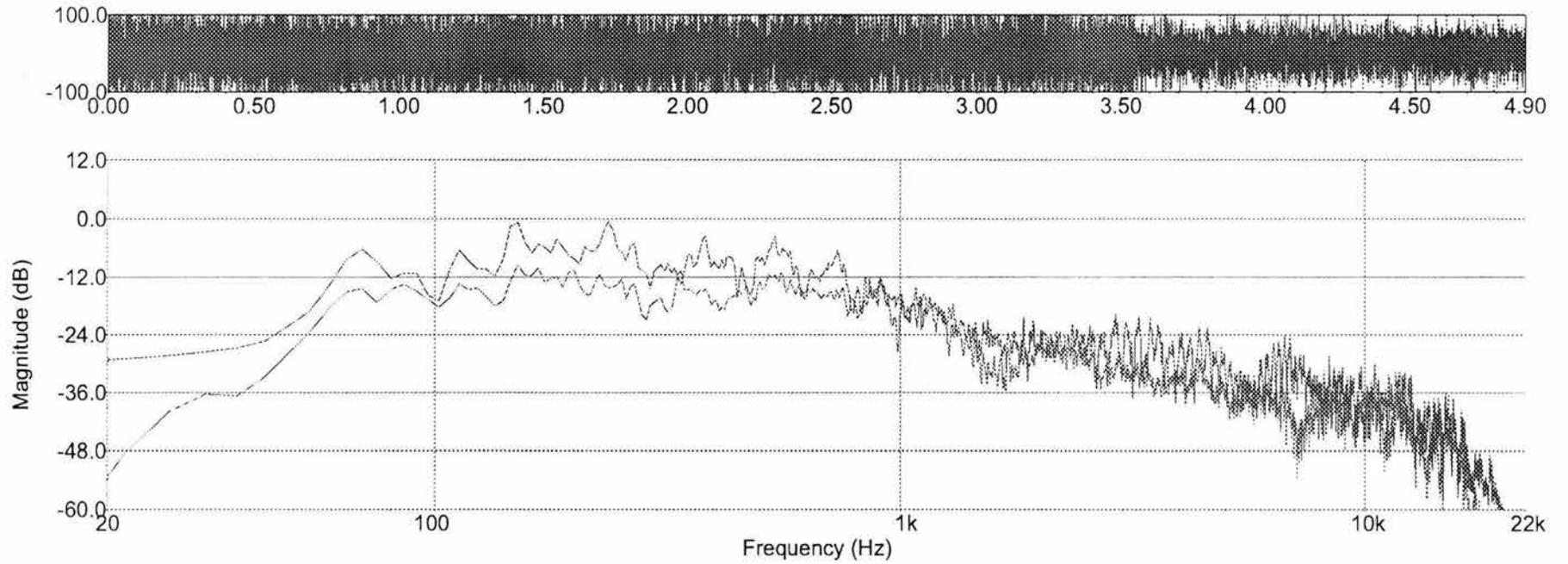
Posicion 2
Comparacion
L+R inferior y Todo



Posicion 5
Comparacion
L+R inferior y Todo



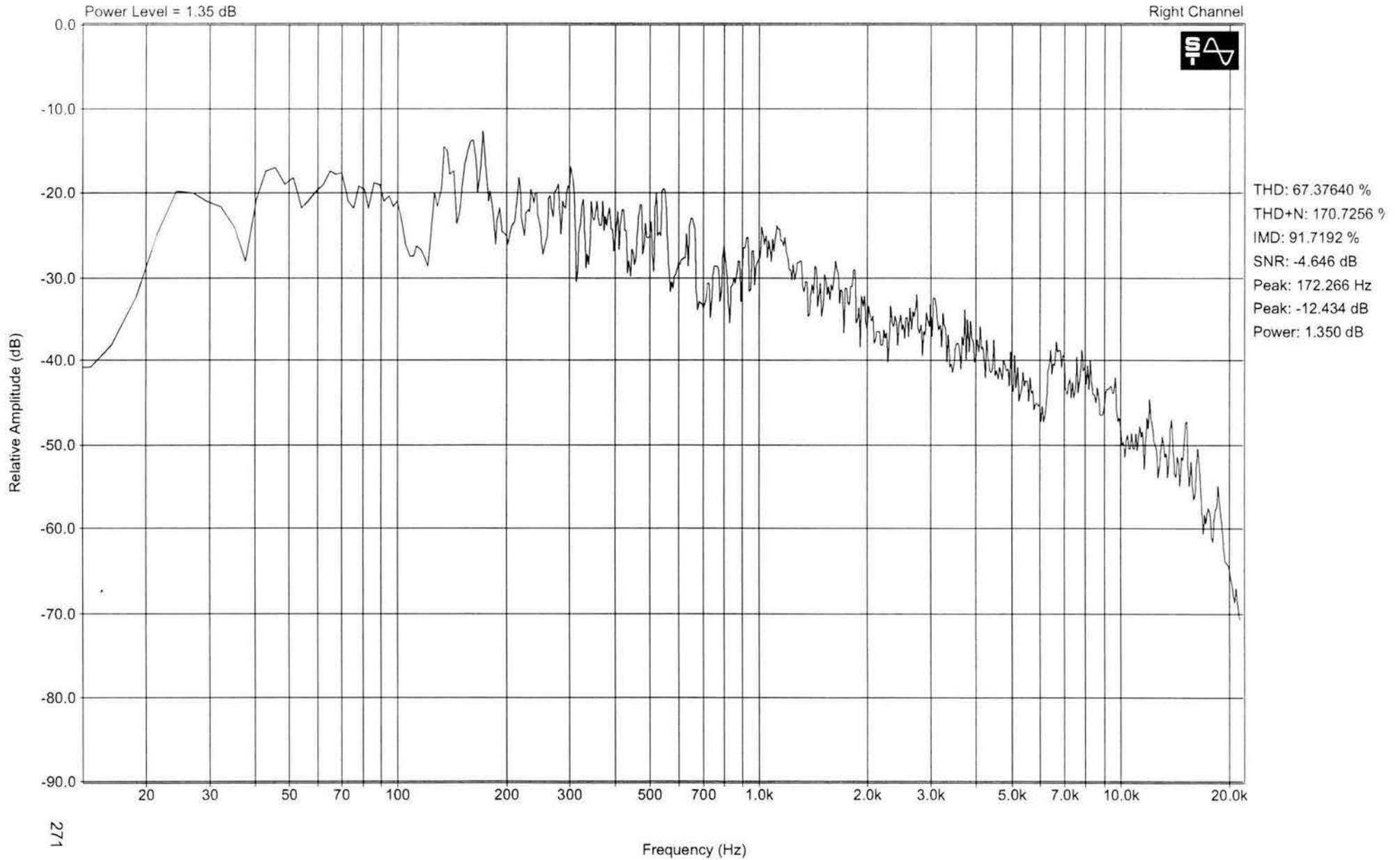
Posicion 8
Comparacion
Cluster superior y Todo



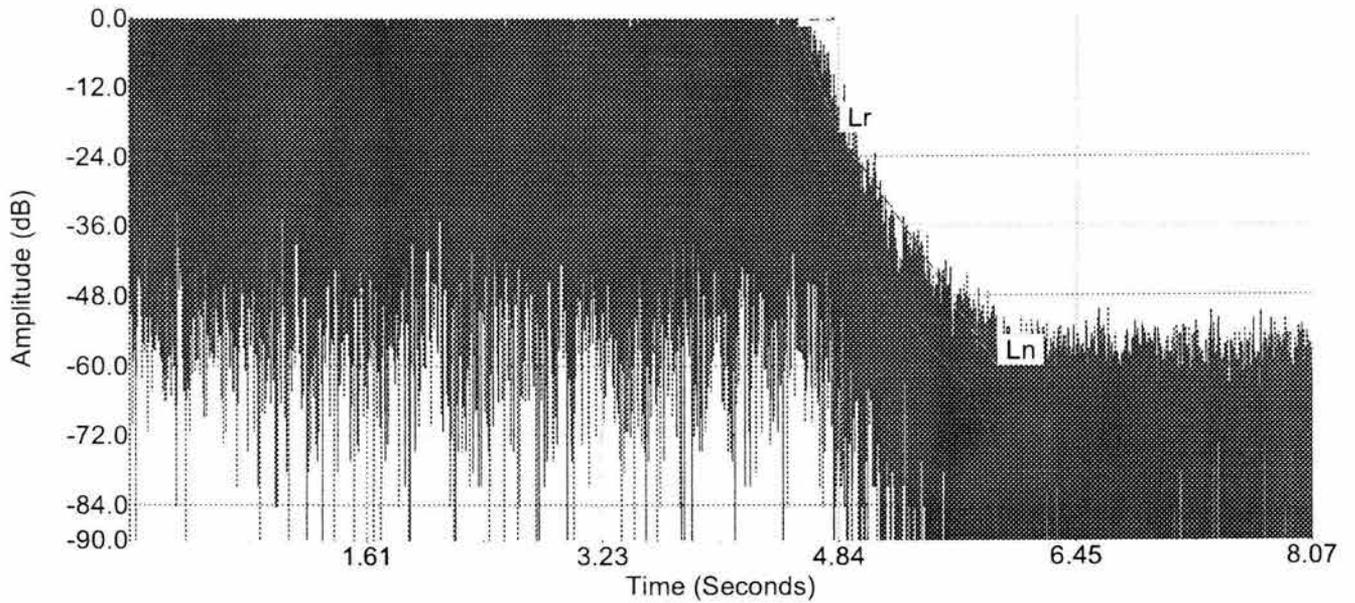
Sampling: 44100 Hz
FFT size: 16384
Averaging: 1
Window: Hanning
Overlap: 0 %

Posicion central abajo Bocinas inferiores mala posición

Printed by: SpectraLAB - FFT Spectral Analysis System
Licensed to: radium
Mon Jan 05 05:39:52 2004



RT60
RFC_cortinas
Medicion

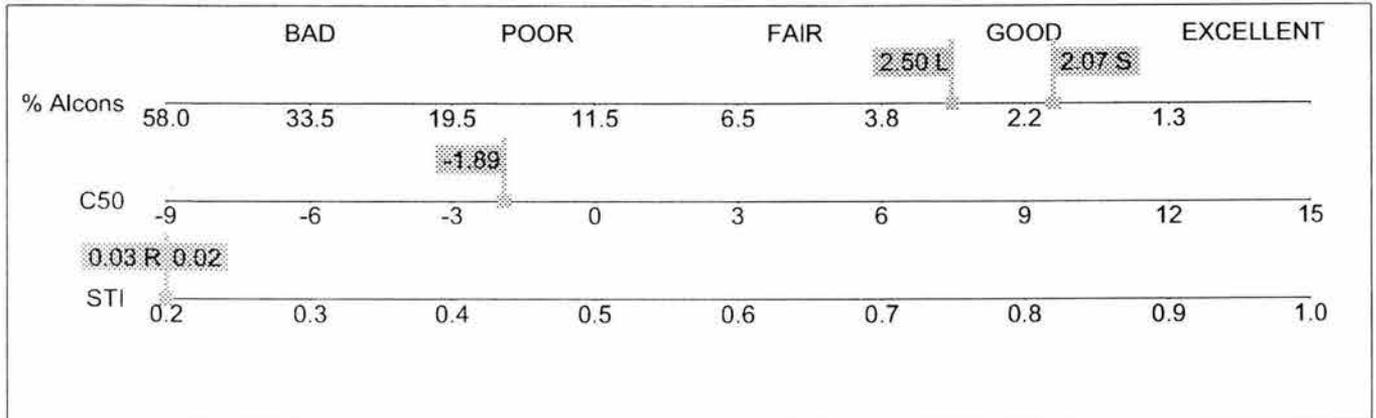


Band: Broadband

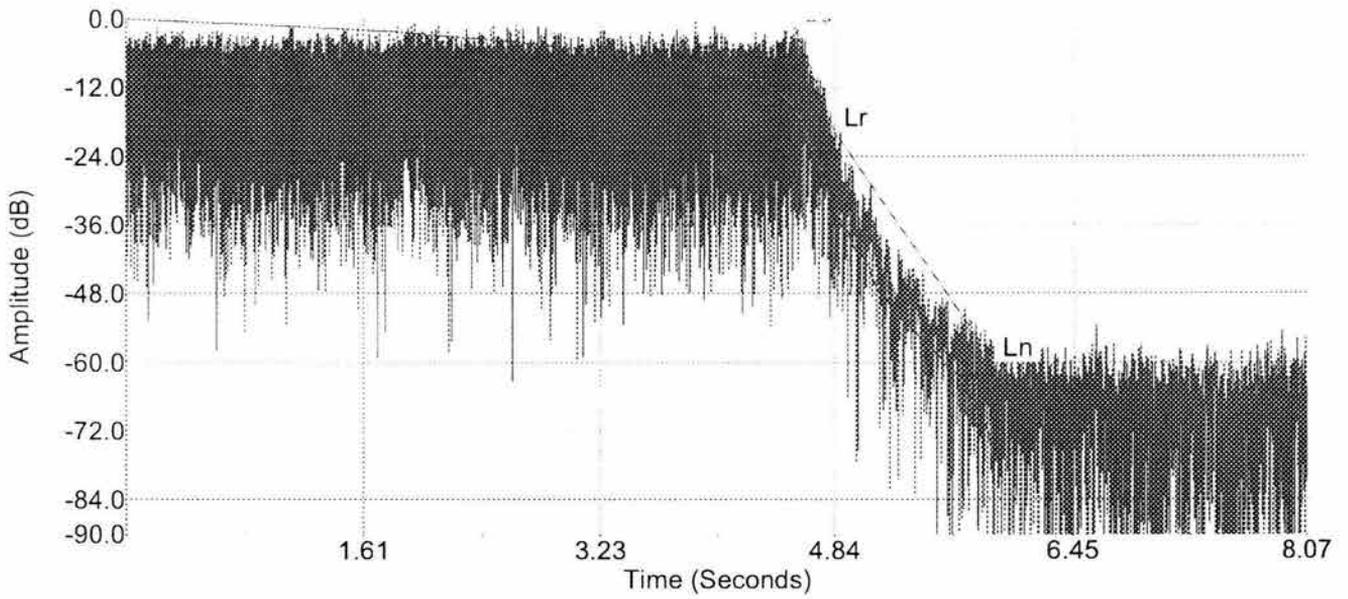
Ld: 4.563 s (5110' 2"), -1.4 dB
 Lr: 4.840 s (5421' 4"), -19.8 dB
 Ln: 5.920 s (6630' 0"), -60.0 dB

Relative T: 1.61 Seconds
 Relative Early Decay Time: 0.91 Seconds
 Direct To Reverb: 18 dB
 Standard T (20): 0.94 dB
 Standard T (30): 1.11 dB
 Standard EDT: 1.02 dB
 Clarity (50 ms): -1.89 dB

STI=0.02 RSTI=0.03



RT60
RFC_cortinas
Medicion



ETC Graph
Band: Broadband

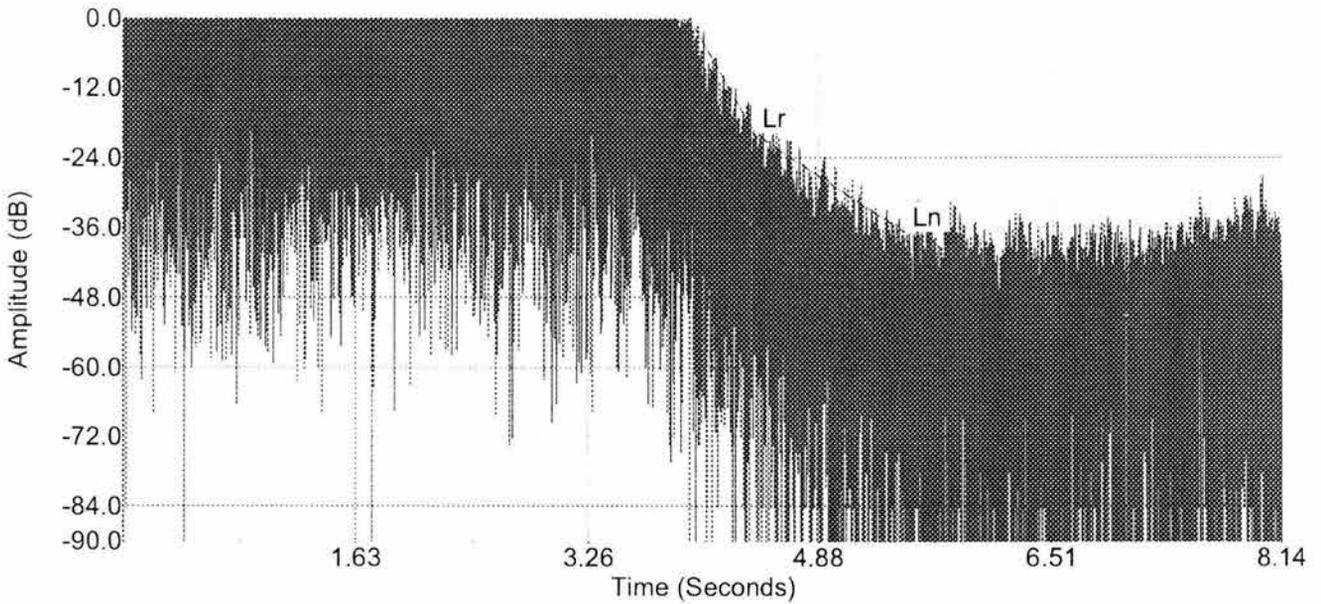
RT60
RFC_cortinas
Medicion

Band	T (R)	EDT (R)	DTR	T (20)	T (30)	EDT	C10	C20	C50	C80
Broadband	1.61	0.91	18	0.94	1.11	1.02	-9.78	-6.27	-1.89	2.26
63 Hz	2.45	1.02	26	***	***	***	-6.34	-3.14	1.36	3.12
125 Hz	2.54	1.01	29	1.14	1.44	1.07	-14.26	-5.87	-1.80	1.06
250 Hz	2.31	1.07	31	0.97	1.09	1.03	-6.12	-4.74	-1.18	2.89
500 Hz	2.21	0.74	38	0.76	0.75	0.87	-10.05	-5.43	0.92	4.28
1 kHz	1.11	0.49	29	0.70	0.64	0.82	-0.70	2.36	4.64	7.93
2 kHz	0.89	0.64	32	0.57	0.59	0.55	-7.76	-2.11	5.03	7.75
4 kHz	1.07	0.38	30	0.53	0.49	0.48	-1.00	1.84	6.70	10.03
8 kHz	3.72	***	10	***	***	***	4.35	8.33	13.30	17.06

%Alcons (Short Form): 2.07

%Alcons (Long Form): 2.50

RT60
RFC_sincortinas
Medicion



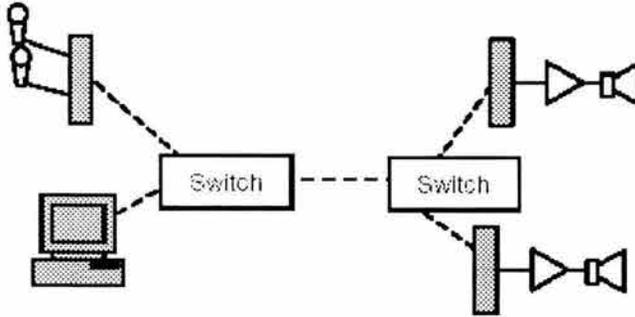
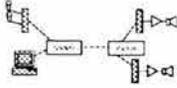
Band: Broadband

Ld: 3.966 s (4442' 3"), 0.0 dB
 Lr: 4.419 s (4949' 3"), -19.8 dB
 Ln: 5.475 s (6132' 4"), -36.7 dB

Relative T: 3.74 Seconds
 Relative Early Decay Time: 1.37 Seconds
 Direct To Reverb: 20 dB
 Standard T (20): NA dB
 Standard T (30): NA dB
 Standard EDT: NA dB
 Clarity (50 ms): -1.83 dB

STI=??? RSTI=???

	BAD		POOR		FAIR		GOOD		EXCELLENT	
% Alcons	58.0	33.5	19.5	11.5	6.5	3.8	2.2	1.3		
C50	-9	-6	-3	0	3	6	9	12	15	
STI	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	



8. FUTURO DE LOS SISTEMAS DE SONORIZACIÓN

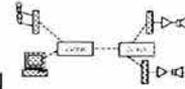
INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan las tendencias de los sistemas de sonorización. Hoy en día los arreglos lineales de bocinas son lo más novedoso que existe en el mercado. Se describen las características que componen a los arreglos lineales las cuales son: la onda cilíndrica, teoría del arreglo lineal, guías de onda. Se explica brevemente como es utilizada la tecnología digital para los sistemas de sonorización llevándose a cabo por medio de fibra óptica o cable UTP, con esta tecnología los costos disminuyen teniendo así una nueva alternativa para diseñar la sonorización de algún recinto.

8.1 ARREGLO LINEAL

Para una alta calidad de sonido el suficiente refuerzo de nivel de presión sonora y la respuesta en frecuencia son esenciales. Estas condiciones deben ser conocidas en todos los puntos del área expuesta a la radiación sonora. Las primeras bocinas rápidamente alcanzaron sus límites, estas se agrupan en clusters. Las bocinas convencionales usan la radiación esférica, no obstante la interferencia destructiva tiene efectos adversos en su rendimiento.

Para evitar cancelaciones destructivas el sistema de bocinas en arreglo lineal, las cuales son alineadas en módulos verticales, generan una coherente forma de onda sin interferencias destructivas debido a una corta distancia entre drivers individuales y por guías de onda dedicadas para intervalos de altas frecuencias. La propagación es en forma de onda cilíndrica, para evitar las cancelaciones destructivas, a continuación se mencionará como son las ondas cilíndricas.



Onda Cilíndrica

Las ondas cilíndricas son vibraciones planas con idéntica fase, por que la dispersión uniforme vertical es característica de la forma lineal. El emisor es localizado en el centro.

Para un espacio grande el alineamiento de dispersión cilíndrica del sonido es utilizado, en los diseños estrechos de tiro largo proyectados verticalmente los cuales permiten controlar la dispersión a través de áreas predeterminadas. Con el incremento de distancia desde el centro la energía disminuye. Esto se muestra en la figura 8.1.

El doble de la distancia desde el emisor dispersa el total de la energía al doble del área. Esto reduce la energía a la mitad (-3 dB) y el nivel de presión sonora por el factor de 0.707 (-3 dB).

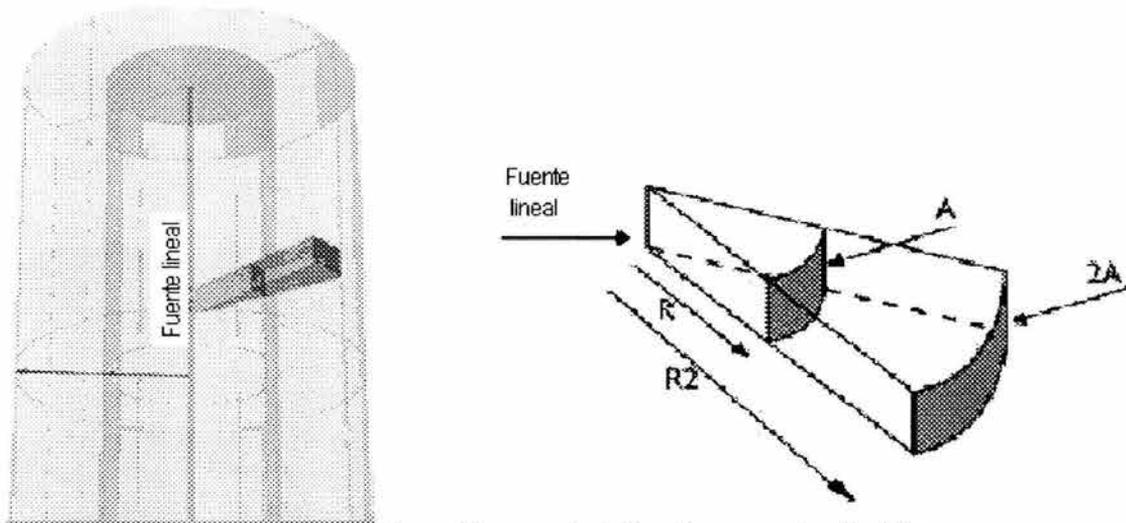
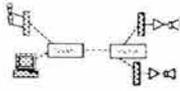


Figura 8.1. Dispersión característica de una onda cilíndrica

Teoría del Arreglo Lineal

Si todos los elementos son coherentemente acoplados en un arreglo lineal se tendrá las características básicas de dispersión de una onda cilíndrica. Por que las características solo se aplican a ciertos niveles de propagación. Esto es una continua transición desde los espacios cercanos con dispersión cilíndrica y los espacios lejanos de dispersión esférica. Esta transición puede aproximarse a la siguiente expresión:

$$d_{border} = \frac{3}{2} h^2 f \sqrt{1 - \left(\frac{1}{3hf}\right)^2}$$



8. FUTURO DE LOS SISTEMAS DE SONORIZACIÓN

en la cual h es la altura del arreglo en metros y f es la frecuencia.

Para típicas frecuencias y altura de los arreglos la raíz cuadrada se aproxima a 1, por lo tanto la transición se puede calcular por la siguiente expresión:

$$d_{border} = \frac{h^2 f}{2c}$$

en donde h es la altura del arreglo en metros, f es la frecuencia y c es la velocidad del sonido.

Los espacios cercanos son conocidos como zona Fresnel, es caracterizado por las ventajas de que el nivel de presión sonora puede ser reducido solo 3dB cada vez que se duplica la distancia.

Los espacios lejanos son conocidos como zona Fraunhofer, en esta área el nivel de presión sonora decrece 6dB cada vez que se duplica la distancia, de esta forma trabajan los sistemas convencionales de sonido.

La directividad vertical de un arreglo lineal es caracterizada por los -6dB del ángulo de cobertura del centro del lóbulo, y es calculado por la siguiente expresión:

$$D_v = 2 \sin^{-1} \left(\frac{0.6}{3hf} \right)$$

Donde h es la altura del arreglo, f es la frecuencia en kHz.

El principal objetivo es generar una onda frontal coherente que durante todo el intervalo de frecuencias el arreglo pueda trabajar como una sola bocina.

El sistema usa una construcción modular para su fácil manejo y tener una variedad de configuraciones en los arreglos de bocina. En la figura 8.2 se muestra un ejemplo del uso de los arreglos lineales. Esto consiste en múltiples módulos con convencionales conos y guías de onda para intervalos de altas frecuencias.

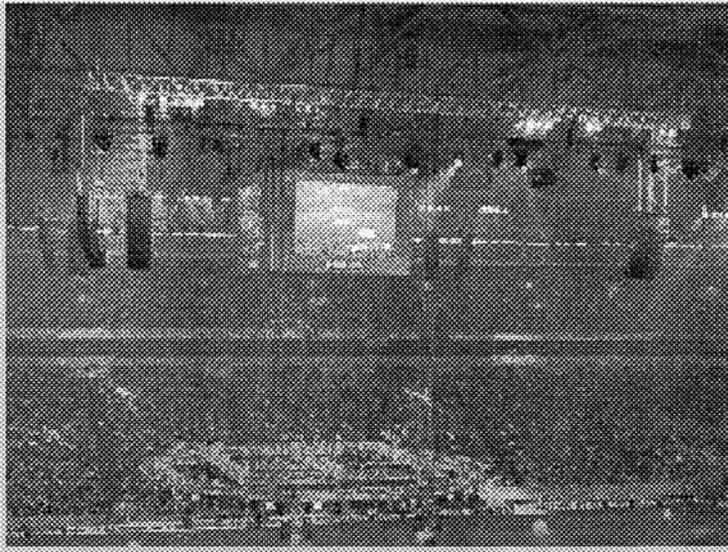
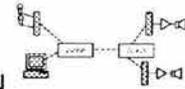


Figura 8.2. Reforzamiento de sonido con arreglos lineales en un estadio

Guías de Onda

Las guías de onda son esenciales para los arreglos lineales, generan una onda frontal coherente, esto requiere un acoplamiento coherente del sonido individual dispersando los módulos y un máximo de distancia entre los centros acústicos de la mitad de la longitud de onda. Esto no es un problema para las bajas y medias frecuencias, con grandes longitudes de onda, un driver cónico convencional puede ser solucionado. Sin embargo las complicaciones se manifiestan en los altos límites del intervalo de audición del oído humano.

A frecuencias de 16 kHz, para una alta calidad de reproducción a instantes de la longitud de onda, es necesario tener una distancia de 21 mm entre driver's, sin embargo para este arreglo lineal se debe tener solo 10mm, no solo el simple alineamiento de bocinas resuelve el problema. Para proveer de una onda frontal coherente en el intervalo de altas frecuencias en toda la altura del arreglo lineal y en todos los arreglos se manufacturan bocinas usando una variedad que se muestra a continuación.

Guías de Onda Coercitivas

La más sencilla solución es probablemente una comprensión convencional del driver acoplado a una extensión de la bocina, la apertura, es pequeña relativamente con su longitud. La guía larga de sonido o embudo logra reducir los atrasos de frecuencias radiadas desde la boca de la bocina. Un ejemplo de esta guía de onda se muestra en la figura 8.3.

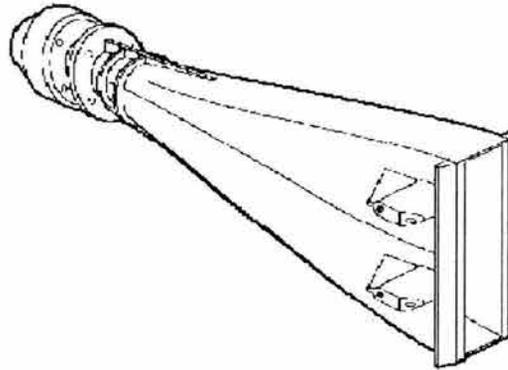
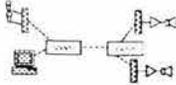


Figura 8.3. Formador de onda JBL

La diferencia de fase de la onda frontal la cual nunca se curva no debe exceder $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, para ser acoplada coherentemente con otras guías de onda por arriba o debajo de ellas.

Guía de Canal de Sonido

Muy seguido las ondas de sonido son guiadas por un numero separado de canales. Alimentados por un driver de compresión convencional, estos canales guían las ondas de sonido por un numero de aperturas lineales verticales las cuales radian en forma esférica para un acoplamiento coherente debe ser distancias cortas desde cada uno.

Los canales individuales de este diseño usualmente tienen diferentes longitudes, y algunas manufacturas usan materiales adicionales como la espuma para reducir la velocidad del sonido y generar una onda frontal coherente.

En la figura 8.4 se muestra como seria la guía de canal de sonido.

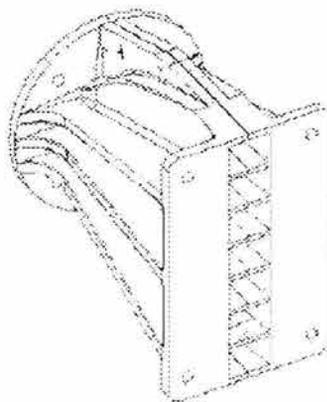
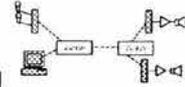


Figura 8.4. Modelo ElectroVoice Hydra



Guía de Onda DOSC

L-Acoustics patentó su propia guía de onda basada en lo que se llama Tecnología de Sepultura de Onda Frontal (WST). Una compresión convencional del driver es acoplada a una guía de onda la cual continuamente desvía las ondas de sonido de una manera que son radiadas desde la apertura de la ranura en fase. Para lograr encausar la fase se debe permanecer constante la señal desde la parte baja del driver hasta la boca de la bocina. En la figura 8.5 se muestra la guía de onda y como sería su trayectoria.

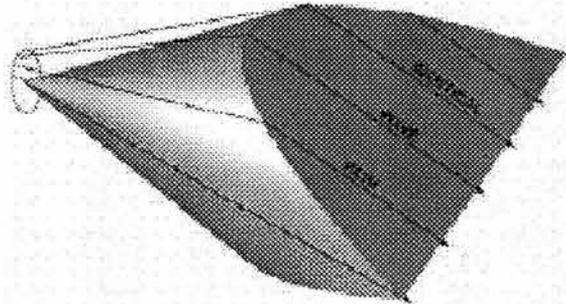
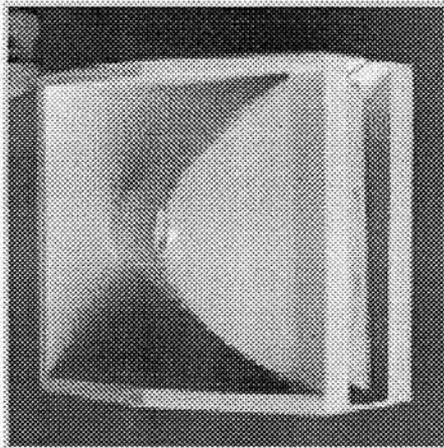


Figura 8.5. Guía de onda DOSC y trayectoria de la guía de onda

Reflexión Parabólica

Una inovante aproximación fue usada por la compañía NEXO en su serie GEO. La onda de sonido generada por un driver de compresión convencional es reflejado por un espejo acústico parabólico. Así todas las señales tienen el mismo grupo de atraso cuando se acercan a la apertura de la bocina como se muestra en la figura 8.6.

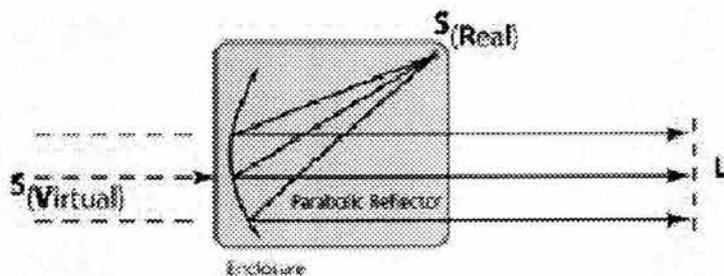
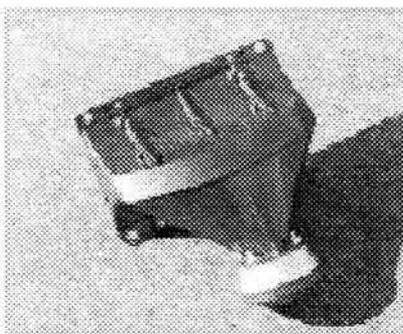
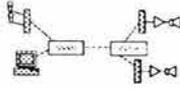


Figura 8.6. Reflector parabólico y diseño de reflexión parabólica



Nuevas variaciones de reflectores interesantes son las elípticos y las hiperbólicos, las reflectores elípticos generan una onda frontal cóncava y enfoca a las ondas de sonido. El reflector hiperbólico genera una onda frontal convexa y los puntos altos focales permiten múltiples driver's como es el punto de origen.

Transductores de Cinta

Los transductores de cinta son raramente utilizados en grandes reforzamiento de bocinas, un transductor de cinta clásico extiende ligeramente la masa de la cinta de aluminio entre 2 magnetos con polaridad positiva, el diseño es básicamente para el movimiento del carrete transductor con la ventaja de que el carrete y el

diafragma son uno mismo. En la figura 8.7 se muestra el transductor de cinta. Por esta razón la cinta puede ser generada. Debido a su baja sensibilidad este diseño es importante para los intervalos de altas frecuencias.

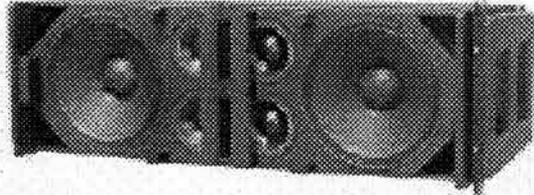
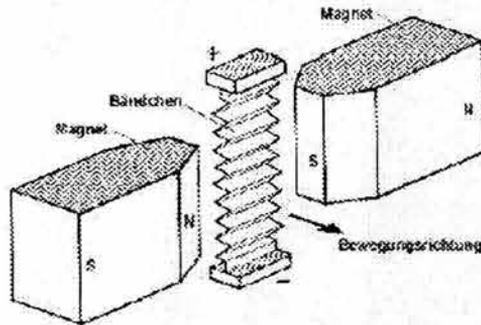


Figura 8.7. Diseño de transductor de cinta y arreglo lineal de bocinas con transductor de cinta

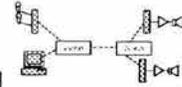
Dispersión

Debido a la curva vertical de los arreglos lineales la dispersión puede ser ampliada cierta distancia. La pequeña cobertura angular de la dispersión vertical y el común diseño del recinto trapezoidal prevén la interrupción de la onda frontal, por esta razón la cobertura angular vertical puede ser graduada.

Esto no influye sobre la dispersión horizontal sin embargo permanece constante. Los módulos de arreglos lineales tienen definido la dispersión horizontal, el ángulo esta entre 70° y 120° . La especificación del ángulo donde el nivel de cobertura de las bocinas es individual traslapa a -6 dB así genera el campo de sonido como siempre sea posible.

La distribución de energía en el recinto puede también ser determinada por la curva de los arreglos. Los ángulos bajos y altos de los módulos del arreglo lineal dan como resultado niveles de presión altos a distancias largas.

Para mantener constante el nivel de presión sonoro en toda el área de proyección, ahí una constante relación entre la distancia entre los ejes de los



módulos del área y el ángulo entre los módulos. Esto se calcula con la siguiente expresión:

$$\frac{a_1}{\alpha_1} = \frac{a_2}{\alpha_2} = \dots = \frac{a_n}{\alpha_n}$$

Donde a es la distancia en metros del eje de los módulos desde el área de proyección y α es el ángulo entre los módulos. Es también llamada divergencia sombreada por los fabricantes de bocinas. En la figura 8.8 se muestra un modelo de arreglo lineal.

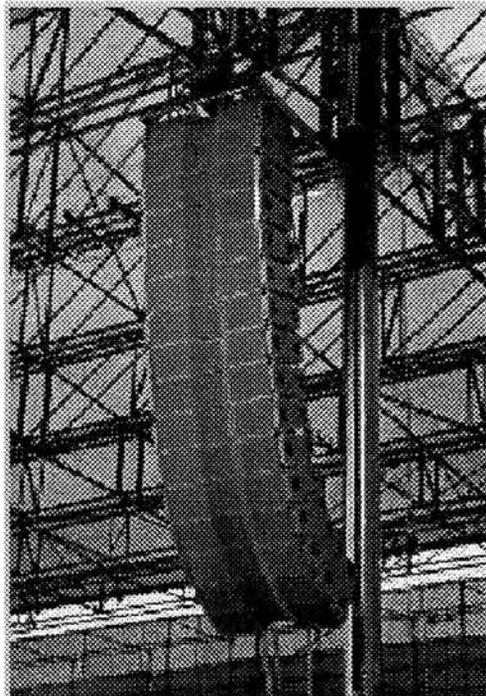
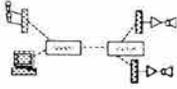


Figura 8.8. Modelo de Arreglo Lineal Monarca MLA5

8.2 TECNOLOGÍA DIGITAL PARA LOS SISTEMAS DE SONORIZACIÓN

En la actualidad existen compañías de audio profesional que brindan conexión digital en los sistemas de sonorización, como voceo o en sistemas pequeños todos de alta fidelidad, la compañía Cobranet pionera en esto en USA, tiene clientes al estadio de los yankees de NY, es el sistema de protocolo de conversión A/D y D/A, todo conectado por líneas de fibra óptica o con algún otro tipo de cable como coaxial o par trenzado, se pueden llevar muchos canales de señal de audio en una sola línea.

Hoy en día las redes computacionales tienen mayor uso en diversos sistemas. Las compañías invierten en incluir nuevas infraestructuras en redes. Estas redes son utilizadas para diversos usos como iluminación, seguridad, datos, internet.



8. FUTURO DE LOS SISTEMAS DE SONORIZACIÓN

Por este motivo al incluir esta herramienta de trabajo en los sistemas de sonorización se logrará tener mayor control del sistema así como minorizar costos en instalación y monitoreo.

La compañía Cobranet logra implementar esta tecnología con los sistemas de sonorización con un simple cable tipo UTP CAT-5 o fibra óptica, ya que de esta forma se pueden remplazar muchos cables, el mismo cable puede transportar la señal de audio así como otra información que se requiera.

Para implementar esta tecnología en una área pequeña no es adecuada ya que esta tecnología esta pensada para ser utilizada para distancias grandes.

El cable tipo UTP CAT-5 tiene la habilidad de llevar 64 canales de 20 bits de audio en cada dirección (un total de 128 canales) a una distancia de poco más de 100 metros.

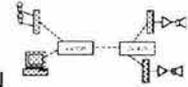
Con la fibra óptica se puede transportar la señal de audio arriba de los 2km de distancia usando el modo multimodo y puede llevar mas de 1000 canales. La transmisión por fibra óptica consiste en transformar una señal eléctrica análoga o digital en señal óptica, por medio de un emisor que podrá ser un led o un diodo láser de estado sólido. La longitud de onda empleada es del orden de los 850 o 1300 nm. El receptor de fibra óptica convierte de nuevo la señal óptica en la señal eléctrica original, el detector es un fotodiodo. Con este sistema se puede viajar sin pérdidas grandes distancias, se habla de un buen sistema cuando su pérdida máxima no excede los 3 *dB*. De esta manera el costo de la instalación sería menor y más eficaz que el convencional.

Entre las ventajas de un sistema de transmisión por fibra óptica se cuentan el poder contar con ancho de banda casi ilimitado; gran fidelidad de transmisión; un medio inmune a las interferencias y a la corrosión; poco peso en el tendido de la línea y seguridad al no haber posibilidad de chispas en las fracturas.

El control se tiene todo en un concentrador donde la tecnología de los aparatos que componen esta sección son convencionales como en cualquier administración de red de área local.

Es fácil poder expandir esta red, añadiendo nodos ó algún otro dispositivo que se desee, podemos tener mas canales, nuevas locaciones o cambiar la ruta de la señal de audio sin problemas.

Se muestra un ejemplo de como se reducen los costos por toda la instalación del sistema de sonorización, tomando como ejemplo un centro de convenciones.



Con la instalación convencional se utilizaría para esta instalación un cable con 8 pares y otro con 4 pares conectados a un equipo cercano de cada salón de conferencias de 30 m de largo, en este caso tomaremos 4 salones como ejemplo.

El conducto que se utiliza para conectar dentro de los salones mide 3.8 cm de ancho, el conducto que se utiliza para conectar todas los salones con el cuarto de mando mide 7.8 cm de ancho, este conducto lleva 8 cables , 4 cables de 8 pares y 4 cables de 4 pares en cada conducto.

El conducto, cable y mano de obra son principalmente los costos que se ven disminuidos en comparación con la infraestructura de que brinda la compañía

Crobranet, en la figura 8.9 se muestra este diseño de un sistema analógico tradicional, el cual queda en desventaja con la siguiente figura 8.10, que muestra la implementación de sistema con la tecnología que ofrece la compañía Cobranet.

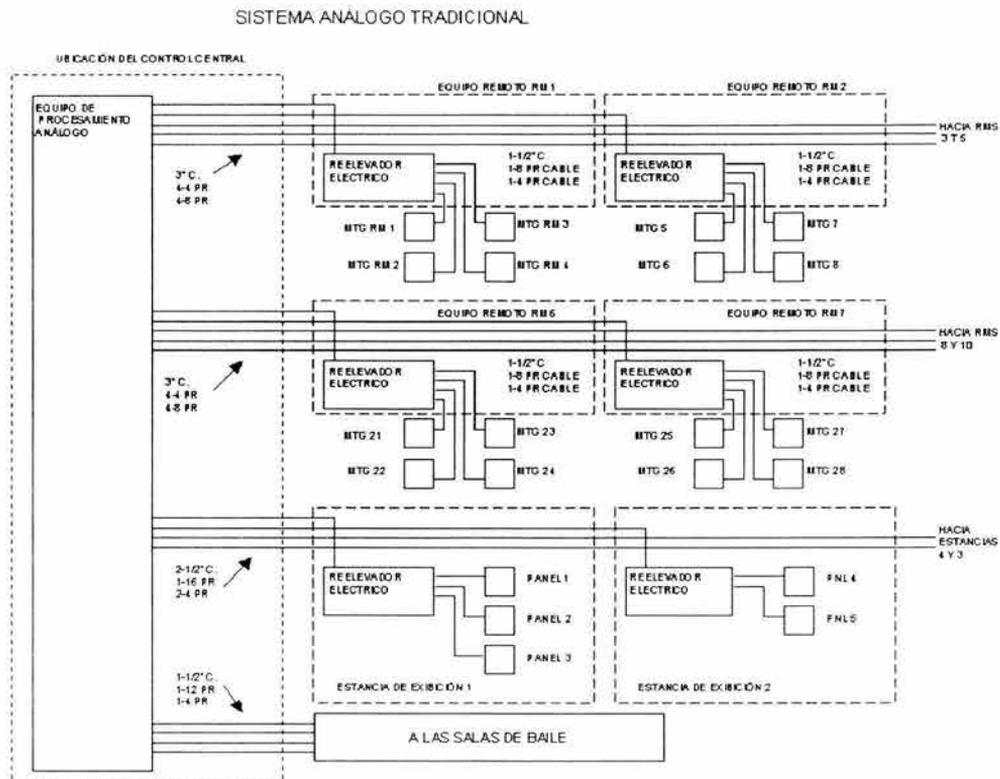
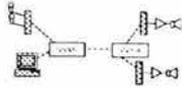


Figura 8.9. Sistema de Sonorización convencional



8. FUTURO DE LOS SISTEMAS DE SONORIZACIÓN

Realmente los costos disminuyen demasiado, existirán recintos donde los costos no tendrán mucha diferencia con respecto a los convencionales pero el intervalo de usos de esta innovación tecnológica, es muy grande.

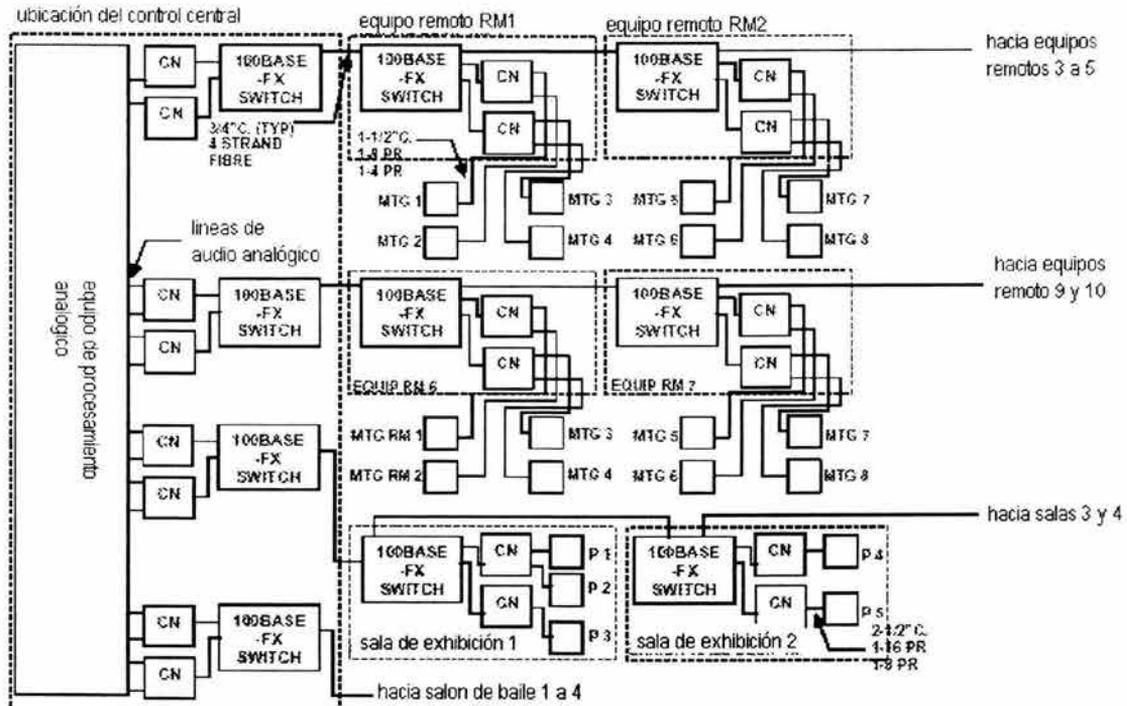


Figura 8.10. Sistema de Sonorización con Cobranet

8.3 CONTROL DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA DE UN SISTEMA DE SONORIZACIÓN MONITOREANDO LAS VARIABLES FÍSICAS QUE LA MODIFICAN

El control de los sistemas de sonorización es la tendencia futura para controlar y tener un mejor manejo de la respuesta en frecuencia, la respuesta de fase y la relación señal / ruido de los sistemas de sonorización en tiempo real, en la figura 8.11 se ve un diagrama a bloques de como sería un sistema de control en tiempo real de un sistema de sonorización. En este se observa como los sensores de temperatura, de densidad del aire, así como un micrófono de medición sonora están conectados al sistema de control diseñado con microprocesadores y DSP's que contienen los algoritmos que ayudan a modificar las ganancias de voltaje por frecuencia, para tener una respuesta más eficiente conforme las variables de temperatura y densidad, vayan cambiando.

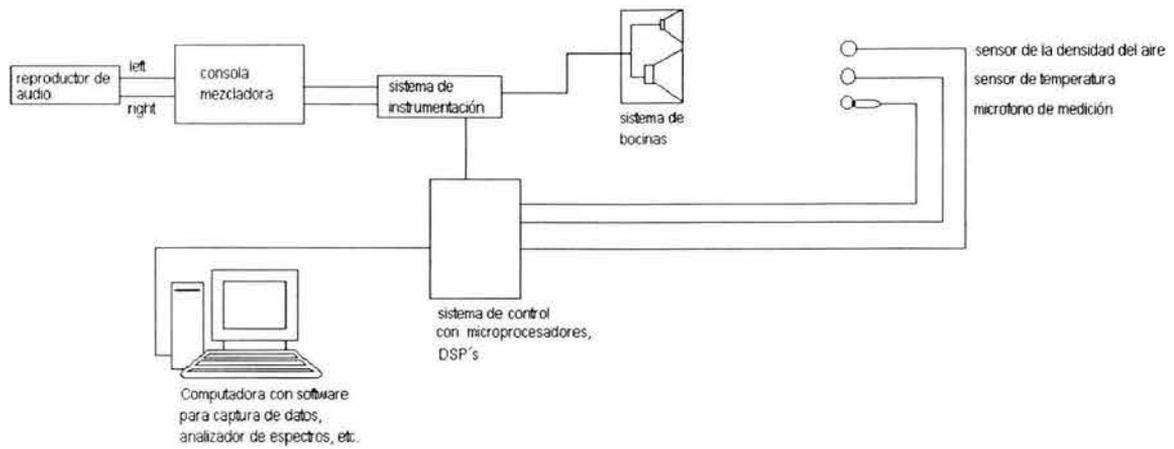
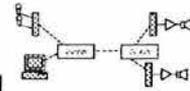


Figura 8.11. Sistema de sonorización con monitoreo en tiempo real.

Conclusiones

En este trabajo de tesis se presentaron los conceptos y equipos necesarios para el análisis y el diseño de un sistema de sonorización adecuado en un espacio acústico. Se llevó a cabo el diseño del sistema de sonorización de una Discoteca-Bar, el cual abarcó los requerimientos sonoros del lugar, distribución de las bocinas, cálculo de la presión sonora y cálculo de la corriente que circula por las bocinas. Se obtuvo una tabla de consumo total de corriente que demandan de la línea de AC los equipos utilizados para sonorizar la Discoteca-Bar. El diseño consideró las normas de nivel de presión sonora permitidas para no dañar al usuario.

También se llevó a cabo el análisis del sistema de sonorización de un teatro, este estudio comprendió las necesidades sonoras, tipos de bocinas y cobertura sonora de las bocinas. Así mismo incluyó la verificación del equipo y de las conexiones, realizando pruebas generales del sistema, además de la obtención de la potencia requerida para cubrir adecuadamente todo el espacio. Se incluyeron mediciones acústicas para validar el funcionamiento del sistema de sonorización y en su caso encontrar las fallas que provocan deterioro en el mismo.

Durante el proceso de realización del trabajo se encontró que los primeros sistemas de sonorización eran muy voluminosos y con poca fidelidad, a pesar de que las bocinas estaban construidas con la tecnología más avanzada del momento y no se habían desarrollado y diversificado como lo están haciendo hoy en día. El avance tecnológico que han tenido estos elementos ha permitido dar una mejor respuesta a los sistemas de sonorización en un recinto acústico. Así mismo, se detectó que los sistemas de sonorización han adquirido gran importancia ya que la tecnología que se emplea para el diseño de estos sistemas va evolucionando rápidamente. Gracias a ello, actualmente los sistemas tienen una mejor fidelidad obteniendo así un alto desempeño adecuado de acuerdo al recinto que se requiera sonorizar.

También se analizó que los sistemas convencionales están evolucionando a sistemas más sofisticados, los cuales constan de un arreglo de bocinas en donde las cancelaciones acústicas son mínimas, esto se debe a que las bocinas están construidas con difusores que han diseñado los fabricantes en los cuales reducen las distorsiones y las cancelaciones. También estos sistemas cada vez son más potentes y con una claridad del sonido muy buena.

En este trabajo también se menciona que una de las tendencias de la actualidad, es que la transmisión de la señal de audio puede ser por medio de fibra óptica o cable UTP, lo cual logra un sistema más competitivo con mayores beneficios y menor costo. Aunque esta tecnología todavía no es utilizada a gran escala, se prevé que a futuro sea más común su uso.

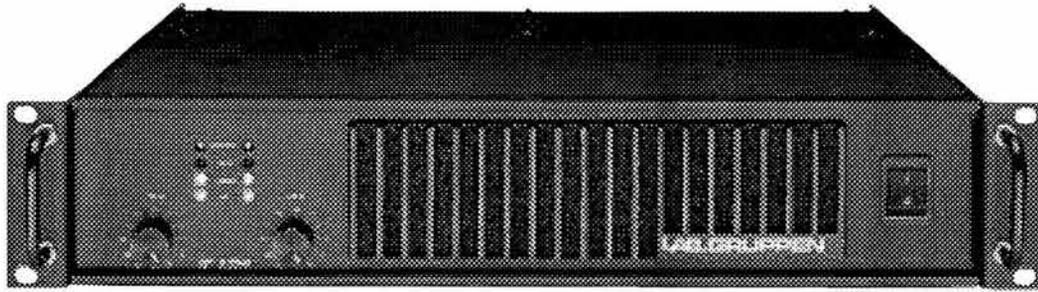
Se determinó que en el caso del teatro, existen deficiencias en los equipos, ya que se encuentran descalibrados o no funcionan adecuadamente por falta de mantenimiento. Lo anterior se debe a que muchos de estos equipos ya pasaron su vida útil. También se encontró que en las paredes laterales se tienen unas cortinas que influyen en la respuesta acústica del recinto, haciéndolo menos reverberante. La colocación de las bocinas es la adecuada aún cuando algunos de los elementos que conforman al sistema de sonorización ya están descalibrados, sin embargo, aún así todavía cumplen con los requerimientos del recinto ya que cada una de las bocinas es dirigida al área que se desea sonorizar, dándole al espacio la mejor uniformidad sonora con la mejor respuesta en frecuencia.

El desarrollo teórico-práctico del sistema de sonorización de la Discoteca-Bar y del teatro, ha sido sumamente útil para identificar los elementos más importantes al momento de implementar un proyecto de desarrollo electro-acústico. Los resultados aquí presentados podrán ser aplicados al mejoramiento de un espacio acústico que es de suma importancia para la comunidad.

Dado lo anterior, se considera que se cumplió satisfactoriamente con el objetivo planteado al inicio de este trabajo. Este proyecto muestra la complejidad y el tipo de análisis que se deben de llevar a cabo para lograr un sistema de sonorización adecuado.

ANEXO

LAB.GRUPPEN



POWER AMPLIFIERS

iP 1350

KEY FEATURES:

2 x 300 watts @ 8 Ω

2 x 500 watts @ 4 Ω

2 x 700 watts @ 2 Ω

(Measured just below clip level,
with both channels driven)

- ◆ **Compact design:**
2U high
- ◆ **Intercooler® cooling system** with front-to-rear airflow
- ◆ **Multiple positions gain switch**
- ◆ **Easily accessible dust filter**
- ◆ **Improved low-end power bandwidth**
- ◆ **Neutrik Combo jack and Phoenix terminal block input connectors**
- ◆ **Bridged mono outputs in one SpeakOn connector**

The iP 1350 is a space-saving power amplifier, ideal for use in installations as well as in cost-effective live sound systems.

The Iron Power (iP) family of power amplifiers is the new compact and versatile line of professional power amplifiers with classic toroidal iron transformers. To achieve a compact design, the latest semiconductor technology is utilized. This, together with Lab.gruppen's proprietary copper cooling system, Intercooler®, enhances the 2 ohms capacity.

A new Bi-phase wiring scheme also increases the capacity of the power supply. This extends the power bandwidth in the low end.

Besides the traditionally superb Lab.gruppen sonic performance, there is a full line of features to make the iP family functional in all situations from installation to cost-effective live sound systems:

Multiple positions Gain switch

To meet the demands for a flexible gain structure in the system, Lab.gruppen offers a multiple position gain switch. The maximum amplifier gain can be set to all industry standards: 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38 and 41 dB.

Versatile input connection

With the Neutrik Combo-jack we offer both the professional XLR-type standard and the semi-pro 1/4" TRS phono-jacks. For installations the 3-pin Phoenix terminal block may be handier.

Soft Start

Toroidal transformers require a huge amount of start current to build up a magnetic flux when the amplifier is switched on. Therefore Lab.gruppen have included a soft start circuit to minimize the risk of blowing the wall fuse and to reduce flickering in the lighting.

Sophisticated protection circuitry, combining:

- **ALS™ short circuit protection;** the Adaptive Limiting System permits very high peak currents, but keeps the amplifier within the Safe Operation Area.
- **DC protection;** protects against infrasonic signals
- **VHF protection;** protects the loudspeakers against strong very high frequency non-musical signals above the audible range.
- **Thermal protection;** prevents the amplifier from being overheated. The protection indicators on the front panel are switched on, as a warning, before the protection process is initiated.
- **AC protection;** shuts down the power supply if the line voltage is outside the operating voltage.
- **Clip limiter;** prevents severely clipped waveforms from reaching the loudspeakers, whilst maintaining full peak power.

SPECIFICATIONS iP 1350

MAX OUTPUT POWER

	EIA at 1 kHz and 1% THD	FTC 20-20kHz @0.1%THD
8 \square per channel	300 W	280 W
4 \square per channel	500 W	460 W
2 \square per channel	700 W ²⁾	660 ²⁾ W
8 \square bridged	1000 W	920 W
4 \square bridged	1400 W ²⁾	1320 ²⁾ W

Max output voltage	
8 ohms load	49Vrms
Peak voltage, no load	77 V

Distortion etc.	
THD 20Hz-20kHz and 1W to full power	0,03 %
THD @ 1kHz and \pm 1dB under clip	0,005 %
DIM 30 at \pm 3dB under clip	0,005 %

Hum and Noise	<-110 dB
Channel separation @10kHz	70 dB
Output impedance	30 m Ω
Slew Rate	45 V/ μ s

Inputs	
Gain, selectable [dB]	20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41
Impedance	20 kohm
Common mode rejection	50 dB

Front Panel		
Gain controls	(2) channel A, B	31 positions detent
Protect indicator	(2) yellow LEDs	80 C at heatsink or >12kHz at full power or shorted output
Clip Indicator	(2) red LEDs	Fast peak & slow release
Signal present indicator	(2) green LEDs	-40 dB below full output
On Indicator	(2) green LEDs	DC rail voltage for channel A and B

Rear Panel	
Input connectors	(2) Neutrik Combo XLR type, 3 pin & 1/4 Ω jack
Input /Link connector	(2) 3-pin Phoenix terminal block
Output connectors	(2) Neutrik 4-pole Speakon connectors
Switches	
Clip limiter A and B	On-Off (switchable)
Link-switch	Ch.A-B

Power	230 V version	115 V version
Operation voltage	130 V-265 V AC	65 V \pm 135V AC
Minimum start voltage	190 V	95 V AC
Full output power at 4ohms	230 V AC	115 V AC
Peak inrush current (Soft start limited)	20 A	10 A

Current Draw @ 4ohms&230V		
Quiescent power (no load)	0.6 Arms	1.2 Arms
1/8 of full power (-9dB)	3.5 Arms	7 Arms
1/3 of full power (-5dB)	5.5 Arms	11 Arms
At full power (0 dB) @1 kHz 1% THD	9.5 Arms	19 Arms

Net Dimensions mm (inch)	483 (19 Ω)W x 88 (3,5 Ω) H x 325 (12.8 Ω) D
Shipping Dimensions mm (inch)	560 (22 Ω)W x 180 (7.1 Ω) H x 500 (19.7 Ω) D
Net Weight	15 kg (33 lbs)
Shipping Weight	16.6 kg (36.5 lbs)

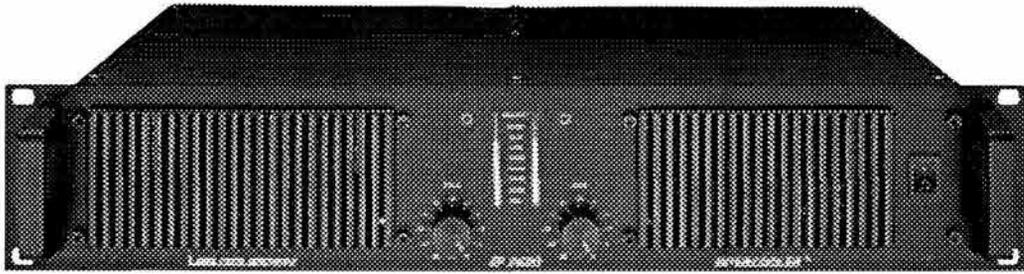
Approvals	CE	Emission	EN 55 103-1, E3
		Immunity	EN 55 103-2, E3, with S/N below 1% at normal operation level ⁴⁾
	THX	Safety	EN 60 065, class I
			iP1350T

1) Specifications measured with 230 VAC 4) Normal operation level 1/8 of full power or \pm 9dB below clip level.

2) Component tolerance dependent

3) Continuous power, one channel driven or peak power both channels driven (Thermal protection may occur at high continuous power)

LAB.GRUPPEN



POWER AMPLIFIERS

fp 2600

KEY FEATURES:

2 x 430 watt @ 8Ω
2 x 840 watt @ 4Ω
2 x 1200 watt @ 2Ω
(Measured just below clip level,
with both channels driven)

Light weight and compact:
only 8 kg (18 lbs), 2U high

MLS[®] Switch: Lab.gruppen[®]
unique power matching for
different loads

NEW FEATURES:

Replaces the LAB 1600

Multiple positions gain
switch

Easily accessible dust filters

Improved low-end power
bandwidth

Link connector with XLR-type
connector

Extruded front panel for
increased stability

Bridged mono outputs in one
SpeakOn connector

The fp 2600 is a lightweight and space-saving power amplifier for use in high quality touring sound systems as well as in demanding permanent installations.

The latest semiconductor technology is utilized in the new ferrite Power (fp) amplifiers. This, together with Lab.gruppen[®] proprietary copper cooling system, Intercooler[™], enhances the 2 ohms capacity. Two easily accessible dust filters on the front ensure a clean front-to-rear airflow.

A new Bi-phase wiring scheme also increases the capacity of the switch mode power supply. This extends the power bandwidth in the low end. Besides the traditionally superb Lab.gruppen[®] sonic performance, there is a full line of features to make the fp family functional in all situations from installation to high performance live sound systems:

Regulated switch mode power supply

Today there are many lightweight, switch-mode amplifiers in the market. However, the unique Lab.gruppen[®] switch-mode power supply technology offers a number of essential advantages that make it superior to other and seemingly similar power supply designs. The most important features are the regulated power supply and the extreme power efficiency. The regulated power supply easily deals with a very high variation in the AC mains voltage: it can drop by up to 20% below its nominal level - e.g. to 180V instead of 230V - without any problem. Perhaps even greater benefits result from the extreme efficiency of Lab.gruppen[®] amplifiers: only a fraction of the energy from the AC mains is turned into heat.

A regulated power supply also presents some other sonic advantages, such as better cone control and the same fast response as a conventional power supply.

Multiple positions Gain switch

To meet the demands for a flexible gain structure in the system, Lab.gruppen[®] offers a multiple position gain switch. The maximum amplifier gain can be set to all industry standards: 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38 and 41 dB.

Sophisticated protection circuitry, combining:

- ALS[®] short circuit protection; the Adaptive Limiting System permits very high peak currents, but keeps the amplifier within the Safe Operation Area.
- ∅ DC protection; protects against infrasonic signals
- ∅ VHF protection; protects the loudspeakers against strong very high frequency non-musical signals above the audible range.
- ∅ Thermal protection; prevents the amplifier from being overheated. The protection indicators on the front panel are switched on, as a warning, before the protection process is initiated.
- ∅ AC protection; shuts down the power supply if the line voltage is outside the operating voltage.
- ∅ Clip limiter; prevents severely clipped waveforms from reaching the loudspeakers, whilst maintaining full peak power.

SPECIFICATIONS FP 2600

MAX OUTPUT POWER ¹⁾

EIA at 1 kHz and 1% THD

MLS switch	-3 dB	0 dB Full	0 dB Full
16 Ω per channel	110 W	215 W	210 W
8 Ω per channel	240 W	430 W	420 W
4 Ω per channel	430 W	840 W	800 W
2 Ω per channel	870 W	1200 ²⁾ , 1540 ³⁾ W	1175 W
16 Ω bridged	480 W	860 W	840 W
8 Ω bridged	870 W	1680 W	1600 W
4 Ω bridged	1740 W	2400 ²⁾ , 3000 ³⁾ W	2350 W

FTC 20-20kHz @0.1%THD

Max output voltage

8 ohms load, MLS @ 0 dB	45 Vrms	59 Vrms
Peak voltage, no load	65 V	85 V

Distortion etc.

THD 20Hz-20kHz and 1W to full power	0,04 %
THD @ 1kHz and -1dB under clip	0,01 %
DIM 30 at -3dB under clip	0,008 %

Hum and Noise	<-110 dB
Channel separation @10kHz	70 dB
Output impedance	30 mΩ
Slew Rate	60 V/μs

Inputs

Gain, selectable [dB]	20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41
Impedance	20 kohm
Common mode rejection	50 dB

Front Panel

Gain controls	(2) channel A, B	31 positions detent
Clip Indicator	(2) red LEDs	
Output headroom indicators	(10) green LED's	Fast peak -slow release
Temp Indicator	(2) yellow LEDs	80°C at heatsink
Protect indicator	(2) yellow LEDs	>12kHz at full power or shorted output
On Indicator	(2) green LEDs	DC rail voltage for channel A and B

Rear Panel

Input connectors	(2) Neutrik Combo XLR type, 3 pin & 1/4" jack
Link connector	(2) XLR type, 3 pin male
Output connectors	(2) Neutrik 4-pole Speakon connectors

Switches

Clip limiter A and B	On-Off (switchable)
MLS switch	0, -3 dB
Link-switch	Ch.A-B

Power

	230 V version	115 V version
Operation voltage	130 V-265 V AC	65 V - 135 V AC
Minimum start voltage	175 V	95 V AC
Full output power at 4ohms	180 V-265 V AC	90 V - 130 V AC
Peak inrush current (Soft start limited)	5 A	5 A

Current Draw @ 4ohms&230V

	1 Arms	2 Arms
Quiescent power (no load)	1 Arms	2 Arms
1/8 of full power (-9dB)	6 Arms	12 Arms
1/3 of full power (-5dB)	9 Arms	18 Arms
At full power (0 dB) @1 kHz 1% THD	16 Arms	32 Arms

Net Dimensions mm (inch)

Shipping Dimensions mm (inch)	483 (19") W x 88 (3,5") H x 287 (11.3") D
Net Weight	8 kg (18 lbs)
Shipping Weight	9.6 kg (21.2 lbs)

Approvals

CE

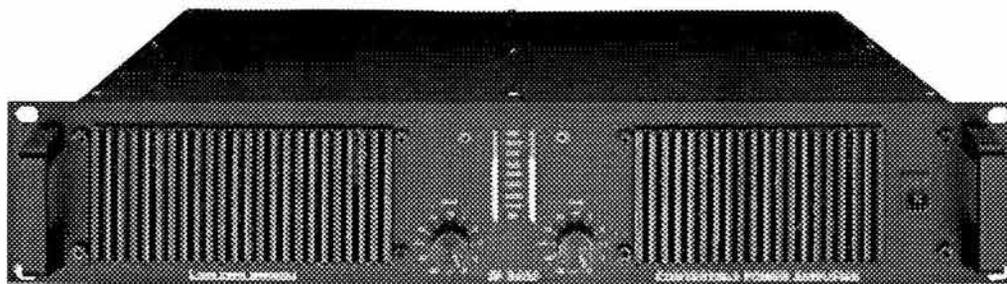
Emission	EN 55 103-1, E3
Immunity	EN 55 103-2, E3, with S/N below 1% at normal operation level ⁴⁾
Safety	EN 60 065, class I

- Specifications measured with 230 VAC
- Component tolerance dependent
- Continuous power, one channel driven or peak power both channels driven
(Thermal protection may occur at high continuous power)
- Normal operation level 1/8 of full power or -9dB below clip level.

LAB. GRUPPEN reserve the right to alter functions or specifications without prior notice.

2002-03 V1

LAB.GRUPPEN



POWER AMPLIFIERS

fP 3400

KEY FEATURES:

- ◆ 2 x 1100 watts @ 8 Ω
2 x 1500 watts @ 4 Ω
2 x 1700 watts @ 2 Ω
(Measured just below clip level,
with both channels driven)
- ◆ Light weight and compact:
only 10 kg (22 lbs), 2U high
- ◆ **MLS™ Switch:** Lab.gruppen's
unique power matching for
different loads

NEW FEATURES:

- ◆ Replaces the LAB 2002
- ◆ Multiple positions gain
switch
- ◆ Intercooler® cooling system
with front-to-rear airflow
and easily accessible dust
filters
- ◆ Improved low-end power
bandwidth
- ◆ Link connector with XLR-type
connector
- ◆ Extruded front panel for
increased stability
- ◆ Bridged mono outputs in
one SpeakOn connector

The fP 3400 is a lightweight and space-saving power amplifier, ideal for use in high quality touring sound systems as well as in demanding permanent installations.

Heat and cooling are fundamental problems in extreme high power amplifiers such as the fP 3400. Already in 1990, Lab.gruppen patented a high efficiency amplifier, in fact an evolution of the Class D amplifier. Lab.gruppen therefore call it Class TD. It obtains the same high efficiency as Class D, but avoids its drawbacks. Class D has a power-amplifier topology using Pulse Width Modulation (PWM) to achieve high efficiency, but it needs a recovery filter between the output stage and the loudspeaker. Lab.gruppen's Class TD amplifiers do not need this filter and this is one reason why the Lab.gruppen Class TD obtains the same sonic quality as a traditional Class AB amplifier.

Besides the traditionally superb Lab.gruppen sonic performance, fP3400 offers a full line of important features:

Regulated switch mode power supply

Today there are many lightweight, switch-mode amplifiers in the market. However, the unique Lab.gruppen switch-mode power supply technology offers a number of essential advantages that make it superior to other and seemingly similar power supply designs. The most important features are the regulated power supply and the extreme power efficiency. The regulated power supply easily deals with a very high variation in the AC mains voltage: it can drop by up to 20% below its nominal level – e.g. to 180 V instead of 230 V – without any problem. Perhaps even greater benefits result from the extreme efficiency of Lab.gruppen amplifiers: only a fraction of the energy from the AC mains is turned into heat.

A regulated power supply also presents some other sonic advantages, such as better cone control and the same fast response as a conventional power supply.

Multiple positions Gain switch

To meet the demands for a flexible gain structure in the system, Lab.gruppen offers a multiple position gain switch. The maximum amplifier gain can be set to all industry standards: 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38 and 41 dB.

Sophisticated protection circuitry, combining:

- **DC protection;** protects against infrasonic signals
- **VHF protection;** protects the loudspeakers against strong very high frequency non-musical signals above the audible range.
- **Thermal protection;** prevents the amplifier from being overheated. The protection indicators on the front panel are switched on, as a warning, before the protection process is initiated.
- **AC protection;** shuts down the power supply if the line voltage is outside the operating voltage.
- **Clip limiter;** prevents severely clipped waveforms from reaching the loudspeakers, whilst maintaining full peak power.

SPECIFICATIONS FP 3400

MAX OUTPUT POWER ¹⁾

EIA at 1 kHz and 1% THD

MLS switch	-5dB	-4dB	-2dB	0dB Full	0dB Full
16 Ω per channel	160 W	200 W	340 W	520 W	500 W
8 Ω per channel	300 W	400 W	700 W	1100 W	1000 W
4 Ω per channel	600 W	750 W	1300 W	1500, 1900 ³⁾ W	1450 W
2 Ω per channel	1200 W	1400 W	1550, 1900 ³⁾ W	1700 ³⁾ , 3000 ³⁾ W	1650 W
16 Ω bridged	600 W	800 W	1400 W	2200 W	2000 W
8 Ω bridged	1200 W	1500 W	2600 W	3000, 3800 ³⁾ W	2900 W
4 Ω bridged	2400 W	2800 W	3100, 3800 ³⁾ W	3400 ³⁾ , 6000 ³⁾ W	3300 W

FTC 20-20kHz @0.1%THD

Max output voltage

8 ohms load, MLS @ 0 dB	52 Vrms	58 Vrms	75 Vrms	94 Vrms
Peak voltage, no load	79 V	82 V	107 V	132 V

Distortion etc.

THD 20Hz-20kHz and 1W to full power	0,08 %
THD @ 1kHz and -1dB under clip	0,03 %
DIM 30 at -3dB under clip	0,06 %

Hum and Noise

Channel separation @10kHz	< -110 dB
Output impedance	70 dB
Slew Rate	60 mΩ
	20 V/μs

Inputs

Gain, selectable [dB]	20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41
Impedance	20 kohm
Common mode rejection	50 dB

Front Panel

Gain controls	(2) channel A, B	31 positions detent
Clip Indicator	(2) red LEDs	
Output headroom indicators	(10) green LED's	Fast peak – slow release
Temp Indicator	(2) yellow LEDs	80°C at heatsink
VHF indicator	(2) yellow LEDs	>12kHz at full power
On Indicator	(2) green LEDs	DC rail voltage for channel A and B

Rear Panel

Input connectors	(2) Neutrik Combo XLR type, 3 pin & 1/4" jack
Link connector	(2) XLR type, 3 pin male
Output connectors	(2) Neutrik 4-pole Speakon connectors

Switches

Clip limiter A and B	On-Off (switchable)
MLS switch	0, -2, -4, -5dB
Link-switch	Ch.A-B

Power

	230 V version	115 V version
Operation voltage	130 V-265 V AC	65 V – 135 V AC
Minimum start voltage	175 V	95 V AC
Full output power at 4ohms	180 V-265 V AC	90 V – 130 V AC
Peak inrush current (Soft start limited)	5 A	5 A

Current Draw @ 4ohms&230V

Quiescent power (no load)	1 Arms	2 Arms
1/8 of full power (-9dB)	5 Arms	10 Arms
1/3 of full power (-5dB)	11 Arms	22 Arms
At full power (0 dB) @1 kHz 1% THD	26 Arms	52 Arms

Net Dimensions mm (inch)

Shipping Dimensions mm (inch)	483 (19") W x 88 (3,5") H x 347 (13,7") D
Net Weight	560 (22") W x 180 (7,1") H x 500 (19,7") D
Shipping Weight	10kg (22lbs)
Approvals	11.6 kg (25.6lbs)

CE

Emission	EN 55 103-1, E3
Immunity	EN 55 103-2, E3, with S/N below 1% at normal operation level ⁴⁾
Safety	EN 60 065, class I

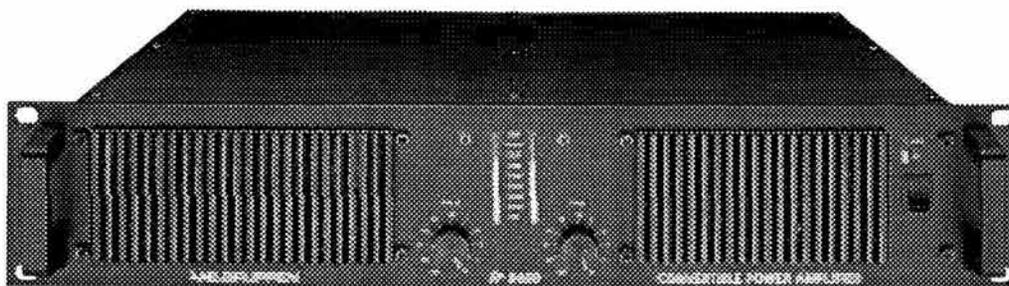
1) Specifications measured with 230 VAC

4) Normal operation level 1/8 of full power or -9dB below clip level.

2) Component tolerance dependent

3) Continuous power, one channel driven or peak power both channels driven
(Thermal protection may occur at high continuous power)

LAB.GRUPPEN



POWER AMPLIFIERS

fP 6400

KEY FEATURES:

2 x 1300 watts @ 8 Ω
2 x 2300 watts @ 4 Ω
2 x 3200 watts @ 2 Ω
(Measured just below clip level,
with both channels driven)

- ◆ **Light weight and compact:**
only 10 kg (22 lbs), 2U high
- ◆ **MLS™ Switch:**
Lab.gruppen's unique
power matching for
different loads

NEW FEATURES:

- ◆ Replaces the LAB 4000
- ◆ **Multiple positions gain switch**
- ◆ **Intercooler® cooling system with front-to-rear airflow and easily accessible dust filters**
- ◆ **Improved low-end power bandwidth**
- ◆ **Link connector with XLR-type connector**
- ◆ **Extruded front panel for increased stability**
- ◆ **Bridged mono outputs in one SpeakOn connector**

The fP 6400 is a lightweight and space-saving power amplifier, ideal for use in high quality touring sound systems as well as in demanding permanent installations.

Heat and cooling are fundamental problems in extreme high power amplifiers such as the fP 6400. Already in 1990, Lab.gruppen patented a high efficiency amplifier, in fact an evolution of the Class D amplifier. Lab.gruppen therefore call it Class TD. It obtains the same high efficiency as Class D, but avoids its drawbacks. Class D has a power-amplifier topology using Pulse Width Modulation (PWM) to achieve high efficiency, but it needs a recovery filter between the output stage and the loudspeaker. Lab.gruppen's Class TD amplifiers do not need this filter and this is one reason why the Lab.gruppen Class TD obtains the same sonic quality as a traditional Class AB amplifier.

Besides the traditionally superb Lab.gruppen sonic performance, fP6400 offers a full line of important features:

Regulated switch mode power supply

Today there are many lightweight, switch-mode amplifiers in the market. However, the unique Lab.gruppen switch-mode power supply technology offers a number of essential advantages that make it superior to other and seemingly similar power supply designs. The most important features are the regulated power supply and the extreme power efficiency. The regulated power supply easily deals with a very high variation in the AC mains voltage: it can drop by up to 20% below its nominal level – e.g. to 180 V instead of 230 V – without any problem. Perhaps even greater benefits result from the extreme efficiency of Lab.gruppen amplifiers: only a fraction of the energy from the AC mains is turned into heat.

A regulated power supply also presents some other sonic advantages, such as better cone control and the same fast response as a conventional power supply.

Multiple positions Gain switch

To meet the demands for a flexible gain structure in the system, Lab.gruppen offers a multiple position gain switch. The maximum amplifier gain can be set to all industry standards: 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38 and 41 dB.

Sophisticated protection circuitry, combining:

- **DC protection;** protects against infrasonic signals
- **VHF protection;** protects the loudspeakers against strong very high frequency non-musical signals above the audible range.
- **Thermal protection;** prevents the amplifier from being overheated. The protection indicators on the front panel are switched on, as a warning, before the protection process is initiated.
- **AC protection;** shuts down the power supply if the line voltage is outside the operating voltage.
- **Clip limiter;** prevents severely clipped waveforms from reaching the loudspeakers, whilst maintaining full peak power.

SPECIFICATIONS *fp 6400*

MAX OUTPUT POWER ¹⁾

EIA at 1 kHz and 1% THD

	-5 dB	-4 dB	-2 dB	0 dB Full	FTC 20-20kHz @0.1%THD 0 dB Full
MLS switch	220 W	260 W	410 W	650 W	640 W
16 Ω per channel	430 W	520 W	820 W	1300 W	1280 W
8 Ω per channel	830 W	1000 W	1600 W	2300 W	2200 W
4 Ω per channel	1660 W	2000 W	2400, 3050 ^{3)W}	2900 ²⁾ , 3200 ^{3)W}	2500 W
2 Ω per channel	860 W	1040 W	1640 W	2600 W	2500 W
16 Ω bridged	1660 W	2000 W	3200 W	4600 W	4400 W
8 Ω bridged	3400 W	4000 W	4800, 6100 ^{3)W}	5800 ²⁾ , 6400 ^{3)W}	5000 W
4 Ω bridged					

Max output voltage

8 ohms load	62 Vrms	70 Vrms	85 Vrms	104 Vrms
Peak voltage, no load	88 V	101 V	121 V	149 V

Distortion etc.

THD 20Hz-20kHz and 1W to full power	0,1 %
THD @ 1kHz and -1dB under clip	0,04 %
DIM 30 at -3dB under clip	0,06 %

Hum and Noise

Channel separation @10kHz	<-110 dB
Output impedance	70 dB
Slew Rate	60 mΩ
	20 V/μs

Inputs

Gain, selectable [dB]	20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41
Impedance	20 kohm
Common mode rejection	50 dB

Front Panel

Gain controls	(2) channel A, B	31 pos detent
Clip Indicator	(2) red LEDs	
Output headroom indicators	(10) green LED's	Fast peak -slow release
Temp Indicator	(2) yellow LEDs	80°C at heatsink
VHF indicator	(2) yellow LEDs	>12kHz at full power
On Indicator	(2) green LEDs	DC rail voltage for channel A and B
AC Indicator	(1) green LED	AC power present
AFS Indicator	(1) green LED	Fuse saver activated

Rear Panel

Input connectors	(2) Neutrik Combo XLR type, 3 pin & 1/4" jack
Link connector	(2) XLR type, 3 pin male
Output connectors	(2) Neutrik 4-pole Speakon connectors

Switches

Clip limiter A and B	On-Off (switchable)
MLS switch	0, -2, -4, -5dB
Link-switch	Ch.A-B

Power

	230 V version	115 V version
Operation voltage	130 V-265 V AC	65 V - 135 V AC
Minimum start voltage	175 V	95 V AC
Full output power at 4ohms	180 V-265 V AC	90 V - 130 V AC
Peak inrush current (Soft start limited)	5 A	5 A

Current Draw @ 4ohms&230V

Quiescent power (no load)	1 Arms	2 Arms
1/8 of full power (-9dB)	6 Arms	12 Arms
1/3 of full power (-5dB)	14 Arms	28 Arms
At full power (0 dB) @1 kHz 1% THD	20 Arms (AFS limited)	40 Arms (AFS limited)

Net Dimensions mm (inch)

483 (19") W x 88 (3,5") H x 347 (13,7") D

Shipping Dimensions mm (inch)

560 (22") W x 180 (7.1") H x 500 (19.7") D

Net Weight

10 kg (22lbs)

Shipping Weight

11.6 kg (25.6lbs)

Approvals

CE	Emission	EN 55 103-1, E3
	Immunity	EN 55 103-2, E3, with S/N below 1% at normal operation level
	Safety	EN 60 065, class I

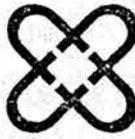
1) Specifications measured with 230 VAC

2) Component tolerance dependent

4) Normal operation level 1/8 of full power or -9dB below clip level.⁴⁾

3) Continuous power, one channel driven or peak power both channels driven

(Thermal protection may occur at high continuous power)

 **CREST
AUDIO**

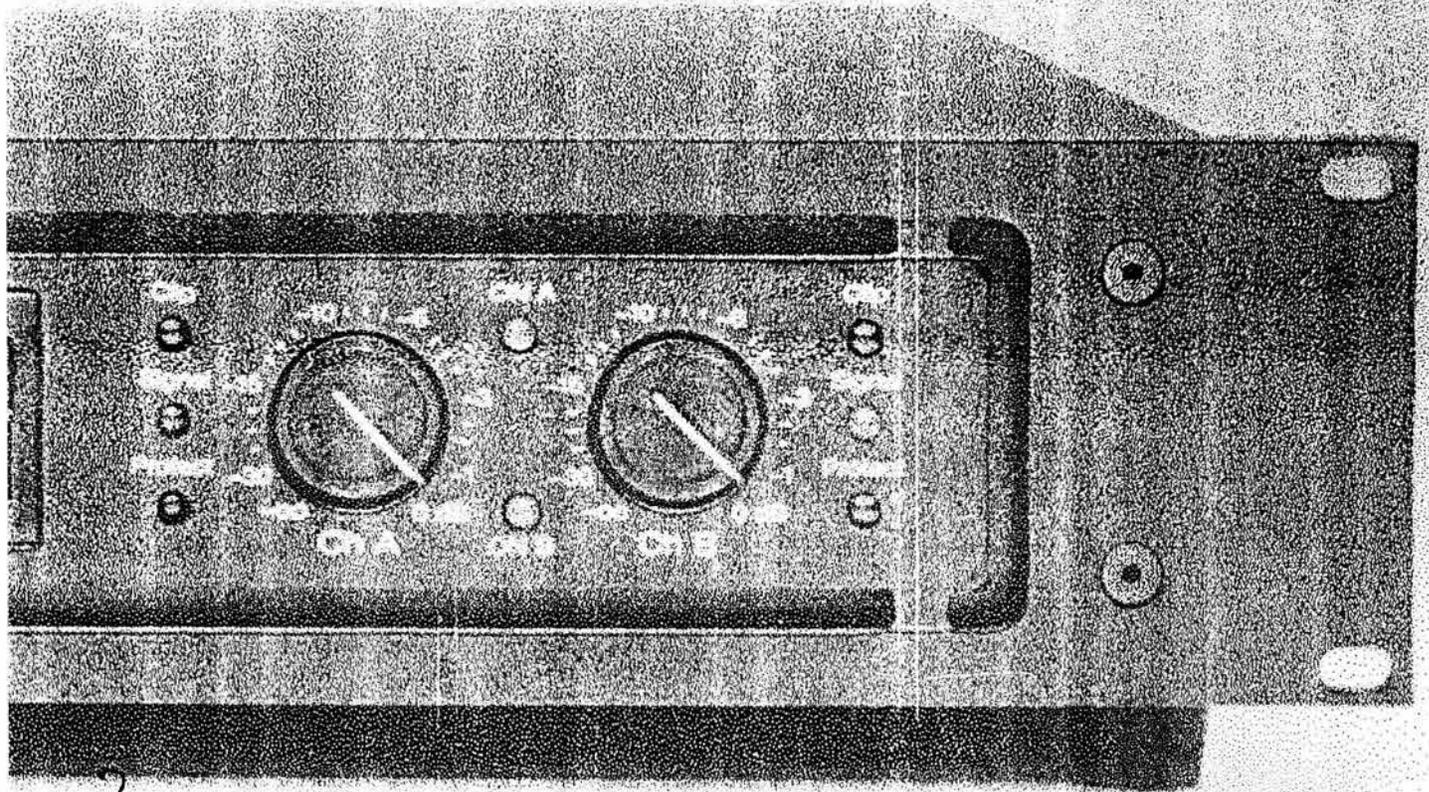
FA
SERIES

FA 601

FA 901

FA 1201

FA 2401



OWNER'S MANUAL

9. FA SERIES SPECIFICATIONS

Specification	FA601	FA901
Max. RMS Voltage Swing	±40V	±49V
Max. Peak Voltage Swing	±59V	±69V
Max. Rated Power/Ch., 8Ω FTC/EIA	120/150 W	225/280 W
Max. Rated Power/Ch., 4Ω FTC/EIA	225/275 W	300/350 W
Max. Rated Power/Ch., 2Ω FTC/EIA	not recommended	400 ¹ /440 ² W
Max. Rated Bridged Power, 8Ω FTC/EIA	400/550 W	600/750 W
Max. Rated Bridged Power, 4Ω FTC/EIA	not recommended	800/875 W
Frequency Response	20 Hz–20 kHz; +0, -.5 dB @ 200 W	20 Hz–20 kHz; +0 -.5 dB @ 300 W
THD into 4Ω @ 1 kHz	<0.025% @ 200 W	<0.025% @ 300 W
SMPTE IMD 60 Hz & 7 Hz, 8Ω	<0.015% @ 150 W	<0.015% @ 225 W
Slew Rate	>14 V/microsecond	
Damping Factor	250:1, 1 kHz @ 8 ohms	500:1, 1 kHz @ 8 ohms
Input CMRR	greater than 90 dB	
Voltage Gain	40X (+32 dB) standard, others available on request	55X (+35 dB) standard, others available on request
Input Sensitivity	.775 V (0 dBv) for full power at 8 ohms	
Input Impedance	20 kΩ, balanced	
Hum and Noise	-103.7 dB, A weighted	
Connectors (per channel)	female XLR input, Octal send/return socket, 5-way output binding posts, input and output barrier strips	
Power Supply	540 VA power trans- former, 20,000 μF filter capacitance	1.3 kVA power trans- former, 29,200 μF filter capacitance
Max. Current Draw 120 VAC/240 VAC	10.0 A/5.0 A	20 A/10 A
Cooling	Variable-speed DC fan	
Switches, Controls, etc.	Front panel power switch/circuit breaker, 2 front panel attenuators, rear panel mode switch, signal ground lift jumper	
Indicators	1 "On", 2 Clip, 2 Signal, and 2 Protect LEDs	
Protection	High temperature, DC voltage, short circuit, turn-on/turn-off transient suppression, clip limiting, IGM™, subsonic filtering	
Construction	Single box chassis, 16 ga. steel with 0.187" aluminum front panel	
Dimensions	3.5" x 19" x 11.5" (8.9 x 48.3 x 29.2 cm)	3.5" x 19" x 14" (8.9 x 48.3 x 35.6 cm)
Gross Weight	33 lb (15.0 kg)	40 lb (18.1 kg)
Net Weight	28.5 lb (12.9 kg)	35.5 lb (16.1 kg)

Continuous sine wave bench power is limited by the current rating of the front panel circuit breaker.

Notes:

1. Subject to variation due to production tolerances.
2. EIA, 1 kHz, 0.05% THD, ±1 dB

FA Series Specifications (continued)

Specification	FA1201	FA2401
Max. RMS Voltage Swing	±59V	±59V
Max. Peak Voltage Swing	±83V	±83V
Max. Rated Power/Ch., 8Ω FTC/EIA	280/300 W	330/350 W
Max. Rated Power/Ch., 4Ω FTC/EIA	450/475 W	580/600 W
Max. Rated Power/Ch., 2Ω FTC/EIA	525 ¹ /680 ² W	600 ¹ /770 ² W
Max. Rated Bridged Power, 8Ω FTC/EIA	960/1000 W	1100/1200 W
Max. Rated Bridged Power, 4Ω FTC/EIA	1050/1050 W	1200/1200 W
Frequency Response	20 Hz–20 kHz; +0, -0.5 dB @ 450 W	20 Hz–20 kHz; +0, -0.5 dB @ 580 W
THD into 4Ω @ 1 kHz	<0.025% @ 450 W	<0.025% @ 580 W
SMPTE IMD 60 Hz & 7 Hz, 8Ω	<0.015% @ 280 W	<0.015% @ 330 W
Slew Rate	>14 V/microsecond	>35 V/microsecond
Damping Factor	500:1, 1 kHz @ 8 ohms	
Input CMRR	greater than 90 dB	
Voltage Gain	61X (+35.7 dB) standard, others available on request	66X (+36.4 dB) standard, others available on request
Input Sensitivity	.775 V (0 dBv) for full power at 8 ohms	
Input Impedance	20 kΩ, balanced	
Hum and Noise	-103.7 dB, A weighted	
Connectors (per channel)	Female XLR input, Octal send/return socket, 5-way output binding posts, input and output barrier strips	
Power Supply	1.7 kVA power transformer, 40,800 μF filter capacitance	two 1.7 kVA power transformers; 54,400 μF filter capacitance
Max. Current Draw 120 VAC/240 VAC	20 A/10 A	20 A/10 A
Cooling	Variable-speed DC fan	
Switches, Controls, etc.	1 Front panel power switch/circuit breaker 2 front panel attenuators, rear panel mode switch, signal ground lift jumper	2 Front panel power switch/circuit breakers
Indicators	1 "On" LED 2 Clip, 2 Signal, and 2 Protect LEDs	2 "On" LEDs
Protection	High temperature, DC voltage, short circuit, turn-on/turn-off transient suppression, clip limiting, IGM™, subsonic filtering	
Construction	Single box chassis, 16 ga. steel with 0.187" aluminum front panel	Single box chassis, 14 ga. steel with 0.187" aluminum front panel
Dimensions	3.5" x 19" x 14" (8.9 x 48.3 x 35.6 cm)	3.5" x 19" x 16.5" (8.9 x 48.3 x 41.9 cm)
Gross Weight	42 lb (19.1 kg)	61 lb (27.7 kg)
Net Weight	37 lb (16.8 kg)	56.5 lb (25.6 kg)

Continuous sine wave bench power is limited by the current rating of the front panel circuit breaker.

Notes:

1. Subject to variation due to production tolerances.
2. EIA, 1 kHz, 0.05% THD, ±1 dB

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Proceso adiabático: Es cualquier proceso físico en el que magnitudes como la presión o el volumen se modifican sin una transferencia significativa de energía calorífica hacia el entorno o desde éste

Baypass: No existe pérdida de la señal.

Foldback: Salidas de buses dobles en una mezcladora.

Fader: Potenciómetro deslizable.

Talkback: Botón de comunicación al escenario.

Threshold: Umbral de compresión.

Flanging: Efecto de audio.

Crossovers: Filtro pasivo que direcciona las frecuencias en bajas medias y altas esencialmente.

Headroom: Es la diferencia entre el más alto nivel presente en una señal y el máximo nivel de audio que puede manejarse sin crear distorsión.

Clpear: Es el momento en que la señal alcanza su saturación en un cierto tiempo.

Bass Reflex: Sistema de reflexión de graves, o también llamado de puerta abierta, se refiere al agujero que tiene la bocina o tubo que se adentra en la bocina.

RTA: Analizador de tiempo real.

Delayfinder: Equipo para visualizar el tiempo de atraso de la señal de audio.

Hot spots: Iluminación dirigida a un área específica.

Surround: Sistema de sonido envolvente.

Beamwidth: Ancho de haz vertical de las bocinas.

Cut-off: Corte rápido de la señal.

Prosenium: Marco límite del escenario y la sala de audiencia.

Splitters: Distribuidor de señal de audio utilizado en las consolas.

Cable UTP: Cable telefónico (Unshielded Twisted Pair), el cual está formado por 2 cables que están separados y a su vez torcidos.

DSP: Digital Signal Processor Procesador de señales digitales, CPU para propósito especial que se usa a fin de procesar señales digitales. Provee secuencias adicionales de instrucciones rápidas, como desplazar y agregar, multiplicar y sumar.

Procesamiento Digital de Señales: Categoría de técnicas que analizan señales provenientes de fuentes como voz, satélites, meteorológicos y monitores sísmicos. Las señales se convierten en datos digitales y se analizan empleando varios algoritmos, como la transformada rápida de Fourier.

Bibliografía

- Título: Sonido Profesional
Autor: Clemente Tribaldos
Editorial: Paraninfo
Segunda edición 1993 España Madrid Pp. 581
- Título: Sound Reinforcement Handbook
Autor: Gary Davis y Ralph Jones
Segunda edición 1990 USA Yamaha Pp.416
- Título: Señales y Sistemas
Autor: Alan V. Oppenheim, Alan S. Willsky
S. Hamid Navwab.
Editorial: Pearson educación Prentice Hall
Hispanoamericana 1998. Pp. 956.
- Título: Diseño de sistemas de sonorización.
Autor: Meyer Sound Inc.
Año 1997.
- Título: Amplificadores Operacionales y filtros Activos
Teoría proyectos y aplicaciones practicas
Autor: Antonio Pertence Junior
Editorial: Mc Graw Hill.
Primera edición 1991 España Pp. 295
- Título: Compendio Práctico de Acústica
Autor: Arq. José Pérez Miñana
Editorial: Labor S.A
Primera edición 1969 España Pp. 576
- Título: Electroacústica
Autor: M.A. Saposhkov
Editorial: Reverte S.A
Tercera edición 1983 España Pp. 273
- Título: Ingeniería de Sistemas Acústicos
Autor: Don y Carolyn Davis
Editorial: Marcombo
Primera edición 1983 España Pp. 548
- Título: Tecnología Básica del Sonido
Autor: Ignasi Cuenca David y Eduard Gómez Juan
Editorial: Paraninfo
Primera edición 1997 España Pp. 115

Direcciones de internet utilizadas en el trabajo de tesis

<u>www.eaw.com</u>	Fabricantes de altavoces y diseñadores de recintos acústicos.
<u>www.Labgruppen.com</u>	Fabricantes de amplificadores de audio.
<u>www.Lacoustic.com</u>	Diseñador de bocinas y del arreglo lineal.
<u>www.symetrixaudio.com</u>	Fabricantes de sistemas de megafonía, control automático de ganancia y procesadores.
<u>www.yamaha.com</u>	Fabricante de equipos de audio.
<u>www.crest.com</u>	Fabricante de amplificadores de audio.
<u>www.tascan</u>	Fabricante de mezcladoras, grabadoras de audio, reproductores de CD's , DAT's, etc.
<u>www.cobranet.com</u>	Compañía de diseño de sistemas de sonorización digitales