UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE SONORIZACIÓN PARA MÚSICA EN VIVO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

P R E S E N T A

ALVAREZ RAMÍREZ ISRAEL ALBERTO.

DIRECTOR DE TESIS:

ING. GUSTAVO SANTOS GUTIÉRREZ.

MÉXICO. D. F. **NOVIEMBRE DE 2007**

INDICE.

1. **Introducción.** 1

2. **El sistema de sonorización.** 3

2.1 Definición de un sistema de sonorización. 3
2.2 Elementos de un sistema básico de sonorización. 4
2.3 Elementos de un sistema de sonorización para aplicaciones reales. 5
2.4 Funcionamiento de un sistema de sonorización. 7
2.5 Sistema de sonorización para música en vivo. 8

2.5.1 P.A (publis address) Audio para el publico. 9
P.A en estereo (L y R). 9
Front fill. 10
Down filll 11
Arreglo de retraso (delay). 11

2.5.2 Sistema de monitores. 12
El monitor 12
Side fill 13
Ear monitor 13

3. **Sistema óptimo (ideal) vs sistema real.** 15

3.1 Mal desempeño de bajas frecuencias al aire libre 16
3.2 Retroalimentación. (Feedback o acople). 22
3.3 Mala respuesta en frecuencia. 26
3.4 Mal desempeño de sistemas de sonorización en recintos de largas distancias. 31
3.5 Presencia de ruido. 44
3.6 Valles acústicos. 46

4. **Herramientas empleadas para la optimización de sistemas de sonorización para música en vivo.** 55

4.1 El sonómetro. 55
4.2 Analizador de fase. 58
4.3 Analizador de tiempo real (RTA). 58
4.4 Smaartlive. 60
4.5 Sim System. 69
4.6 Maap en línea. 75

4.7 Interface. 79
4.8 Lake Contour. 82

5. **Metodología para la optimización de sistemas de sonorización para música en vivo.** 86

5.1 Diseño. 86

5.1.1 Definición del evento. 86
5.1.1.1 Tipo de música. 86
5.1.1.2 Tipo de evento. 86
5.1.1.3 Duración del evento. 87
5.1.1.4 Logística. 87
5.1.1.5 Necesidades técnicas. 87

5.1.2 Consideraciones. 87
5.1.2.1 Dimensiones físicas 87
5.1.2.2 Condiciones atmosféricas. 88
5.1.2.3 Construcción y zonas. 88

5.1.3 Obtención de las especificaciones de los elementos de nuestro sistema de sonorización. 89

5.1.4 Propuesta de sistemas. 89

5.1.5 Cuantificación del consumo de corriente del sistema de audio. 89

5.1.6 Definición del sistema específico a implementar. 89

5.2 Diagnostico y verificación del equipo a utilizar. 89

5.2.1 Diagnóstico de elementos individuales. 90

5.2.2 Estudiar los elementos del sistema. 90

5.3 Montaje. 90

5.3.1 Confiabilidad en el montaje. 90

5.3.2 Confiabilidad en conexiones y configuraciones. 91

5.3.2.1 Confiabilidad en conexiones. 91

5.3.2.2 Confiabilidad en configuraciones. 91

5.3.3 Polarización del sistema. 91

5.3.4 Aplicación de adecuadas técnicas de microfoneo. 92

5.4 Ajuste del sistema. 92
5.5 Operación. 94

5.5.1 Line check. 94
5.5.2 Sound check. 94

5.5.2.1 Ajuste del nivel de entrada de las señales. 94
5.5.2.2 Asignación de la señal a trabajar. 95
5.5.2.3 Ajuste de nivel de salida. 95
5.5.2.4 Activación del filtro low cut o paso altas. 95
5.5.2.5 Paneo de señales. 95
5.5.2.6 Ecualización. 96
5.5.2.7 Ajuste de periféricos. 96
5.5.2.8 Mezcla. 96

6. **Diseño y optimización de un sistema real.** 98

6.1 Diseño. 98

6.1.1 Definición del evento. 98
6.1.1.1 Tipo de música. 98
6.1.1.2 Tipo de evento. 98
6.1.1.3 Duración del evento. 99
6.1.1.4 Logística. 99
6.1.1.5 Necesidades técnicas. 100

6.1.2 Consideraciones. 101
6.1.2.1 Dimensiones físicas. 101
6.1.2.2 Condiciones atmosféricas. 101
6.1.2.3 Construcción y zonas (del recinto únicamente). 102

6.1.3 Obtención de especificaciones de los elementos de nuestro sistema de sonorización. 103

6.1.4 Propuesta de sistemas 104
6.1.4.1 Equipo electrónico y sistema de bocinas. 105
6.1.4.2 Propuesta de diferentes clusters o arreglos. 108

6.1.5 Cuantificación del consumo de corriente del sistema a implementar. 114

6.2 Diagnóstico y verificación del equipo a utilizar. 115

6.3 Montaje. 119

6.3.1 Confiabilidad en el montaje. 119

6.3.2 Confiabilidad en conexiones y configuraciones. 122
6.3.2.1 Confiabilidad en conexiones. 122
6.3.2.2 Confiabilidad en configuraciones. 123

6.3.3 Polarización del sistema. 125

6.3.4 Aplicación de adecuadas técnicas de microfoneo. 125

6.4 Ajuste del sistema. 126

6.5 Line check. 152

6.6 Sound check y operación. 152

7. **Conclusiones.** 153

Anexos: (contenidos en C.D adicional). 156

I. Conceptos, parámetros y propiedades básicas en sonorización

II. Principios acústicos y fenómenos sonoros.

III. Elementos del sistema de sonorización para música en vivo.

IV. Anexo de especificaciones técnicas.

V. Anexo de fórmulas.

Glosario. 157

Bibliografía. 160

1. INTRODUCCIÓN.

La música se ha considerado como una de las máximas formas de expresión que tiene el hombre hacia los demás y con el paso del tiempo ha surgido la necesidad de hacerlo a un mayor número de personas en las condiciones y escenarios más diversos; es ahí donde surge lo que hoy llamamos “sonorización”.

La sonorización puede ser definida de la siguiente manera:

La “sonorización” es la acción de lograr satisfacer auditivamente a un público y/o recinto, haciendo llegar un mensaje (en este caso música) mediante la implantación de sistemas de refuerzo sonoro, de tal manera que el sonido resultante mantenga las propiedades del original, además de un nivel sonoro adecuado.

Un sistema de refuerzo sonoro se puede definir como un conjunto de elementos que interactúan entre sí para realizar una tarea específica; esta tarea es llevar la fuente sonora (o fuentes) a los oídos de una audiencia, en forma agradable y efectiva.

Dentro de la industria de la sonorización en México el desarrollo de la misma ha creado la necesidad de profesionalizar los procesos y acciones para el diseño, mantenimiento y operación de los sistemas, ya que con el avance de la tecnología, las características de los equipos y las mayores exigencias, han surgido problemas muy específicos, los cuales debe ser abordados desde una perspectiva de ingeniería teniendo que hacer uso de conocimientos sobre audio, electrónica, física, mecánica, acústica, etc., así como también mediante experimentación y cuantificación utilizando herramientas computacionales y software.

Los elementos básicos involucrados en un sistema de refuerzo sonoro son los siguientes:

- Fuentes de audio
- Transductores de entrada
- Procesadores de audio
- Transductores de salida
- Cables y conectores

Es decir, es necesaria una cadena de audio para lograr nuestro objetivo.

Dentro del ambiente de la sonorización hay una frase que dice “cada sistema de sonorización en tan bueno como el peor de sus elementos” o sea que cada uno de los elementos tiene una gran importancia dentro de la cadena de audio y si alguno de ellos no cumple individualmente su objetivo de manera óptima, el sistema completo jamás lo logrará, y es ahí donde surge el enfoque de esta tesis ya que así como cada elemento es fundamental para lograr un buen sistema de audio, es también fundamental contar con una preparación adecuada en todos los aspectos relacionados con la sonorizaron para lograr los resultados esperados.

Es preciso señalar que esta tesis se encuentra enfocada principalmente a las personas que tienen como entorno de trabajo los sistemas de sonorización, aunque no por ello sea inaccesible a aquellas que comienzan a interesarse en este medio.

Es por ello que se incluyen unos anexos adicionales que contienen los principios básicos de acústica, audio y sonorización para comprender los capítulos de análisis, diseño, cuantificación y optimización de los sistemas de refuerzo sonoro que se presentan posteriormente.

Esta tesis se ha elaborado con la intención de ser una herramienta de apoyo en el diseño, operación y mantenimiento de sistemas sonoros, que conlleve a mejorar el desempeño de los equipos y sistemas mediante el aprovechamiento de todas las herramientas y recursos disponibles, además de establecer una metodología de ajuste de dichos sistemas.

Los principales objetivos planteados para cumplirse al término de esta tesis son los siguientes:

Mostrar la importancia y el papel a desempeñar del ingeniero en el diseño y optimización de sistemas de sonorización para música en vivo, así como en su servicio y mantenimiento;

explicar los conceptos básicos de acústica a través de un análisis objetivo que nos permita comprender las principales características y fenómenos;

comparar el funcionamiento de un sistema de sonorización óptimo o ideal con un sistema real cualquiera, a fin de poder identificar las diferencias y/o problemas a considerar;

conocer el principio de funcionamiento de un sistema de sonorización, así como el de cada uno de sus elementos a fin de obtener el mayor aprovechamiento de los recursos;

sintetizar, interpretar y aprovechar las especificaciones técnicas, cuantificaciones, ajuste de parámetros y pruebas del equipo, a fin de proponer soluciones prácticas y objetivas a los problemas detectados;

obtener un criterio para lograr minimizar la influencia negativa de los principales fenómenos, características y/o condiciones de trabajo;

conocer y hacer uso de las principales herramientas de medición, cuantificación, cómputo y software para corregir problemas específicos y/o mejorar el desempeño de los sistemas sonoros;

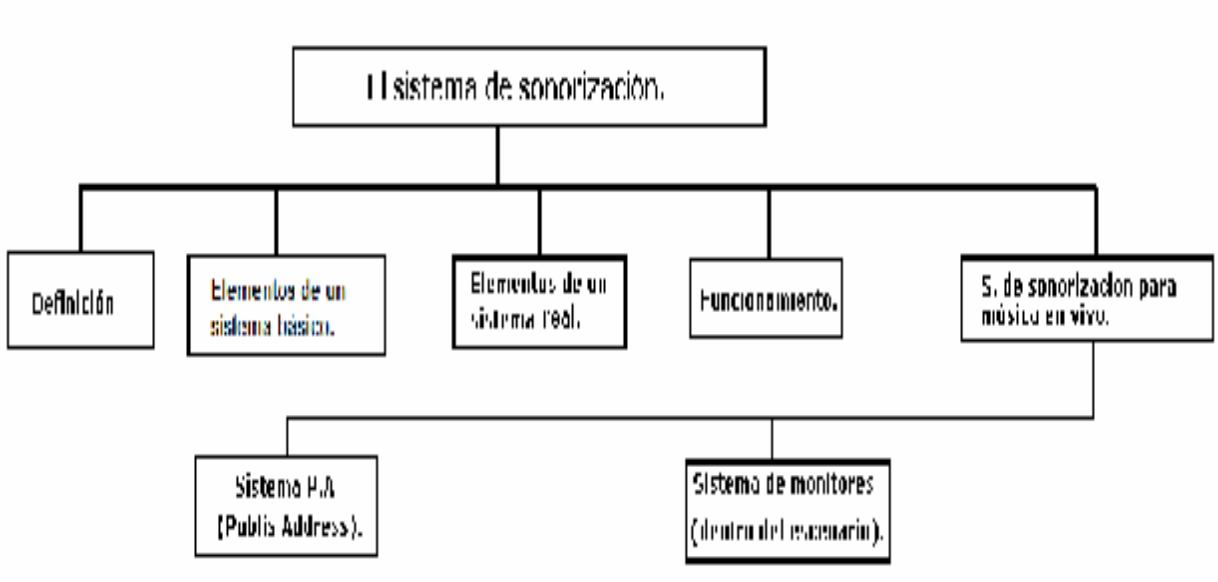
establecer una metodología para determinar las fallas o mal desempeño de los sistemas basada en todo nuestro análisis previo;

proponer un procedimiento para el ajuste del sistema sonoro una vez implementado a fin de optimizarlo, y

diseñar, implantar y optimizar un sistema real haciendo uso de todo lo estudiado en esta tesis (incluyendo la metodología establecida), indicando detalladamente los resultados y acciones realizadas en cada etapa.

2. EL SISTEMA DE SONORIZACIÓN.

Organigrama de los temas a tratar durante el capítulo 2 “El sistema de sonorización”.



2.1 Definición de un sistema de sonorización.

El sistema de sonorización surge como respuesta a la necesidad de poder hacer llegar un mensaje a una audiencia donde resulta insuficiente la fuente sonora original.
Ejemplos de fuentes sonoras que necesitan de un sistema de sonorización son:

La voz.
Muy común en conferencias, exposiciones, centros comerciales, aeropuertos o eventos deportivos.

Instrumentos musicales.
En eventos artísticos, demostraciones de marcas fabricantes, clases de música y conciertos.

Fuentes sonoras electrónicas.
Para la reproducción de música grabada (CD, casette, minidisc, tornamesa y reproductor MP3.), anuncios publicitarios, ambientaciones (teatro, iglesias, etc.).

En general, podemos decir que el propósito principal de un sistema de sonorización o sistema de refuerzo sonoro es amplificar los sonidos de nuestras fuentes sonoras, de tal forma que nos permita transmitirlos a una audiencia de manera efectiva y agradable.

Comúnmente en un sistema de refuerzo sonoro se espera que a su salida tengamos como resultado una copia fiel de la señal o señales de entrada y que únicamente varíe en magnitud.

Algunas de las características que idealmente se requieren en nuestro sistema sonoro son:

- Inteligibilidad. Es la cualidad del sonido que nos permite comprender y escuchar claramente el mensaje o información sonora (voz, instrumentos o música.).

- Presencia. Esta cualidad expresa la sensación de cercanía de una fuente sonora, y permite que dicho sonido sobresalga del ambiente en que se encuentra.

- Balance tonal. Se refiere a conservar la proporción en las amplitudes del rango o gama de frecuencias naturales de las fuentes sonoras producidas por nuestro sistema.

- Ausencia de ruido. Se desea la ausencia de información sonora que altera las propiedades de nuestra señal a difundir.

2.2 Elementos de un sistema básico de sonorización.

Un sistema de sonorización básico se puede representar por 3 bloques
(Ver figura 1).

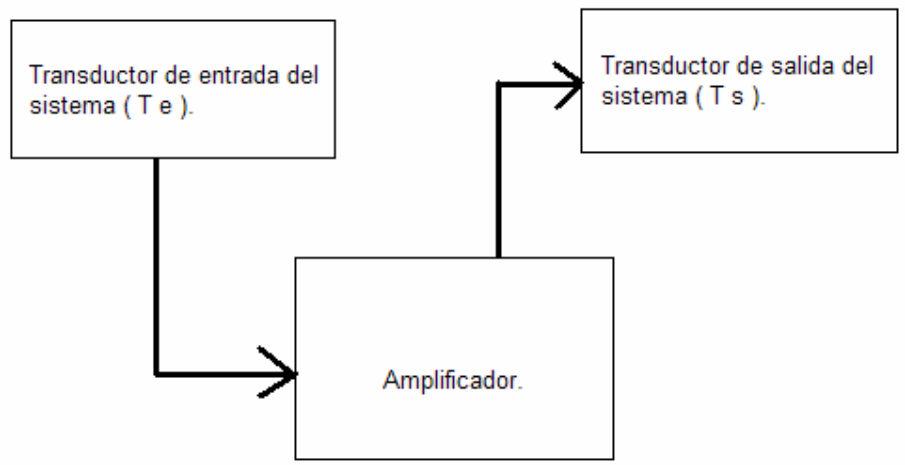


Figura 1. Bloques de un sistema básico de refuerzo sonoro.

Transductor.

Se define como transductor al dispositivo que tiene la propiedad de cambiar de un tipo de energía a otro.

Dentro de la sonorización, los transductores de nuestro interés son lo que convierten energía acústica en energía eléctrica y energía eléctrica en energía acústica.

La forma en que estos tipos de energía se presentan en nuestros sistemas son:

- La energía acústica se presenta mediante las ondas sonoras generadas por nuestra fuente o por el sonido reproducido por los altavoces de nuestro sistema.
- La energía eléctrica se manifiesta mediante las señales de audio proporcionadas por los micrófonos o las señales que alimentan a los altavoces.

Es decir, el transductor de entrada es el micrófono, el cual convierte la energía acústica (ondas sonoras) en energía eléctrica (señales de audio). El transductor de salida es el altavoz, el cual convierte la energía eléctrica (señal de audio) en energía acústica (ondas sonoras). Ver figura 2

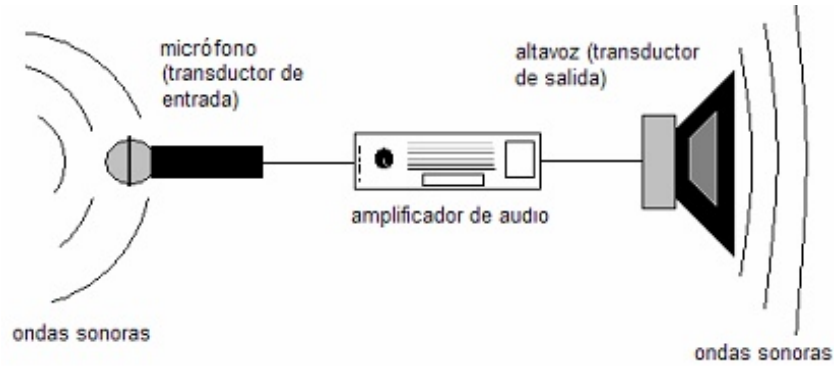


Figura 2.Diagrama de un sistema básico de sonorización.

Amplificador.

El amplificador es el dispositivo que básicamente transforma la señal de línea (entrada) en señal de high level (salida) de tal forma que pueda ser reproducida por los altavoces.

2.3 Elementos de un sistema de sonorización para aplicaciones reales.

En la figura 2 se muestran los elementos básicos para conformar un sistema de refuerzo sonoro, pero existen mas equipos que en la mayoría de los casos son necesarios para lograr cumplir con los requerimientos y condiciones de trabajo.

Considerando que se tienen las condiciones eléctricas adecuadas y los cables necesarios, los elementos que forman un sistema de refuerzo sonoro real son:

1. Fuentes de audio.

Son los elementos que generan los sonidos con los que trabajaremos a lo largo de la cadena de audio.

- Fuentes electrónicas (reproductor de CD, minidisc, Mp3, tornamesa, teclados, guitarras eléctricas, bajo eléctrico e inclusive ruidos.).
- Fuentes acústicas (instrumentos acústicos, voces y ruidos.).

2. Transductores de entrada.

Los transductores de entrada son los que nos permiten “captar” los sonidos de las fuentes de audio acústicas para convertirlos en fuentes de audio eléctricas y posteriormente acoplar a nuestro sistema (micrófonos).

3. Todo tipo de procesadores de audio.

- **Consolas y mezcladoras.** Equipo que tiene como objetivo principal mezclar y acondicionar las señales a trabajar en la cadena de audio.

- **Ecualizadores.** Equipo electrónico que tiene la finalidad de compensar y/o atenuar rangos de frecuencias dentro del espectro.

- **Crossover.** Este equipo tiene como finalidad dividir el espectro de frecuencias de tal forma que cada rango pueda ser reproducido por un altavoz adecuado para maximizar su rendimiento.

- **Amplificadores.** El objetivo de los amplificadores es hacer una copia de la señal de entrada conservando todas sus propiedades y amplificar su intensidad para poder ser reproducida por los altavoces.

4. Transductores de salida (Altavoces).

Son los transductores que nos permiten convertir la señal eléctrica final en energía acústica (ondas sonoras).

Existen muchos elementos más que pueden formar parte de un sistema de refuerzo sonoro, por ejemplo; compresores, compuertas, maximizadores y procesadores de efectos.

En la figura 3 se muestran los elementos que conforman un sistema de sonorización real (básico).

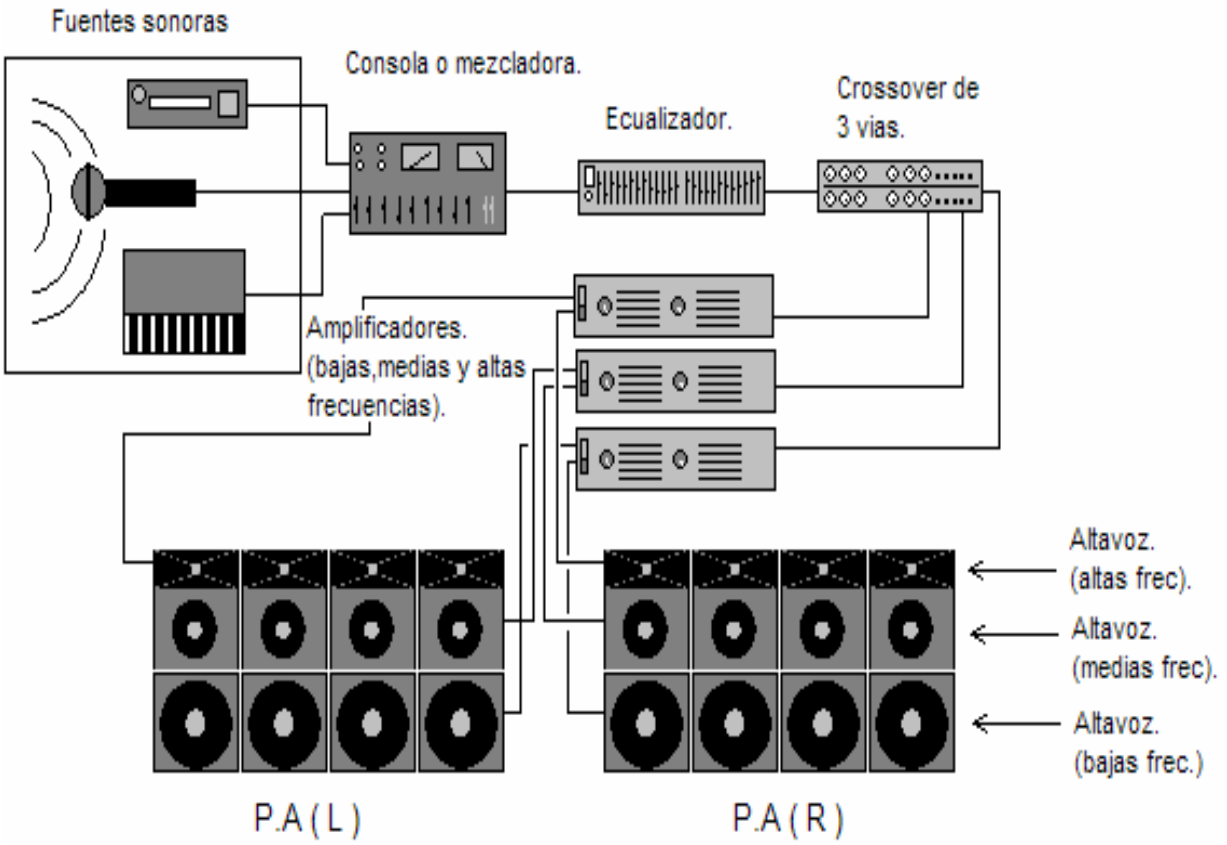


Figura 3. Elementos de un sistema de sonorización real.

2.4 Funcionamiento de un sistema de sonorización.

El funcionamiento del sistema de sonorización de la Figura 3 se describe de la siguiente forma:

Se tienen tres fuentes sonoras; una señal acústica que es convertida en señal eléctrica mediante el micrófono (transductor), un reproductor de CD (fuente electrónica), y un teclado (fuente electrónica).

Dichas señales llegan a la consola o mezcladora, y aunque esta tiene muchas otras funciones su objetivo principal es mezclar dichas señales y en este caso dar una sola señal de salida estereofónica (L y R).

Posteriormente esta señal entra al ecualizador y ahí pueden ser compensadas y/o atenuadas las frecuencias que se requieran dentro de nuestro rango, obteniendo con esto una nueva señal de salida.

Dicha señal entra al crossover y ahí es dividida en tres vías, es decir el espectro de frecuencias de nuestra señal es dividido en tres partes: frecuencias altas, frecuencias medias y frecuencias bajas, los puntos de división pueden ser los que el fabricante puso como predeterminados o pueden ser establecidos por el usuario. De esta etapa resultan tres señales de salida por cada canal (graves, medios y agudos).

Finalmente se tiene la etapa de amplificación, donde cada rango de frecuencias es amplificado en su magnitud de tal forma que puedan ser reproducidos por los altavoces de cada vía.

En la última etapa de nuestro sistema, los altavoces reciben las señales eléctricas finales proporcionadas por los amplificadores y son convertidas en energía acústica mediante las ondas sonoras generadas por ellos.

La forma en que percibimos las ondas sonoras de nuestro sistema es la siguiente:

Las ondas sonoras chocan con el oído y provoca una serie de movimientos en algunos mecanismos que lo conforman, que dan como resultado impulsos eléctricos que terminan en el cerebro y crea en nosotros la sensación de la audición.

Es decir; la finalidad del oído es muy similar a la de un micrófono, convirtiendo las ondas sonoras en señales eléctricas por lo que se puede afirmar que el oído funciona como transductor entre el sistema de sonorización y nosotros.

El oído descompone la onda compleja en sus componentes senoidales (Fourier), mandando esta información mediante impulsos eléctricos, al cerebro. De esta forma el proceso de audición se encarga de representar cada una de las frecuencias involucradas en los sonidos que recibe el oído (de 20hz a 20,000hz).

El oído también tiene limitaciones y particularidades, y el estudio de estas pueden resolver muchas de las principales dificultades que se presentan dentro de los sistemas de refuerzo sonoro.

2.5 Sistema de sonorización para música en vivo.

Debido a las diversas características, condiciones y necesidades existe una infinidad de aplicaciones para los sistemas de sonorización. Algunos ejemplos son:

- Para un orador en una iglesia.
- Dentro de una conferencia.
- En eventos publicitarios.
- En una discoteca.
- Para ambientar restaurantes.
- Para un concierto.

Es decir, puede existir un número indefinido de tipos de sistemas de sonorización debido a las aplicaciones particulares que se nos presentan.

A lo largo de esta tesis nos enfocaremos en los Sistemas de sonorización para música en vivo, y se dará una explicación general de ellos.

Los sistemas de sonorización para música en vivo tienen la función de transmitir un mensaje musical a la audiencia dentro de un recinto.

A continuación, se describen las principales características, tanto de las fuentes sonoras que deben ser transmitidas a la audiencia, como la forma en que los sistemas de sonorización se presentan para lograr su objetivo.

Fuentes sonoras a reproducir.

- Número de fuentes sonoras.

El número de fuentes sonoras con que trabajaremos en nuestro sistema depende del tipo de música que va a ser interpretado ya que puede ser desde una sola voz con un teclado que equivalen a dos señales o hasta una orquesta donde se pueden llegar a generar mas de ochenta señales (ver figura 4).

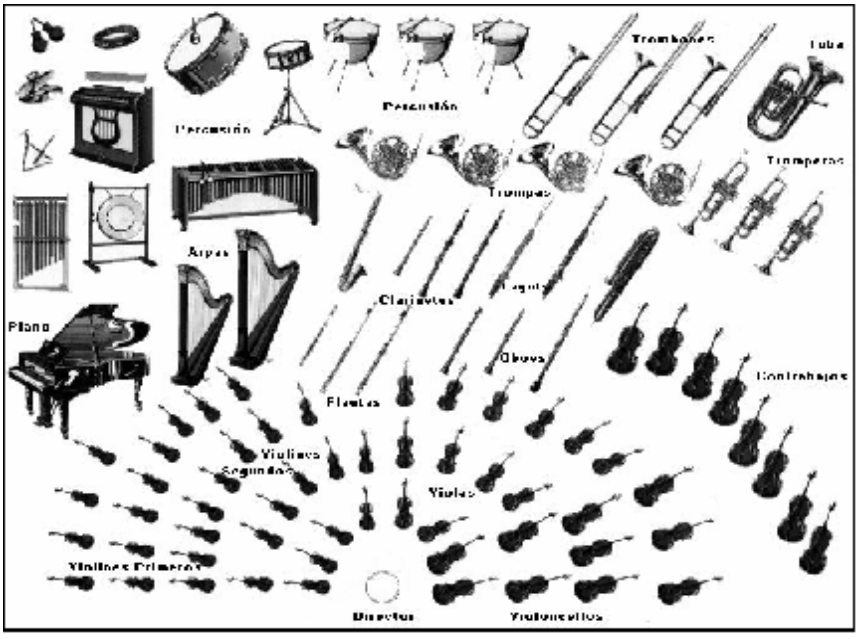


Figura 4. Fuentes sonoras de una orquesta.

- Tipo de fuentes sonoras.

Podemos tener fuentes acústicas y electrónicas simultáneamente debido al género de música, pero también existen estilos donde se requiere de un solo tipo, por ejemplo:

Con ambos tipos: grupo de rock (voces, batería acústica, teclado, guitarra eléctrica y bajo eléctrico).

Con fuentes acústicas: grupo de música prehispánica (tambores, flautas y voces.).

Con fuentes electrónicas: música electrónica (teclados, sintetizadores y secuencias).

- Fuentes sonoras monoaurales y estereofónicas.

Las fuentes sonoras pueden presentarse de manera monoaural; donde se requiere un solo canal para transportar la información, o estereofónica; donde se requieren dos canales para transportar la información debido a que en cada uno de ellos se transportan señales independientes provenientes del mismo instrumento. Los principales instrumentos que envían señales estereofónicas son; teclados, sintetizadores y algunas guitarras.

Los ***sistemas de sonorización para música en vivo*** van dirigidos básicamente a dos sectores:

- Al público que se encuentra dentro del recinto (P.A).

- A los músicos y voces que se encuentran sobre el escenario (Sistema de monitores).

A continuación se describen las configuraciones más comunes para ambos casos.

2.5.1 P.A (Publis Address) Audio para el publico.

El P.A es el arreglo o cluster de altavoces que tiene como objetivo hacer llegar el mensaje musical al público; su configuración y características dependen de las condiciones y necesidades.

La forma más común de afrontar esta necesidad es mediante la implantación de un sistema estereofónico.

P.A en estereo (L y R).

Consiste en establecer dos ubicaciones para los altavoces uno a la derecha y otro a la izquierda del escenario desde la perspectiva del público.

Esta configuración permite manejar de manera independiente las señales de cada lado, lo que dentro de la sonorización de música en vivo es de gran importancia, ya que podemos relacionar la imagen de la ubicación física de los instrumentos con la percepción de los sonidos, además de que nos permite generar “movimiento” en la música reproducida, por ejemplo; el paneo de los toms de la batería, congas y coros. En la figura 5 se muestra dicho sistema.

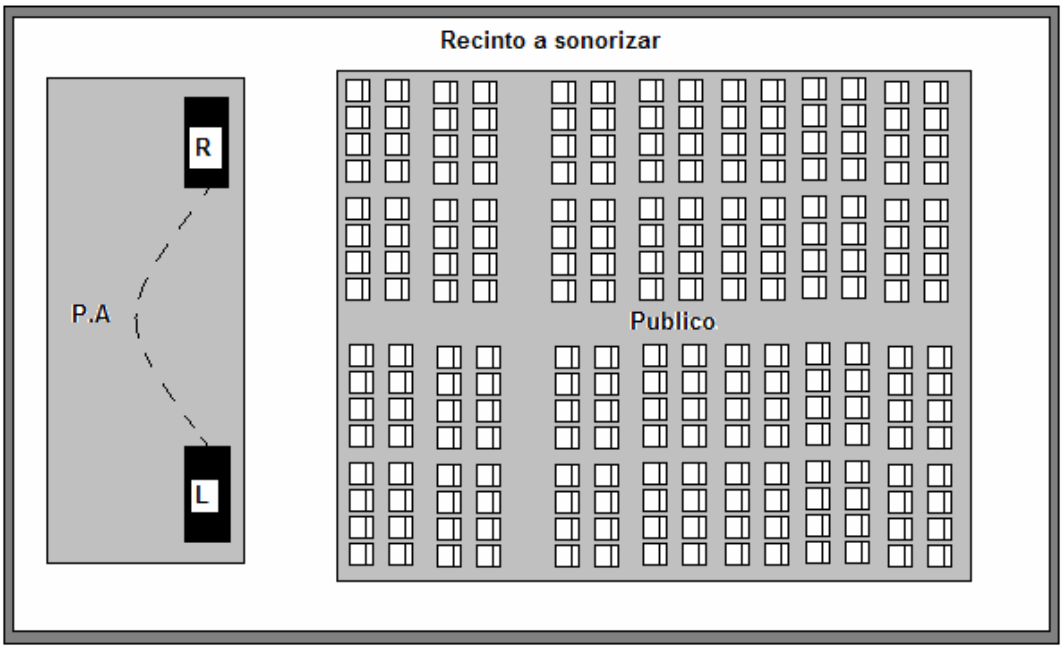


Figura 5. Configuración básica de P.A en estereo.

Front fill.

El front fill es un arreglo auxiliar que nos permite compensar la existencia de un "valle acústico" (ubicación física donde existe un SPL insuficiente), que generalmente se presenta enfrente y al centro del escenario debido a la insuficiente cobertura horizontal de nuestro P.A. (ver figura 6.)

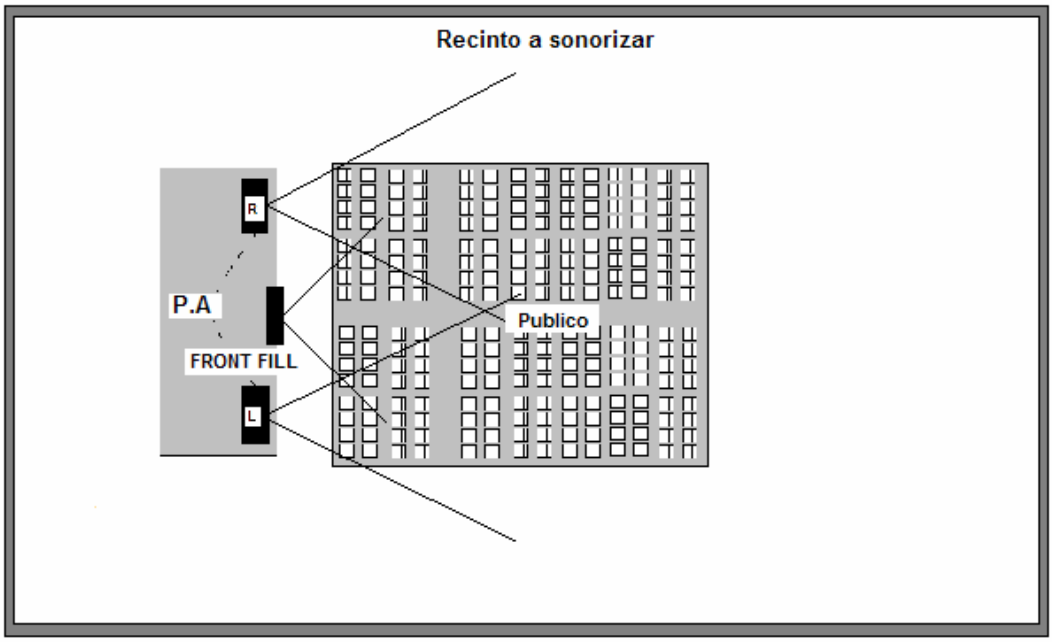


Figura 6. front fill.

En la figura 6 podemos observar claramente que el front fill debe tener básicamente dos características; la primera es que la señal reproducida debe ser retrasada debido a la diferencia de distancias entre el público de esta zona y el P.A y entre el público y el font fill (para evitar cancelaciones acústicas). Y la otra característica es que deben ser altavoces y/o arreglos para campo cercano (gran eficiencia de SPL a distancias cortas).

Down fill.

El down fill se define como el conjunto de altavoces que va colocado físicamente debajo del cluster principal o P.A , teniendo como objetivo cubrir acústicamente las deficiencias que se presentan en las primeras filas del recinto.

Arreglo de retraso (Delay).

Este arreglo generalmente es empleado en recintos de grandes profundidades donde la colocación de un sistema estereo es insuficiente debido a la ley del inverso cuadrado (relación entre distancia y nivel de presión sonora "SPL").

La figura 7 nos muestra de manera clara la aplicación de dicho arreglo.

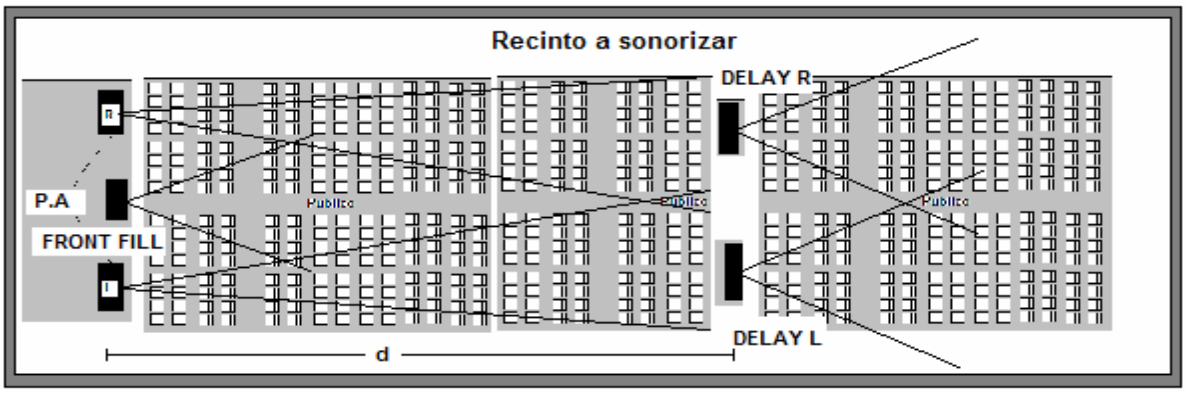


Figura 7. Arreglo de retraso (delay).

Sabemos que conforme nos vamos alejando del P.A el nivel de presión sonora va disminuyendo y debido a que en este caso es un recinto de gran profundidad se requerirá un segundo arreglo que nos permita compensar dichas perdidas, pero para que se pueda dar la suma de las ondas sonoras de ambos arreglos en la parte posterior deberán estar en fase, y si consideramos la distancia que existe entre ellas (d), se tendrá que retrasar la señal del segundo arreglo con respecto al P.A.

La forma en que podemos calcular el tiempo de retraso teniendo como dato la distancia entre P.A y el segundo arreglo (d), es mediante la siguiente formula:

$$t\,[s] = d\,[m] \;/\; v\,[m/s].$$

$$\mathbf{t\,[s] = (\,d\,[m] \,/\, 343\,[m/s]\,).}$$

t = Tiempo de retraso.
d = distancia entre P.A y delay.
v = velocidad del sonido. 343 [m/s].

Es importante mencionar que el surgimiento de los sistemas lineales de bocinas (line arrays) suplen en buen grado la necesidad de dicho arreglo complementario.

2.5.2 Sistema de monitores. (Sonorización para músicos y voces dentro del escenario).

El sistema de monitores tiene como fin sonorizar a los músicos y cantantes sobre el escenario y las dos formas básicas en que se puede lograr este objetivo son:

- Monitores (altavoces con mezclas independientes).
- Side fill (mezcla general).

Dependiendo de las condiciones, características y requerimientos se puede utilizar un tipo, el otro o ambos simultáneamente.

<u>El monitor.</u>

Consiste en un altavoz que tiene como fin dar como referencia musical una mezcla independiente y personalizada al músico o cantante que así lo requiera (Ver figura 8).

Mediante los monitores generalmente se pretende destacar la fuente sonora del músico en cuestión con respecto a la mezcla general.

El número de monitores necesarios puede ser muy variado debido al género musical que se interprete, y la ubicación de ellos está en función de las necesidades, condiciones y especificaciones.

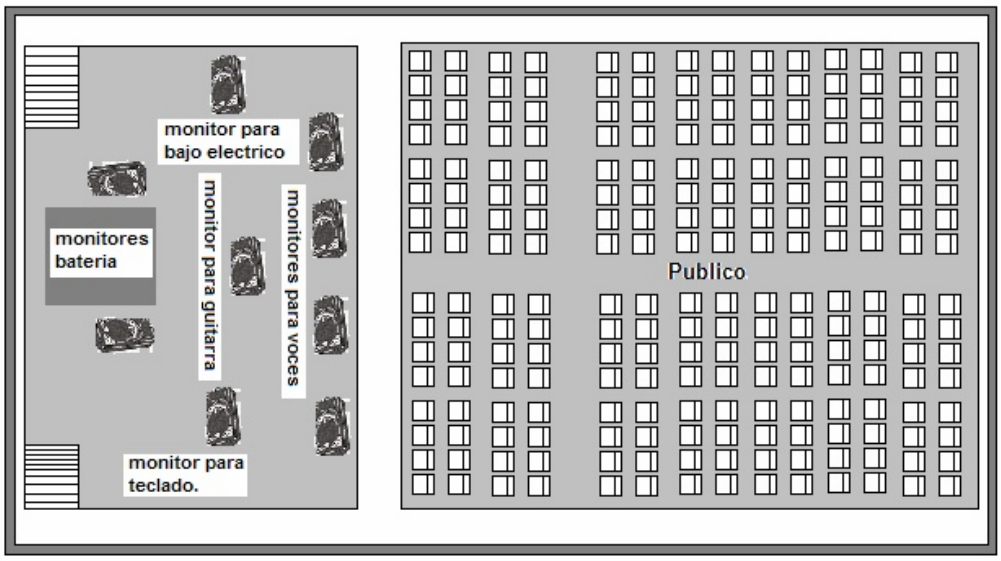


Figura 8. Monitores.

Side fill.

El Side fill consiste en un arreglo de dos ubicaciones, tanto a la derecha como a la izquierda de los músicos, el cual la mayoría de las veces reproduce una mezcla general que sirve como referencia clara de lo que esta ocurriendo en el P.A; y se muestra en la figura 9.

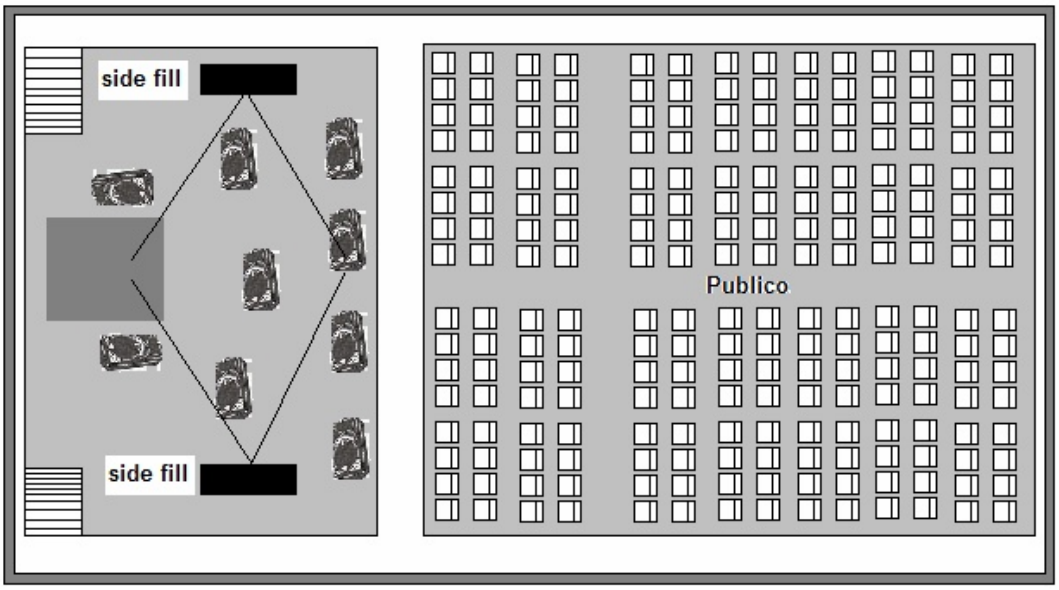


Figura 9. Side fill.

Es importante señalar que la sonorización para los músicos y cantantes (monitores y side fill) tienen como principales problemas; la mayor posibilidad de feedback, dificultad de aislamiento sonoro con respecto al P.A, y la limitada movilidad con respecto a la ubicación física de los altavoces (monitores). Por lo anterior surge como alternativa el *ear monitor*

Ear monitor. (Monitores personales).

El ear monitor es un tipo de audífono idealmente inalámbrico (ver figura 10) que fue diseñado para que los músicos tengan una referencia musical mediante una mezcla personal, además de ofrecer básicamente tres ventajas sobre los monitores comunes:

- Gran nivel de aislamiento. Permite un grado de aislamiento sonoro que permite que el músico escuche únicamente la mezcla requerida sin la interferencia de los sonidos existentes dentro del escenario.

- Minimiza totalmente las posibilidades de feedback. Esto es debido a que el ear monitor se encuentra físicamente dentro del oído del músico, y además cuenta con un aislamiento con respecto al exterior (donde se encuentran los micrófonos), por lo que es difícil imaginar la retroalimentación entre los dos elementos involucrados (ear monitor – micrófonos).

- Gran movilidad. Ya que no es necesario que el músico se encuentre físicamente enfrente de un monitor común para continuar escuchando su mezcla de referencia.

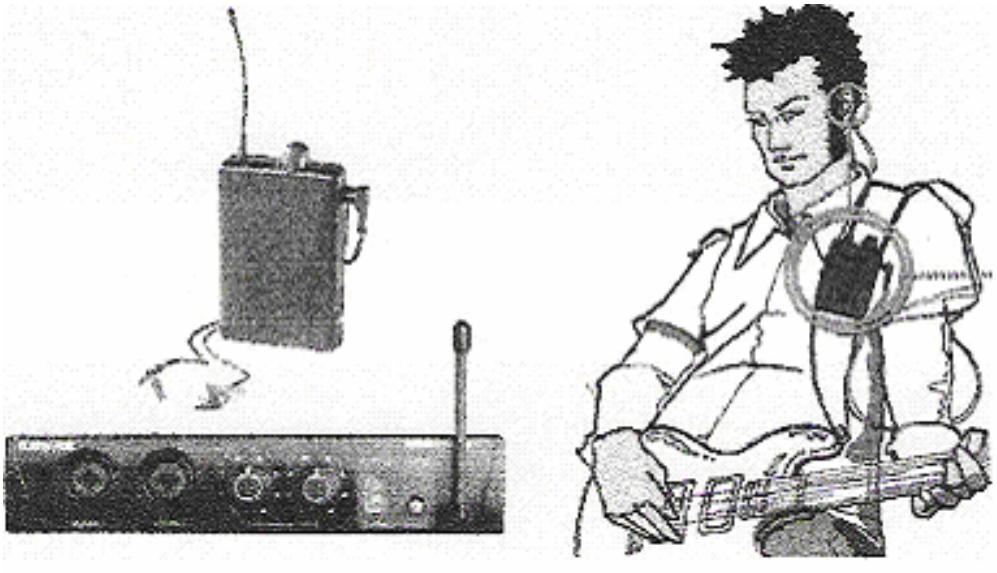
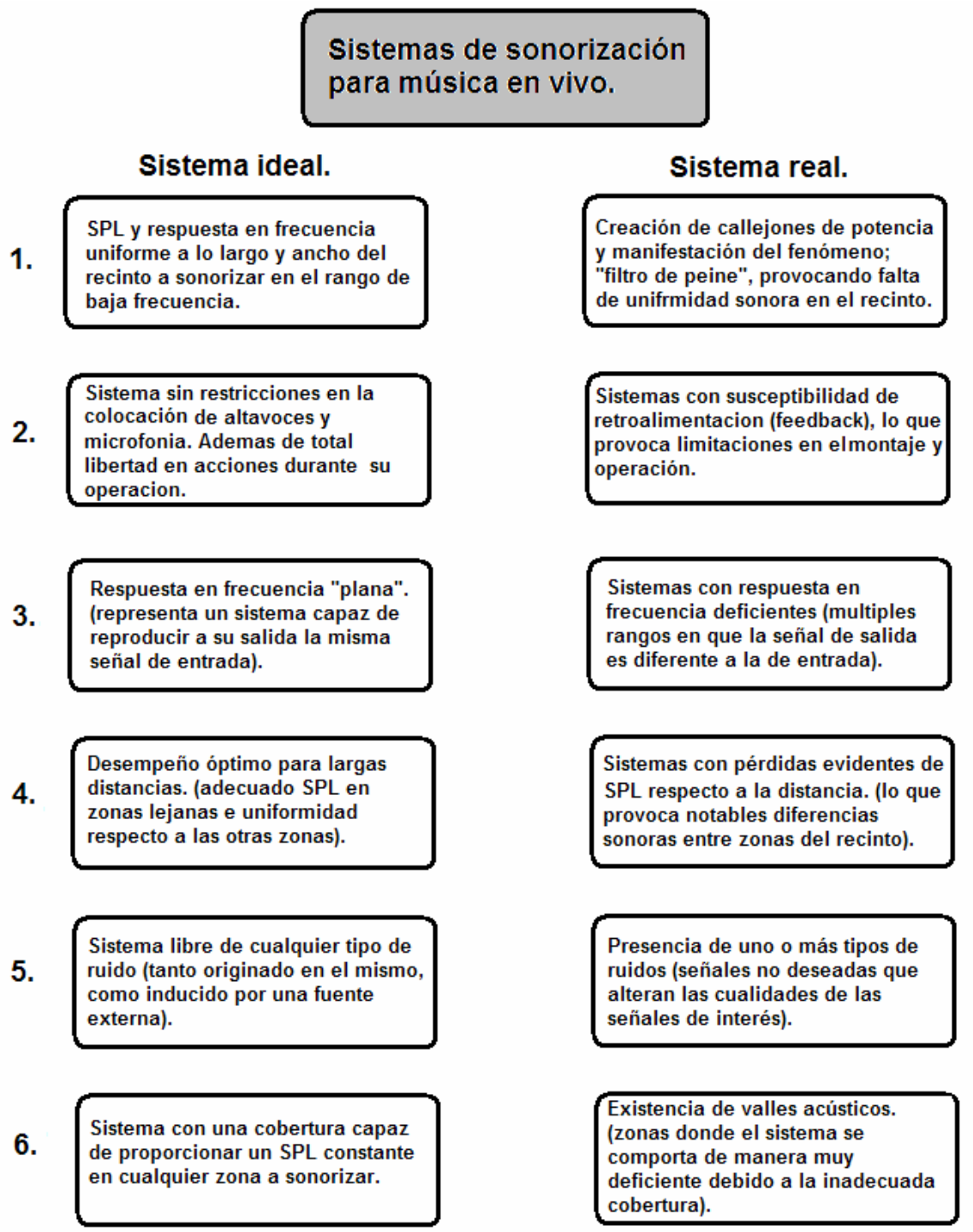


Figura 10. Ear monitor (Psm 200 shure).

3. SISTEMA ÓPTIMO (IDEAL) VS. SISTEMA REAL.

Hemos hablado de lograr sistemas de sonorización para música en vivo óptimos, y a continuación estudiaremos las principales dificultades y/o problemas que nos impiden lograr dicho fin y que se encuentran comúnmente en los sistemas reales de sonorización. Dichas limitaciones serán analizadas desde su origen y posteriormente se propondrán posibles acciones y/o métodos de solución.



3.1 Mal desempeño de bajas frecuencias al aire libre.

Es común que dentro de sistemas de sonorización en aplicaciones al aire libre el desempeño de los subwoofers no es satisfactorio, y muchas veces se culpa al modelo de dicho altavoz cuando en realidad el problema es originado por interferencia entre ellos (situados a ambos lados del escenario), formando un "callejón de potencia" donde se concentran las frecuencias bajas.

A continuación se dará una explicación que tiene como objetivo ayudarnos a formular posibles soluciones para dicha situación.

Planteamiento.

Si tenemos un sistema con bocinas colocadas a ambos lados del escenario, se producirán siempre interferencias entre ellas, asumiendo que ambas lleven la misma señal.

La razón es muy sencilla. Como vemos en la figura 11, cuando la distancia entre un punto específico y la ubicación del sistema es la misma, el sonido nos llega al mismo tiempo y la suma total es perfecta. A medida que nos alejamos de un lado y nos acercamos al otro, el sonido de uno de los lados nos llega antes que el otro.

Esta diferencia en tiempo de llegada produce efectos de "filtro peine".

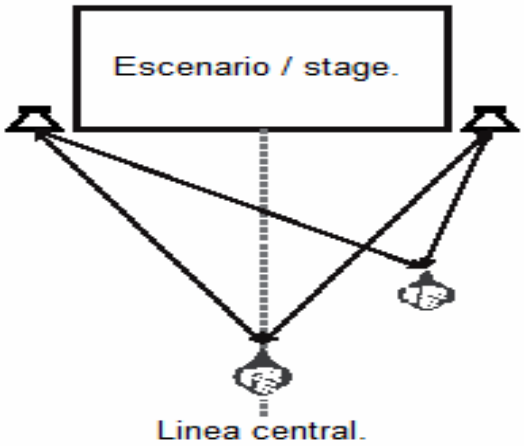


Figura 11. Distancias entre bocinas y una ubicación.

El filtro de peine

Al sumar dos señales retardadas entre sí tenemos el conocido efecto de filtro peine, que es debido a las interferencias destructivas entre la señales.

En la figura 12 vemos el resultado de sumar dos señales con una diferencia de tiempo entre ellas de 7 milisegundos, equivalente a 2.5 metros (8 pies).

El espaciado de los valles ("púas") va aumentando a medida que bajamos de frecuencia.

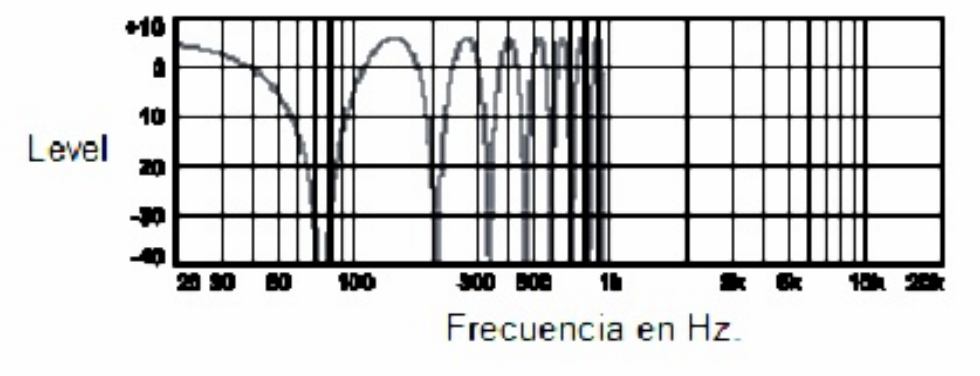


Fig. 12. Suma de dos señales distanciadas 7 ms a diferentes frecuencias.

La máxima cancelación se produce cuando la diferencia de tiempo de llegada es equivalente a 180 grados, de forma que esas frecuencias se anulan.

La audibilidad de los efectos de filtro peine, como cualquier irregularidad en la respuesta en frecuencia de un sistema, va en función del grosor del filtro. Puesto que en las frecuencias bajas la "púas" del peine son más anchas, los efectos de filtro peine son más audibles.

Limitaciones para su solución.

Los efectos de "filtro peine" son en la práctica imposibles de corregir con ecualización, puesto que en la parte baja de las "púas" la cancelación es absoluta. Sólo en la medida en que una señal sea mayor que la otra, el efecto de peine se aminorará.

Si la diferencia entre los tiempos de llegada fuera constante, retardaríamos un lado con un tiempo de delay y asunto arreglado. El problema surge del hecho de que en cada posición de escucha (excepto en la línea central), las señales llegan con un retardo de tiempo diferente la una con respecto a la otra, y el resultado de esto es que en cada posición de escucha (excepto en la línea central) las "púas" están en diferentes frecuencias, y la respuesta de frecuencia resultante es diferente.
Esta situación es menos importante en las frecuencias agudas y medias; por una parte, porque las "púas" de los peines son más estrechas y por tanto menos audibles. Por otra parte, porque las zonas que se crean son mucho más pequeñas.

En los bajos es posible caminar por las diferentes zonas de cancelación, mientras que las zonas de cancelación de los agudos pueden ser tan pequeñas que un oído puede estar en zona de cancelación y el otro no.

Por otra parte en frecuencias más altas, la mayor directividad de las fuentes hace que cuando nos desplazamos a un lado, tendamos a estar dentro de la cobertura de un lado del sistema y fuera de la del otro, así que el efecto de peine se reduce.

En frecuencias bajas, dadas las longitudes de ondas tan grandes (por ejemplo; 5 metros a 70 Hz), las zonas que se crean son enormes y como los sub-bajos son omnidireccionales por debajo de, pongamos, 150 Hz, toda la audiencia está dentro de la cobertura de ambos lados. Todos los tipos de sub-bajos producirán estos efectos de interferencia sea cual sea su configuración (radiación directa, trompeta plegada, etc.) y marca.

El resultado es el “callejón de potencia” (*power alley* en inglés), que describe el hecho de que sólo en la línea central de sistema derecha-izquierda tendremos unos bajos sin interferencias de peine.

Modelizaciones.

A continuación se presenta una serie de simulaciones electro-acústicas que revelan en forma gráfica el fenómeno. Estos mapas de predicción de interferencia equivalen de forma muy exacta a lo que sucede en el aire libre. Los lugares cerrados añaden el campo reverberante, que tiende a igualar las cosas entre las diversas posiciones de la sala, así como los modos acústicos, que van a crear otras zonas acústicas adicionales (las reflexiones de las paredes son sólo señales adicionales que llegan a tiempos diferentes).

En estas modelizaciones vamos a emplear arreglos de 6 cajas; tres abajo y tres encima de ellos (por cada lado), donde cada caja tiene en su interior dos bocinas de 18”.
Delante del escenario hemos modelizado un área de 60 m de ancho por 52 m de largo.

La figura 13 muestra la simulación de la reproducción de una frecuencia de 100 Hz. Se ha activado sólo un lado de los sub-bajos de manera que tenemos una expansión uniforme de la presión; que se parece bastante a la ley del cuadrado de la distancia. Lo que se considera normal.

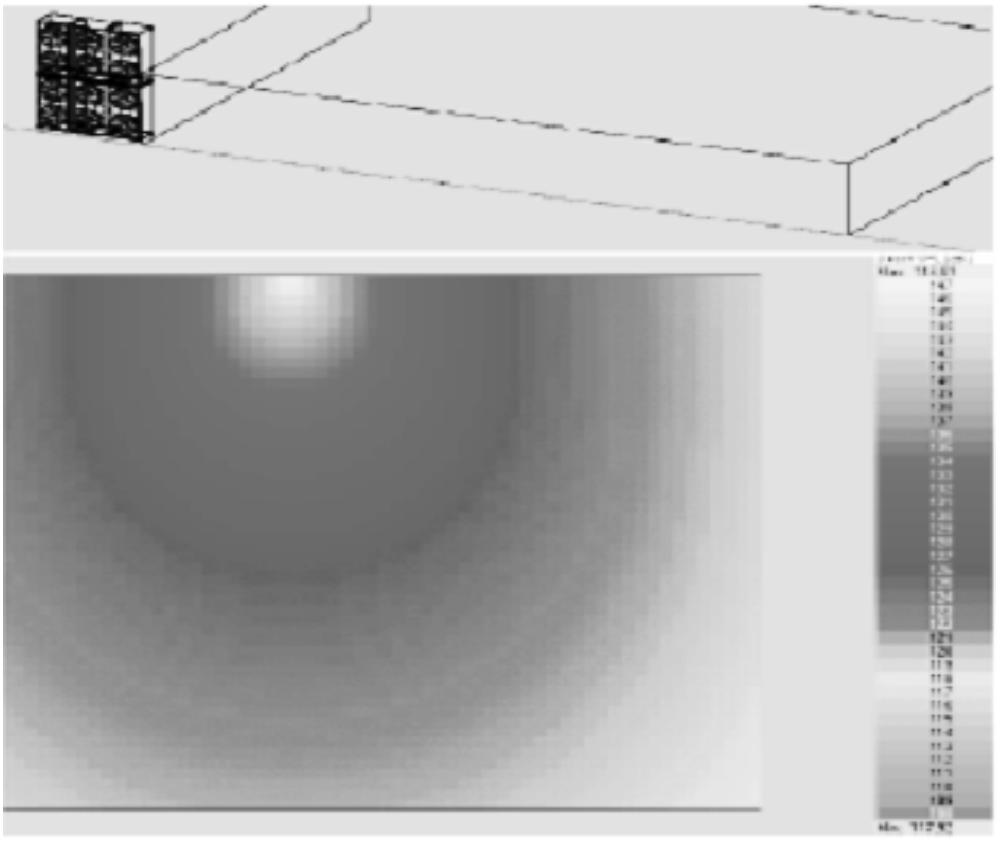


Figura 13. Un solo lado de subwoofers reproduciendo una frecuencia de 100Hz.

Los problemas empiezan cuando ambos lados de sub-bajos están encendidos. También a 100 Hz en la figura 14, podemos ver una deformación debida a la interacción entre torres formada por lóbulos de máxima presión en los que no hay gran diferencia de fase entre el lado izquierdo y el derecho. Las zonas intermedias entre los lóbulos corresponden a cancelaciones. Las lecturas de nivel nos muestran cómo las zonas de cancelación llegan a tener hasta –20 dB menos. Es decir, prácticamente nuestros 100 Hz han desaparecido.

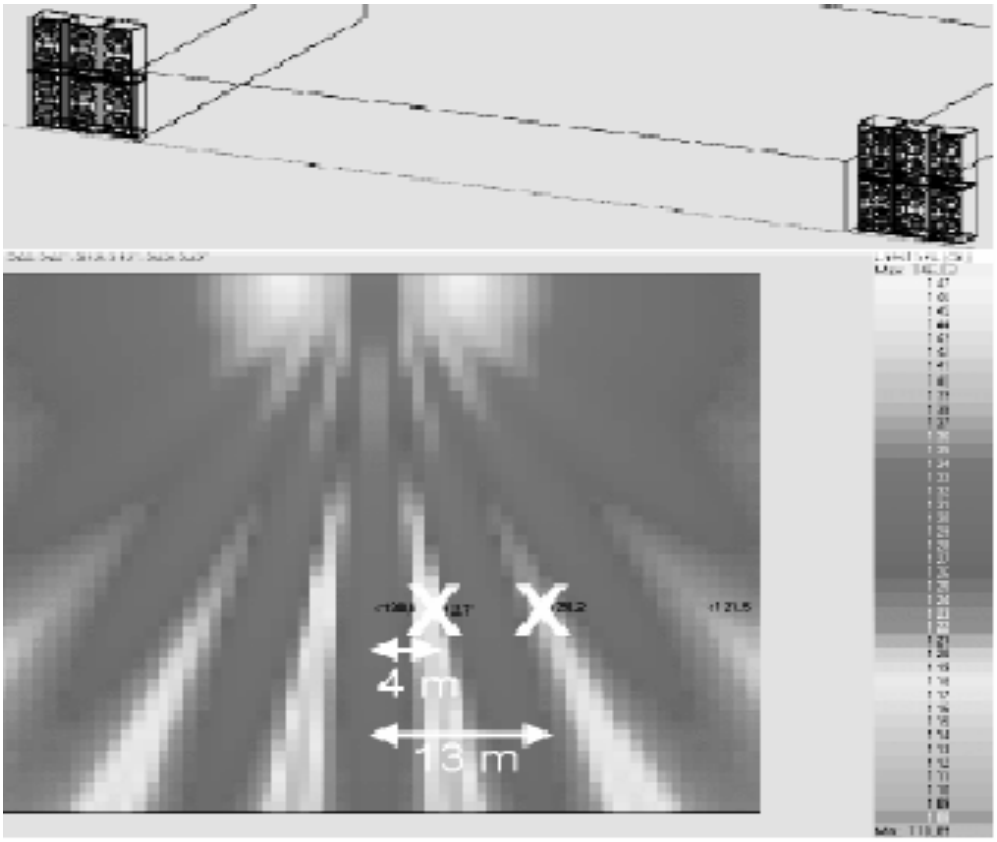


Figura 14. Ambos lados de subwoofers reproduciendo una frecuencia de 100Hz.

De la figura anterior podríamos pensar que hay algunas cuantas posiciones (lóbulos) en las que se escucha bien, pero no, porque las zonas que tengan los 100 Hz en fase tendrán otras frecuencias fuera de fase, así que no existen zonas buenas (excepto el centro). Lógicamente hay algunas frecuencias más importantes que otras de cara a un bajo o al bombo, por lo que nuestro problema será más evidente en unas zonas que en otras.

Todo esto se va a manifestar en la respuesta en frecuencia con la formación de valles (zonas de atenuación) en distintas frecuencias.

En las siguientes imágenes (figura 15) podemos ver las frecuencias de 80, 63 y 50 Hz. donde es evidente que el número de lóbulos y su localización es diferente para cada caso.

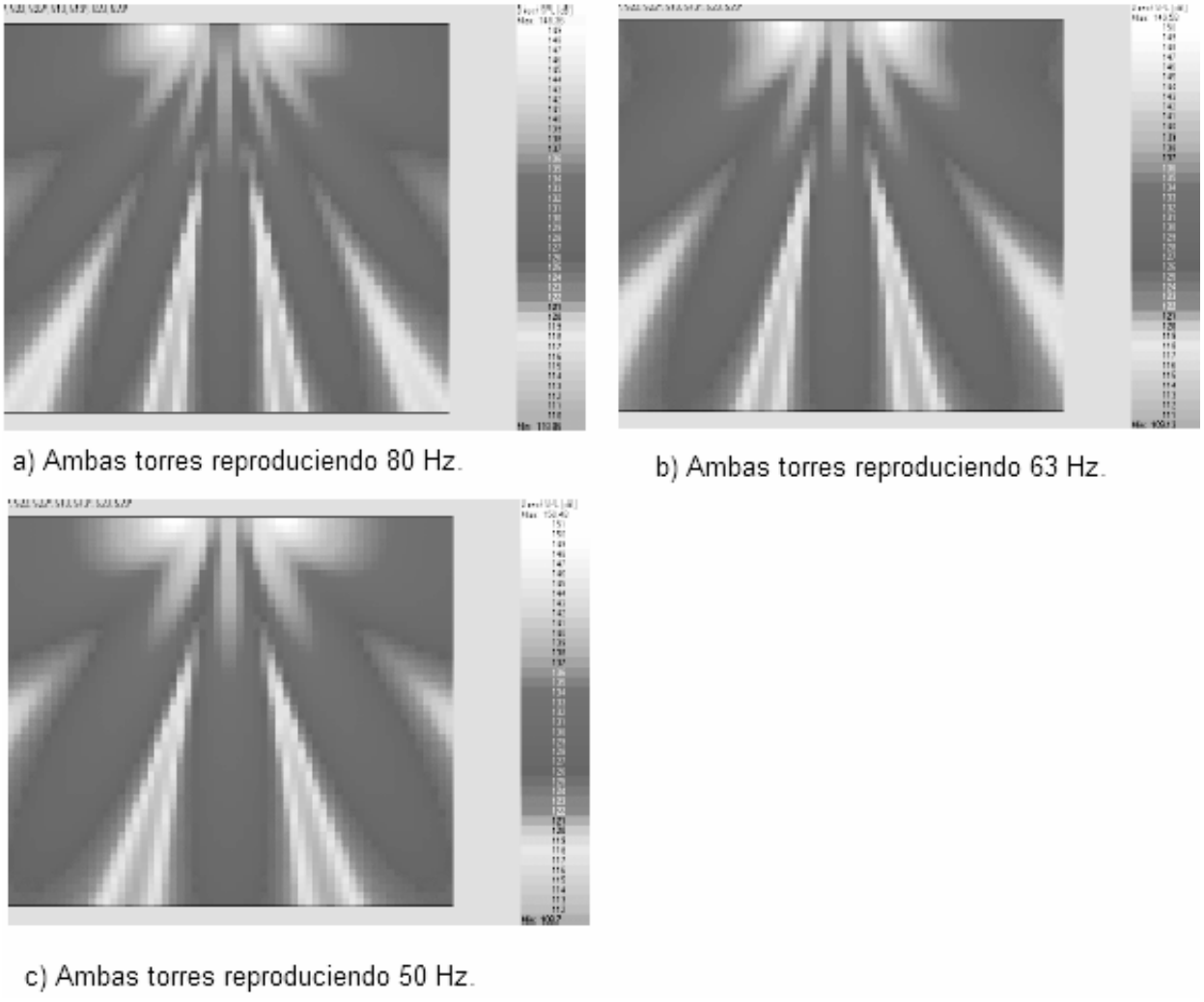


Figura 15. Ambos lados reproduciendo distintas frecuencias.

En cada frecuencia tenemos un mapa con esos característicos lóbulos. Si sumamos varias frecuencias se hace más evidente el callejón, puesto que éste representa las únicas posiciones donde los bajos se suman de forma coherente. En la medida en que los bajos estén más separados entre sí, el callejón será más estrecho.

La figura 16 muestra el callejón con dos sub-bajos separados 14 metros. Puede verse una franja más intensa de unos cuatro metros de ancho.

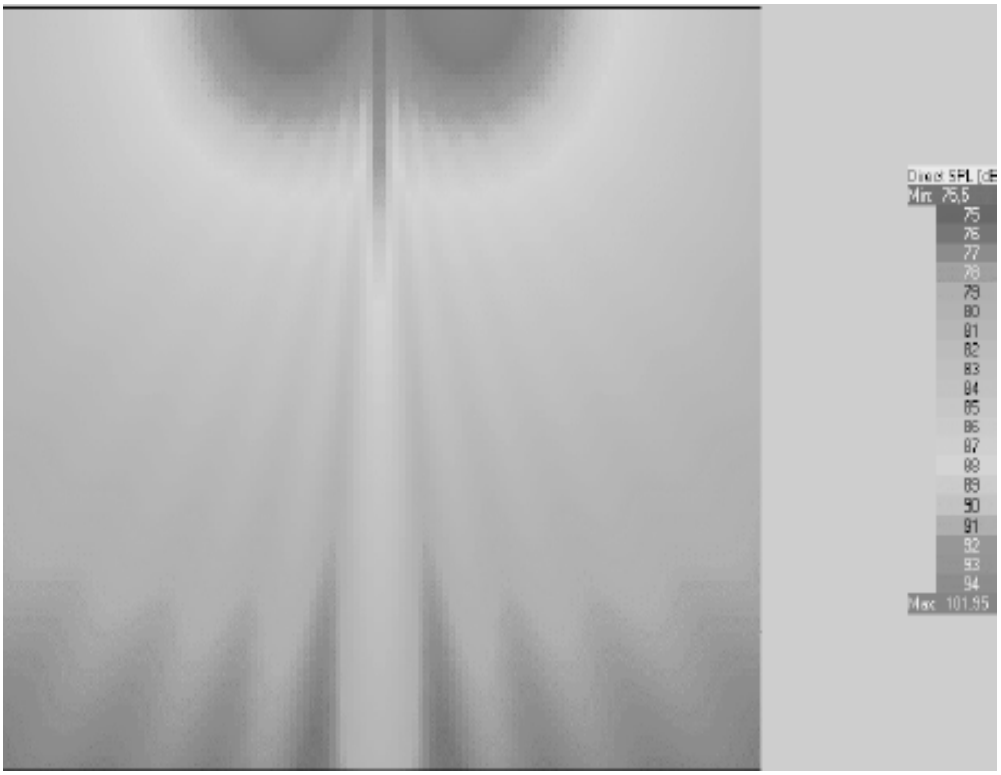


Figura 16. Simulación de dos sub-bajos separados 14 metros.

Conclusión.

La solución teórica para evitar el “callejón de potencia” es colocar todos los sub-bajos en un único punto. Desgraciadamente esto no suele ser posible, particularmente en aplicaciones de sonido en directo.

Sin embargo es importante entender el fenómeno para lograr un criterio que nos permita mediante las acciones pertinentes obtener mejores resultados.

Por ejemplo; si tenemos la consola en el centro, podríamos elegir una mezcla con cierto exceso en baja frecuencia ya que al irnos hacia los lados, la interferencia destructiva nos reestablecerá un cierto equilibrio de las frecuencias bajas con el resto del rango.

3.2 Retroalimentación. (Feedback o Acople).

Definición.

La retroalimentación, acople o feedback es uno de los fenómenos más comunes en sonorización y esto ocurre cuando un determinado sonido es captado por un micrófono, posteriormente es amplificado y reproducido por los altavoces y finalmente este sonido nuevamente es captado por el micrófono creando un lazo cerrado que no termina nunca. Lo que resulta de esto es que el sistema entre a amplificarse a si mismo hasta el punto de saturación, que es cuando se escucha ese sonido inconfundible y desagradable para nuestros oídos. Dicho fenómeno se ilustra en la figura 17.

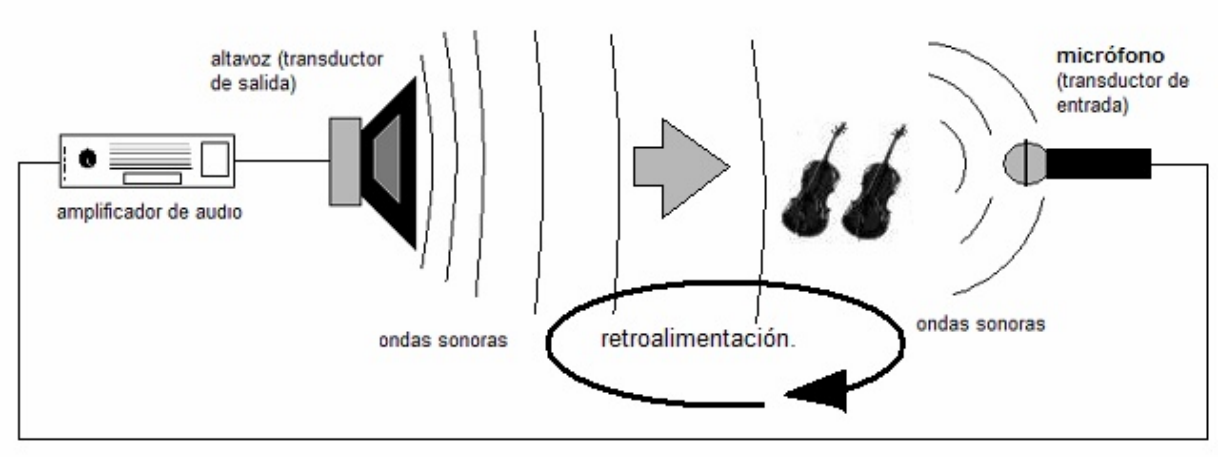


Figura 17. Esquema de retroalimentación.

Análisis de su existencia.

A pesar de que se han dado muchas explicaciones y planteado posibles soluciones debemos aclarar que el problema de la retroalimentación no es otra cosa más que un problema de distancias. La mayoría de las veces se culpa a los componentes de la cadena de audio (altavoz, micrófono, amplificador o ecualizador.) ser la causa de dicho problema pero ninguno de ellos es el responsable, por ejemplo hay quien podría decir: “si cambio el altavoz por uno mas direccional, ahora ya no habrá feedback; entonces el problema era el tipo de altavoz….”, y esto no es cierto, ya que no se elimino el problema, sino solo se aumento una distancia: la que existe entre la cobertura del altavoz y el micrófono (ver figura 18).

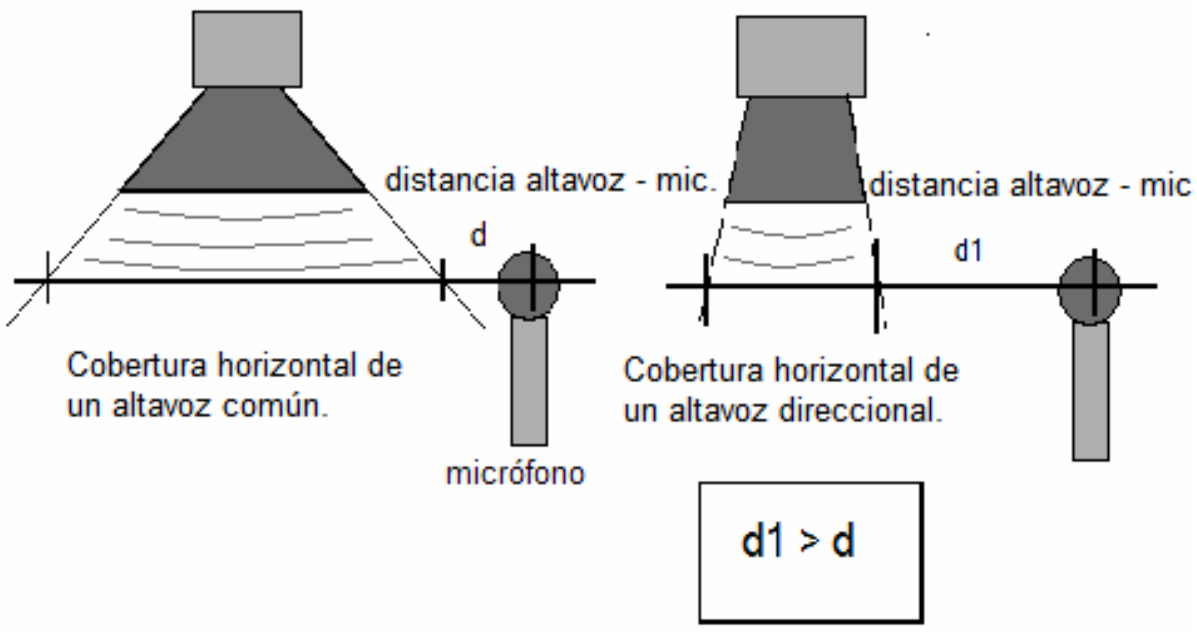


Figura 18. Variación de la distancia micrófono – cobertura del altavoz.

De hecho, al hacer varias pruebas es fácil llegar a la conclusión que la solución mas efectiva para controlar feedback es que el micrófono esté lo más cerca posible de la fuente, así como que el altavoz esté lo mas lejos del micrófono y de ahí empiezan a salir otras soluciones. Muchos dirán bueno; pero si cambio el micrófono por uno direccional controlo mejor el feedback sin cambiar la distancia. Ciertamente si, pero en realidad al cambiar un micrófono omnidireccional por uno cardioide se está haciendo que la señal que no se quiere (la del altavoz) sea atenuada por el patrón polar, lo que es lo mismo que alejar el altavoz.

Solución.

Considerando lo anterior, podemos establecer algunos tips para reducir la probabilidad de retroalimentación en nuestro sistema. Los más viables son los siguientes:

1. Nivel de ganancia acústica.

Como sabemos, en cuanto más bajo de nivel esté nuestro sistema, menor será la probabilidad de acople. De igual manera, cuando menos nivel tengamos en los monitores de escenario, menor probabilidad de feedback.

2. Nivel de la fuente.

Cuando el nivel sonoro de nuestra fuente es mayor se tiene también menor probabilidad de feedback (debido a que se requerirá menor valor de ganancia para reproducir dicho sonido).

3. Reverberación.

Cuanto mayor sea la reverberación, mayor será el nivel de presión sonora y por tanto la probabilidad de acople.

4. Distancia de los micrófonos a los altavoces.

Cuanto más lejos, menor probabilidad. A veces necesitaremos mover los altavoces hacia la audiencia o hacia fuera del escenario. Las zonas sin cobertura que puedan surgir se pueden cubrir con pequeñas cajas al borde del escenario o sistemas de relleno inferior (*downfills*) que cuelgan del sistema principal apuntando hacia abajo.

5. Distancia de las fuentes a los micrófonos.

Cuanto mas cerca esté la fuente sonora al micrófono, mayor será el nivel que nos entregará dicho transductor, se requerirá una menor ganancia y por lo tanto menor probabilidad de acople.

6. Directividad de los micrófonos.

Cuanto más direccional nuestro micrófono menor reverberación recogerán, y por ello menor probabilidad de feedback, aunque hay que tener en cuenta que cuanto más direccional sea el micrófono más crítico es el posicionamiento (un pequeño movimiento hacia un lado nos puede situar fuera de la cobertura del micrófono).

7. Respuesta en frecuencia de micrófonos y altavoces.

Utilizando un analizador de espectro podemos alisar los picos. Para el sistema principal utilizaremos un micrófono y un analizador, idealmente de alta resolución, combinado con un ecualizador parametrico que nos permita ajustar los filtros de corrección a la frecuencia y anchura exactas de los picos. Si no disponemos de esos medios, usaremos un analizador de tercio de octava y un ecualizador grafico de tercio de octava. Para el sistema de monitoreo, podemos usar el micrófono del escenario como micrófono de medida, puesto que de esta manera tenemos en cuenta la respuesta en frecuencia del micrófono y el altavoz.

8. Posición.

Las caracteristicas acústicas de una sala o las interferencias entre altavoces, pueden causar acoples en unas posiciones y en otras no.

Evitemos usar más de un monitor para cada artista, de lo contrario habrá muchas diferencias de respuesta en frecuencia entre posiciones (por la interferencia entre los monitores) y será difícil ecualizar para eliminar los acoples. Si hay que utilizar dos cajas para el monitoreo de un artista, es preferible poner las dos cajas juntas y anguladas.

Ecualización de nuestro sistema para evitar feedback.

Hemos comentado ya que el sistema de P.A y el sistema de monitores se deben ecualizar para evitar los picos de frecuencias. Eso nos dará unos cuantos decibeles más antes de que ocurra la retroalimentación. Comúnmente se emplean filtros de alta selectividad, la idea es afectar a un numero mínimo de frecuencias para que la respuesta en frecuencia quede lo más inalterada posible. El problema con los filtros tan estrechos es que cuando cambian las condiciones atmosféricas, en particular la humedad, cambia la velocidad del sonido. Así, los acoples se moverán ligeramente en frecuencia, y los filtros estrechos ya no los atenuarán.

Para ajustar nuestro sistema se sugiere un ecualizador de tercio de octava, para minimizar los acoples y el proceso es el siguiente:

- Ir subiendo paulatinamente el nivel general del sistema hasta que ocurre el primer acople.
- Atenuar esa frecuencia, y repetir el proceso.
- Normalmente se atenuarán solo las tres o cuatro primeras frecuencias de acople, puesto que a partir de ahí se asume que hemos llegado al limite de ganancia del sistema.

Exterminadores de feedback y aplanadores.

Debido al feedback se han diseñado los conocidos exterminadores de feedback, termino acuñado por la marca Sabine, que fue pionera en la fabricación de estas unidades digitales. En estas unidades unos filtros fijos de muesca (notch) se ajustan automáticamente a medida que vamos subiendo el nivel del sistema. Otros filtros son automáticos y están disponibles para detectar un acople y aplicar un filtro adecuado (filtros flotantes).Las limitaciones de estas unidades en cuanto a los filtros fijos son, como ya hemos comentado, que los acoples se pueden mover ligeramente en frecuencia y desincronizarse con los filtros. En cuanto a los filtros flotantes, a veces pueden confundir una nota sostenida de instrumento o voz con un acople, lo que no suele ser del agrado de los músicos.

En general es preferible un buen diseño y optimización del sistema antes de recurrir a estos “parches digitales”, aunque pueden ser útiles en determinadas circunstancias, además de que a pesar de que existen tecnologías muy buenas en el mercado para control de feedback, estas solo pueden darnos unos 3 o 5 dB extras de ganancias antes de feedback, mientras que por ejemplo cambiando la distancia de un micrófono a la fuente puede ser mucho mas drástico (de 4Cm a 1Cm gano 12dB!!).

Estos equipos deben ser utilizados solo después de que se han agotado las otras posibilidades y para aquellos casos que no podemos controlar (como el vocalista que quiere cantar con su público en frente de los altavoces). En la figura 19 se muestra uno de los modelos mas empleados en el medio.



Figura 19. Exterminador de acople de la marca Dbx modelo AFS 224.

3.3 Mala respuesta en frecuencia.

Uno de los conceptos mas nombrados en el medio de la sonorización es “respuesta en frecuencia” y podemos definirlo como la relación entre la señal de salida de un dispositivo o sistema y su señal de entrada.

Comúnmente el fabricante de los equipos entrega una gráfica donde se muestra la capacidad del equipo para lograr reproducir a su salida la señal de entrada, esta grafica es obtenida teniendo como referencia una señal de ruido rosa con nivel constante. De lo anterior podemos deducir que lo que se busca de manera ideal es que nuestros elementos y/o sistema tengan una respuesta en frecuencia plana (asegurando la capacidad de reproducir señales fieles) (ver figura 20), aunque esto en la mayoría de las veces representa mayores costos de los equipos.

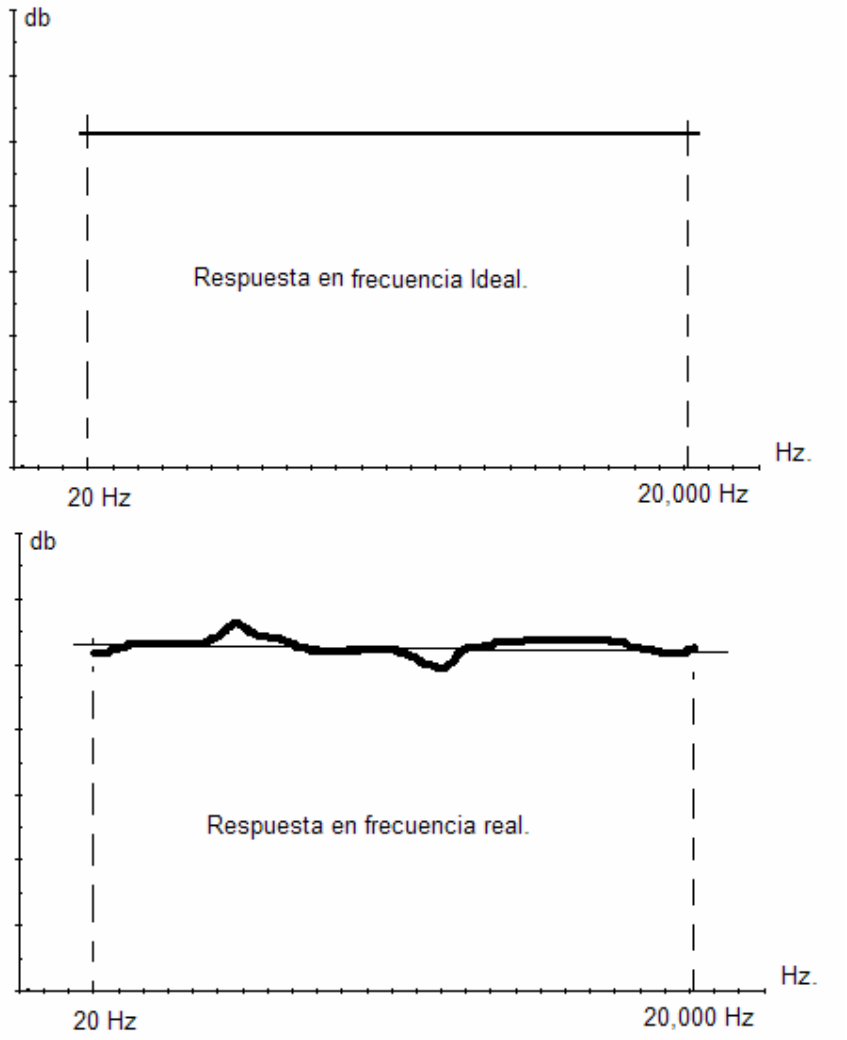


Figura 20. Respuesta en frecuencia Ideal vs. respuesta en frecuencia real.

Dentro de los sistemas de sonorización se tiene la propiedad de que la respuesta en frecuencia total de nuestro sistema es el producto de la respuesta en frecuencia de cada uno de nuestros elementos.

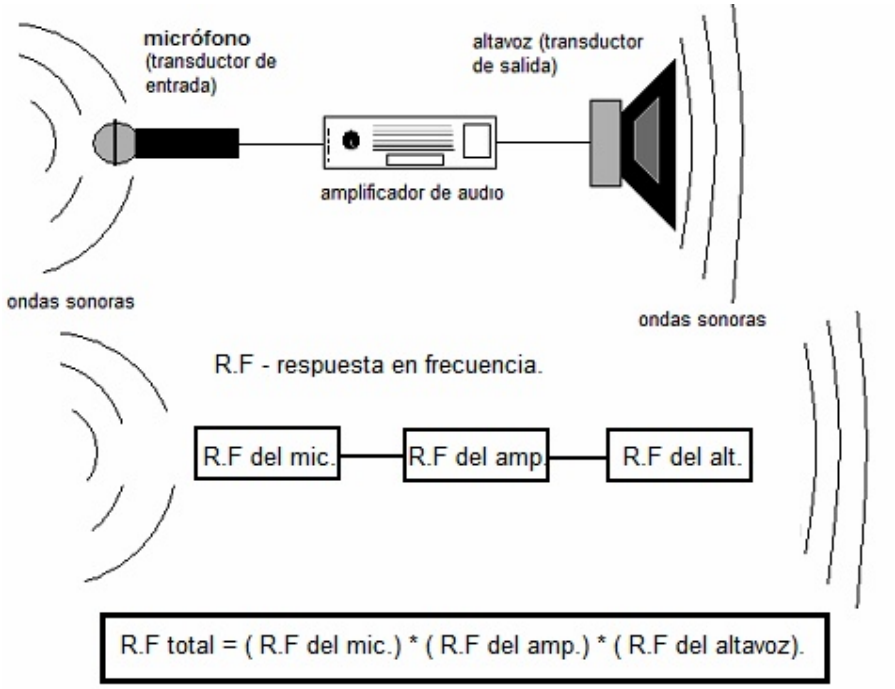


Figura 21. Respuesta en frecuencia de un sistema básico de sonorización.

Considerando dicha propiedad de la respuesta en frecuencia se hace evidente que para lograr una respuesta en frecuencia adecuada de nuestro sistema se requerirá que las respuestas individuales de los elementos sean también adecuadas, por ejemplo; de la figura 21, si la respuesta en frecuencia del micrófono y del amplificador son excelentes, pero el altavoz tiene una respuesta en frecuencia mala el sistema completo tendrá una respuesta en frecuencia mala y por lo tanto un desempeño mediocre.

Para nosotros que tenemos como objetivo optimizar los sistemas de sonorización, el problema de la mala respuesta en frecuencia del sistema se puede abordar de dos formas:

En diseño. Interpretando dicha especificación de los elementos de la cadena de audio que nos dan los diversos fabricantes para lograr diseñar de la mejor manera nuestros sistemas.

En operación y ajuste. Para mejorar la respuesta en frecuencia resultante de nuestro sistema hacemos uso de una herramienta fundamental; el ecualizador, el cual nos permite corregir algunas de las alteraciones de la señal de salida (atenuando o aumentando el nivel de los rangos de frecuencia que nos interesen).

A continuación se describe un método sencillo que aunque no analiza la respuesta en frecuencia real, si puede ser de gran ayuda como referencia del comportamiento espectral de nuestro sistema, y con un criterio correcto se podrán lograr resultados notables. (Aunque en el siguiente capítulo se estudiaran herramientas y procesos sumamente sofisticados para lograr dicho fin).

Elementos empleados.

- Micrófono con respuesta en frecuencia prácticamente plana.
- Analizador de espectro o RTA (*analizador de tiempo rea*l), que se estudiará en el siguiente capítulo.

- Ecualizador.
- Ruido rosa (pink noise); generador, CD o consola.
- Sonómetro (estudiado en el siguiente capítulo).

Planteamiento.

El problema básico es que la respuesta en frecuencia de nuestro sistema presenta anomalías, y mediante lecturas de espectro y el ecualizador buscaremos realizar los ajustes pertinentes para lograr optimizar la respuesta en frecuencia de nuestro sistema.

Metodología.

Colocaremos un micrófono en la ubicación de interés o en una zona representativa de nuestro recinto y posteriormente lo conectaremos a la entrada de nuestro RTA (ver figura 22).

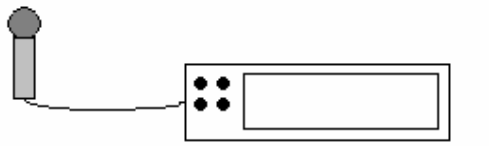


Figura 22. Micrófono conectado al analizador de espectro.

Después reproduciremos nuestra fuente de ruido rosa en nuestro sistema como se muestra en la figura 23.

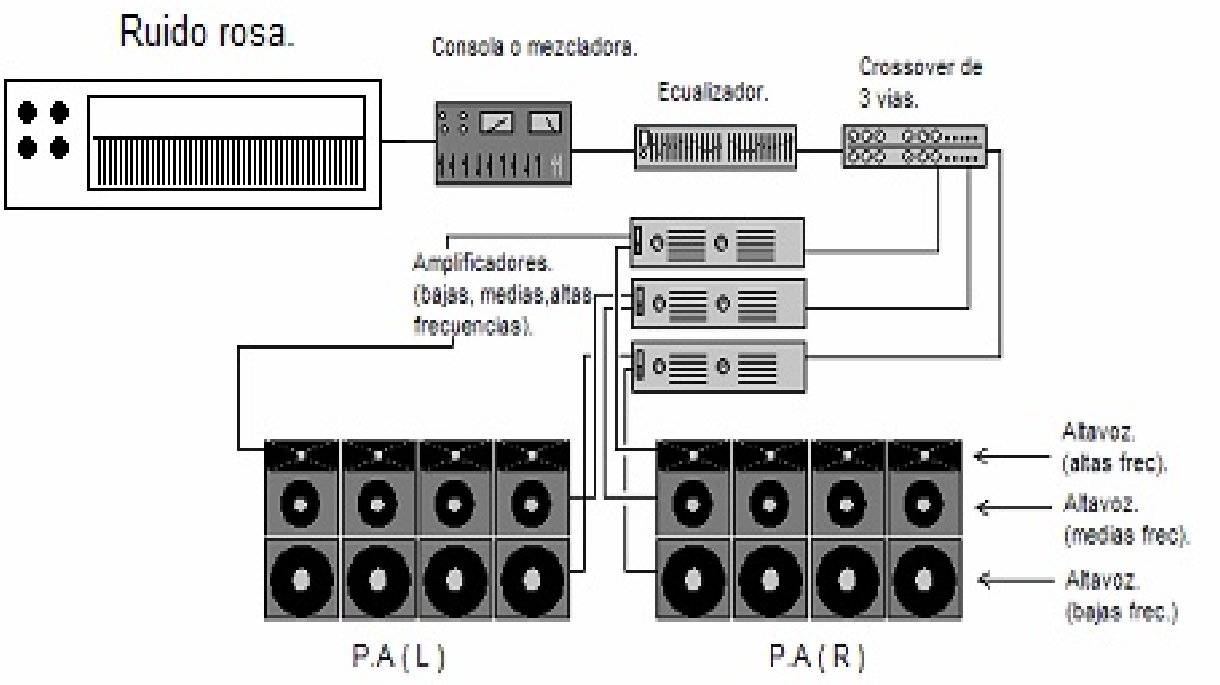


Figura 23. Sistema reproduciendo la señal de entrada (ruido rosa).

Posteriormente se ajusta el nivel de SPL de salida de nuestro sistema con el fader master de la consola de tal forma que esté dentro del rango en que se espera trabajar durante el evento musical (por ejemplo; a 114 db como se muestra en la figura 24).

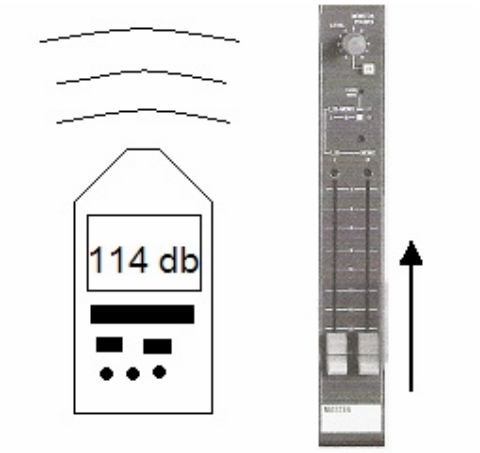


Figura 24. Ajuste del SPL.

Después nuestro analizador de tiempo real (RTA) comenzará a mostrarnos la lectura de espectro de nuestro sistema en dicho punto y podremos determinar visualmente las anomalías; ya que idealmente se espera una gráfica plana (ver figura 25).

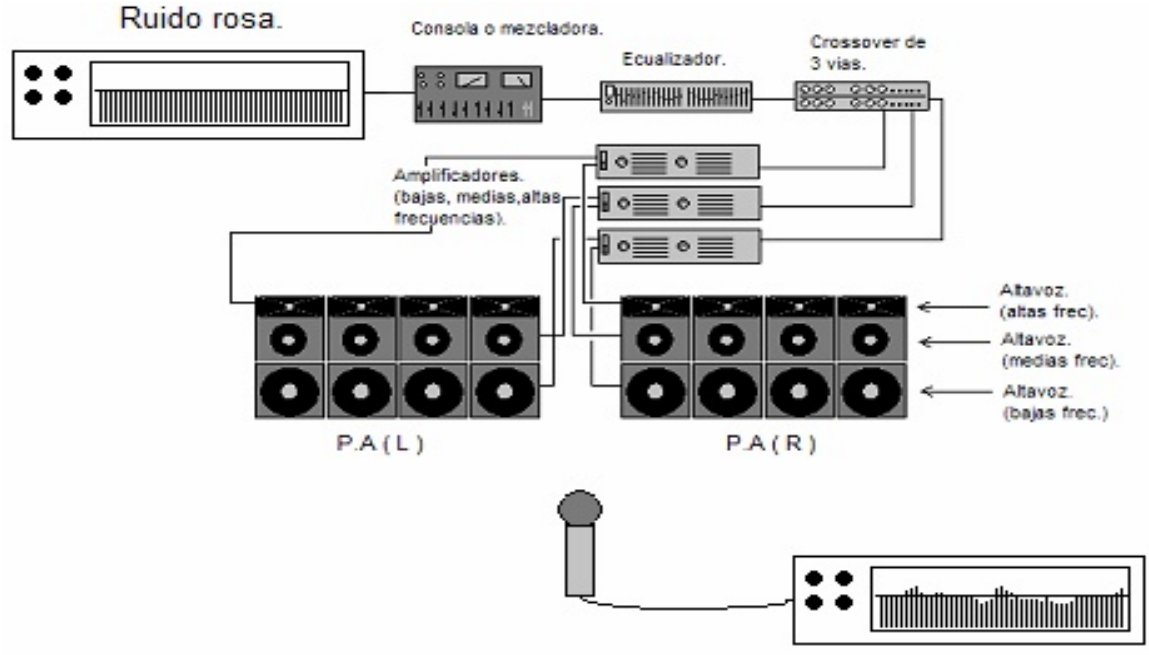


Figura 25. Diagrama completo para obtener el espectro de nuestro sistema de sonorización.

Finalmente compensaremos o atenuaremos mediante nuestro ecualizador general las frecuencias que lo requieran (según nuestro analizador) para lograr una lectura un poco mas plana. Esto nos permitirá asegurar la capacidad de nuestro sistema para reproducir de manera eficaz todo nuestro rango en frecuencias.

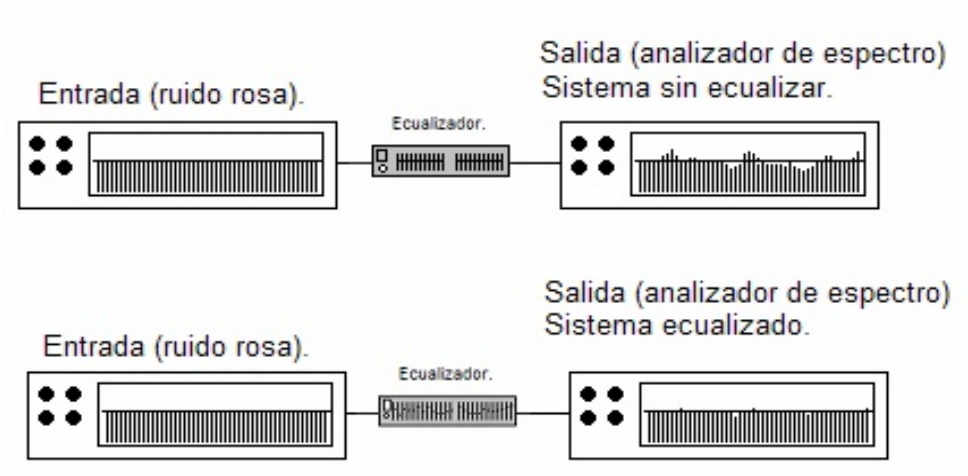


Figura 26. Ajuste de la lectura de espectro mediante el ecualizador general.

3.4 Mal desempeño de sistemas de sonorización en recintos de largas distancias.

Los primeros sistemas de sonorización fueron creados para lograr hacer llegar un mensaje (en nuestro caso mensaje musical), a una audiencia, pero con el paso del tiempo las necesidades fueron cambiando. Una de ellas es lograr hacer llegar el mensaje a un número mayor de personas y con esto los recitos comenzaron a hacerse de mayores dimensiones.
De ahí surge uno de los problemas mas comunes: "El mal desempeño de sistemas de sonorización debido a largas distancias con respecto a la audiencia".

Planteamiento.

Pongamos como ejemplo un recinto de pequeñas dimensiones (15 m de ancho y 32 m de largo), si consideramos condiciones de campo libre y que la fuente sonora es omnidireccional; el nivel de presión sonora (SPL) varía en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente y el punto en cuestión (ley del inverso cuadrado), es decir cada vez que la distancia es duplicada el nivel de presión sonora decaerá 6 db. Si a 4 metros de nuestro P. A (donde comienza la ubicación del publico) tuviéramos 114 db sabríamos que a 8 metros tendríamos un SPL de 108 db, a 16 m tendríamos 102 db y a 32m (al final del recinto) 96 db (como lo ilustra la figura 27).

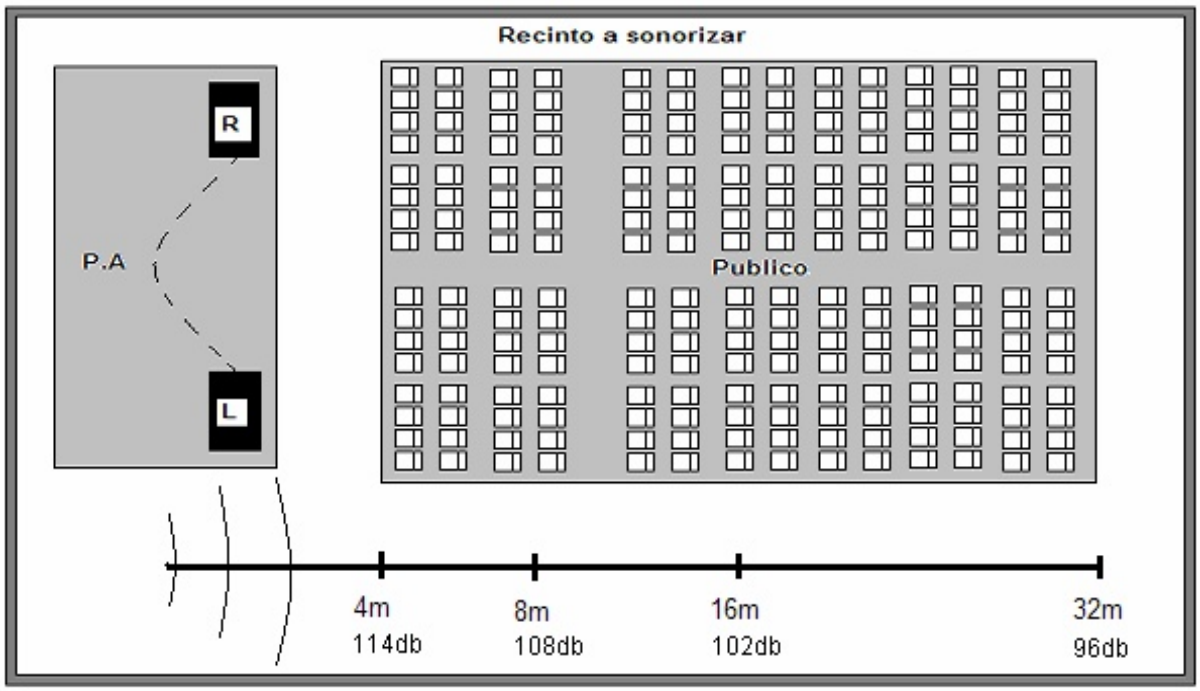


Figura 27. Pérdida de SPL a lo largo de un recinto.

O sea,

Diferencia de SPL = Valor en primer ubicación – valor en ultima ubicación.

Diferencia de SPL = 114db – 96db = **18 db.**

Lo cual representa una pérdida de SPL notable pero tolerable, es decir cuando las personas ubicadas en las primeras filas perciben un sonido adecuado, las personas que se encuentra en la parte mas lejana escucharán el mismo mensaje musical pero con un nivel sonoro moderado.

El problema.

Ya sabiendo la forma en que comenzamos a tener una insuficiencia de SPL en algunas zonas de nuestro recinto (zonas más alejadas) surge el problema; ¿que pasa si en vez de tener 32 tiene 96 metros de largo?

Empleando la ley del inverso cuadrado sabríamos que:

a 64 m se tendría un aproximado de 90 db.
y a 96 m (zona más lejana) se tendrían 87 db.

O sea,

Diferencia de SPL = Valor en ubicación más cercana – valor en ubicación más lejana.

Diferencia de SPL = 114db – 87db = **27 db.**

Estos 27 db nos indican que se está dando una pérdida de SPL exagerada, de tal forma que en la parte más lejana nuestro mensaje musical sería prácticamente nulo respecto al generado.

Alguien podría decir; “Para que en vez de 87 db en la parte posterior tengamos por ejemplo 93 db debemos subir el nivel de nuestra salida master”, pero no ! ! ! . Aumentar de 87 db a 93 db representa aumentar 6 db de SPL que es lo mismo que elevar al doble nuestro nivel general y ahora ¿que pasa con el público de las primeras filas? Pues lo que sucede es que los 114 db iniciales aumentarían a 120 db (el doble) que se manifestaría con un nivel sonoro exagerado y peligroso, ya que podría causar daños serios en los oídos de los escuchas.

Afortunadamente esta enorme diferencia de nivel sonoro entre zonas ha sido objeto de análisis y estudios de tal forma que se han propuesto distintos posibles métodos y acciones de solución. A continuación mencionaremos los más importantes y su evolución.

1) Dirigir las bocinas por zonas.

Esta acción pretende dirigir el sonido de los altavoces hacia diferentes zonas a lo largo del recinto. Ver figura 28:

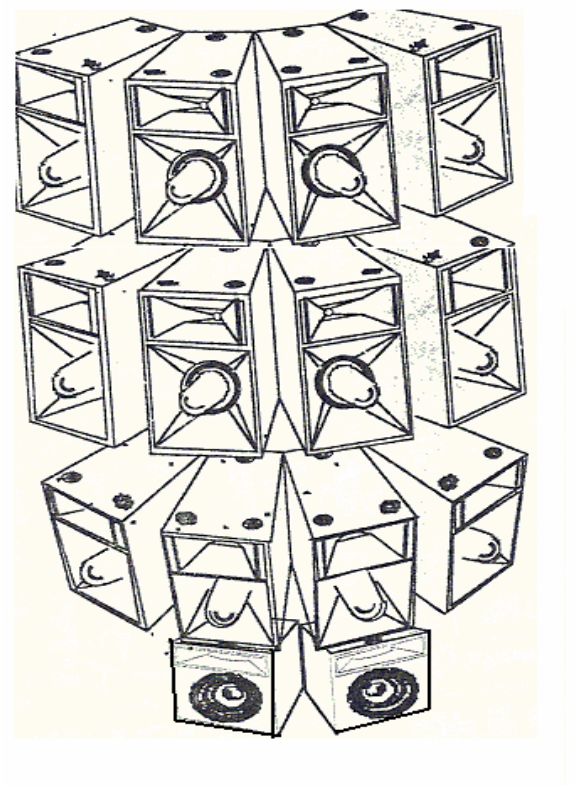


Figura 28. Arreglo colgado de bocinas dirigidas.

Se puede observar que dicho arreglo (un solo lado de P.A) está compuesto por tres niveles de 4 bocinas cada uno y un cuarto nivel inferior de 2 bocinas de menor capacidad (down fill). Cada una de las bocinas del total de 14 está posicionada de esa forma para conseguir un objetivo; cubrir una zona específica (pero no hay suma coherente, degradando la calidad sonora y desperdiciando energía acústica).

El arreglo funciona de la siguiente manera:

- Nivel superior: Las bocinas que conforman este nivel se encuentran colocadas prácticamente de manera recta respecto al plano horizontal debido a que se pretende dirigirlas hacia la zona mas lejana del recinto y con esto el sonido emitido por ellas “pasará” por encima de las zonas mas cercanas.

- Nivel intermedio. Las bocinas de este nivel tienen un ángulo hacia abajo respecto al plano horizontal con lo cual se pretende dirigir el sonido a zonas intermedias y “pasará” por debajo de la cobertura del nivel superior.

- Nivel inferior. Las bocinas que componen este nivel tienen un ángulo mayor que el del nivel intermedio con respecto al plano horizontal y tiene como fin estar dirigido a las zonas cercanas.

- Nivel inferior (bocinas de menor potencia *down fill*).
  Estas bocinas tienen un ángulo aún mayor que el de nivel inferior (con bocinas de mayor potencia) con respecto al plano horizontal y tienen como finalidad estar dirigidas a zonas de campo muy cercano, es decir; a las primeras filas del recinto.

Cabe mencionar que horizontalmente también existen ángulos de separación entre las bocinas. (Con el fin de ajustar la cobertura horizontal a nuestras necesidades).
Debido a las diferentes distancias de las zonas a donde dirigiremos nuestros niveles de altavoces, resulta necesario trabajar a distintas potencias; ya que no es la misma potencia requerida por el nivel superior dirigido a mas de 90 metros que la requerida por el nivel inferior (mismo tipo de bocinas) dirigido a una zona a tan solo 10 metros. (Comúnmente estos distintos niveles de potencia se ajustan en crossovers, amplificadores o mediante salidas matrix de las consolas).

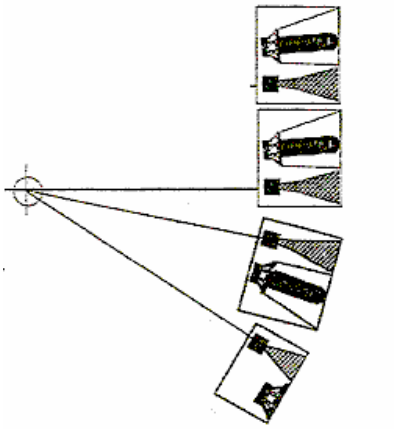


Figura 29. Perfil de arreglo de bocinas colgado direccionado.

Resultados.

Este tipo de solución da resultados ligeramente satisfactorios ya que produce una distribución un poco mas uniforme, pero provoca una gran cantidad de cancelaciones acústicas, además de que los altavoces que se encuentran en el primer nivel requieren trabajar a altas potencias lo que comúnmente propicia daños en amplificadores y altavoces, y aun así no se consigue un buen SPL a largas distancias.

2) Empleo de bocinas de tiro largo.

Aún cuando hubiéramos realizado el montaje anterior, nuestra metodología no resolvería necesariamente el problema, ya que ésta se hizo desde un principio basándonos en el recurso de reducir el nivel de trabajo de nuestro sistema; a una mayor proporción en el área del publico cercano, a una menor proporción en nuestra cobertura media, y sólo las bocinas dirigidas a la sección más lejana estarían desarrollando la totalidad de su capacidad.

Pero aun así, si estas últimas bocinas siguen siendo de diseño para una cobertura media, su rendimiento en tiro largo será pobre, aun cuando sí hubiéramos logrado obtener una distribución más homogénea en toda la audiencia.
De esta manera surge un nuevo diseño en bocinas; las de tiro largo que tienen como fin dirigir el sonido a grandes distancias.

Algunas de las marcas constructoras que comenzaron el desarrollo de dichos elementos fueron: JBL, Altec lansing, EAW, Comunity y Meyer sound (en la figura 30 se muestra el modelo MSL 10 de dicha marca).

Inicialmente se desarrollaron “cornetas” (de hasta 2 metros de largo) para aplicaciones de tiro largo en altas frecuencias (agudos), posteriormente para medios y finalmente para unidades de bajas frecuencias (graves).

Las cornetas permiten estrechar el ángulo de dispersión lo suficiente para reproducir una mayor presión sonora a grandes distancias, aunque estos sistemas se ven sujetos a las mismas reglas físicas de perdida de energía en el espacio de los sistemas convencionales de tiro medio. La ley del inverso cuadrado se cumple siempre y cuando exista una radiación a partir de un punto y que esta radiación sea omnidireccional; sin embargo aun cuando en estos casos sea direccional, una vez que el sonido se encuentra viajando libremente en el aire, esta ley se cumple.

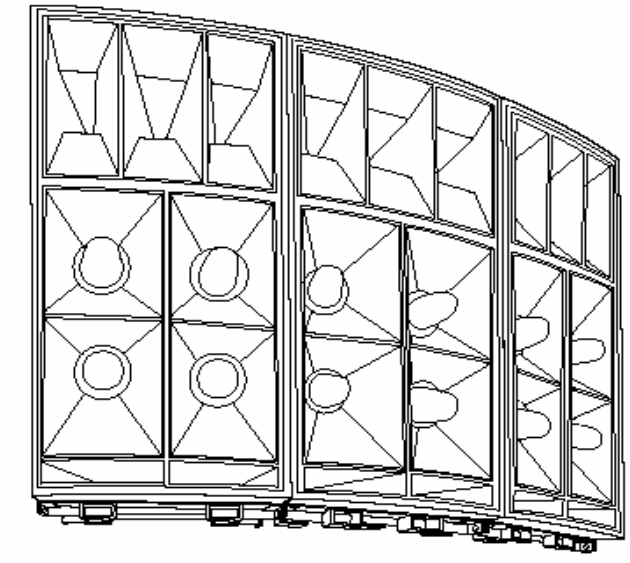


Figura 30. Bocinas MSL10 de tiro largo (Meyer sound) capaz de producir 110 db continuos a 100 pies de distancia y con una cobertura horizontal de 60 grados y 40 grados en vertical.

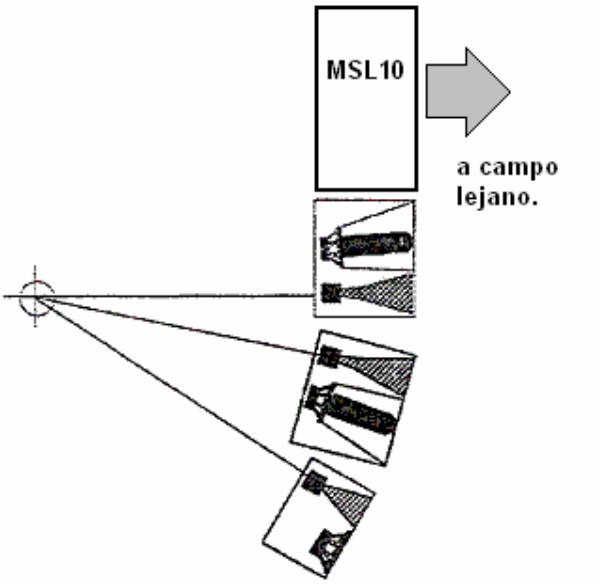


Figura 31. Montaje de bocinas de tiro largo MSL 10.

Resultados.

La utilización de este tipo de sistemas mejora los resultados notablemente, ya que las zonas mas lejanas tendrán prácticamente la misma presión sonora que las zonas mas cercanas (sin comprometer el correcto funcionamiento de amplificadores y altavoces), pero la parte negativa de dichos sistemas es que debido a sus ángulos estrechos de cobertura se necesitará un mayor número de bocinas para cubrir dicha zona.

3) Torre de retraso (“Delay tower”).

La torre de delay es empleada en recintos de grandes longitudes, donde la colocación de un sistema P.A es insuficiente debido a la ley del inverso cuadrado (relación entre distancia y SPL).

La torre de delay es colocada a una distancia donde se considere que el SPL producido por el P.A aun es adecuado.
Con la implementación de estas torres se pretende compensar las perdidas debido a la distancia en las zonas más lejanas mediante la suma de las ondas sonoras de ambos arreglos (P.A y torre de delay).

Pero para obtener una suma máxima requerimos que ambas señales estén en fase y esto se logra retrasando la torre de delay respecto al P.A el mismo tiempo que tarda el sonido en ir desde nuestro arreglo principal hasta la ubicación física del complementario.
El tiempo se puede calcular mediante la siguiente formula:

t [s] = d [m] / v [m / s].
t [s] = (d [m] / 343 [m/s]).

t = Tiempo de retraso.
d = distancia entre P.A y delay.
v = velocidad del sonido. 343 [m/s].

La figura 32 ilustra de manera clara la aplicación de dicho arreglo.

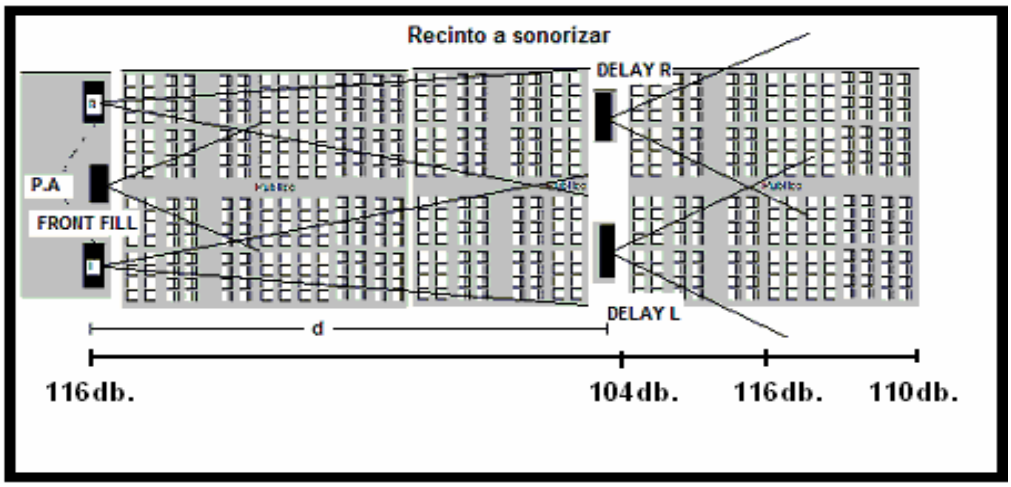


Figura 32. Arreglo de retraso (delay).

Resultados.

Mediante la implantación de la torre de delay logramos que el sonido sea mucho más homogéneo en toda la audiencia. Como se ve en la figura 32 la variación del SPL a lo largo del recinto nunca es mayor a12 db, lo que a comparación del ejemplo donde el recinto tenía 96m de longitud (donde llegó a ser de hasta 27 db) se puede considerar muy satisfactorio.

Los aspectos negativos de este tipo de solución es que obviamente se requerirá una mayor cantidad de equipo, además de conexiones a largas distancias, también se requerirá una zona para colocar la torre de retraso (lo cual comúnmente dificulta que el publico vea hacia el escenario).
También será necesario un procesador delay para sincronizar ambos arreglos.

4) Sistemas lineales (Line arrays).

Sin duda alguna la mejor solución a dicho problema y quizás una de las innovaciones mas importantes de los últimos años dentro de los sistemas de sonorización son los llamados sistemas lineales de bocinas (line arrays).

Los arreglos lineales se han hecho muy populares al ofrecer un mayor nivel de presión sonora y una cobertura mas uniforme tanto en instalaciones fijas como también en instalaciones móviles.

A continuación analizaremos los principios teóricos de los sistemas lineales.

Definición de "sistema lineal".

Un line array o matriz lineal consiste en un conjunto de altavoces independientes, apilados verticalmente para conseguir el efecto de una única fuente sonora de tamaño igual a la suma de las que la componen y cuyas ventajas son el resultado de la "coherente unión" de las mismas.

Así con el apilamiento de altavoces se consigue un estrechamiento de la cobertura vertical, un aumento de la directividad y mayores niveles de presión sonora que con un cluster compuesto por sistemas convencionales. Por tanto, la idea consiste en tener columnas compuestas por altavoces de bajas, medias y altas frecuencias; todo ello con sistemas modulares, de poco tamaño y peso, y que juntos definan una gran y única fuente sonora: ***El arreglo lineal.***

Principio de operación.

El principio de operación de este tipo de sistemas radica en el ahorro de energía al estrecharse la cobertura vertical y tener fuentes altamente directivas que además producen ondas sonoras que se atenúan únicamente 3 dB cada vez que se duplica la distancia. A este tipo de ondas se les denomina ***ondas cilíndricas,*** y estas existirán siempre y cuando se cumplan ciertos criterios entre los elementos que configuran el arreglo.

Las ondas cilíndricas solo se expanden en el plano horizontal, y no en el vertical.
De esta forma cada vez que se duplica el radio o la distancia a la fuente sonora, el área aumenta dos veces, lo que equivale a una pérdida de presión de tan solo 3db (como se ve en la figura 33).

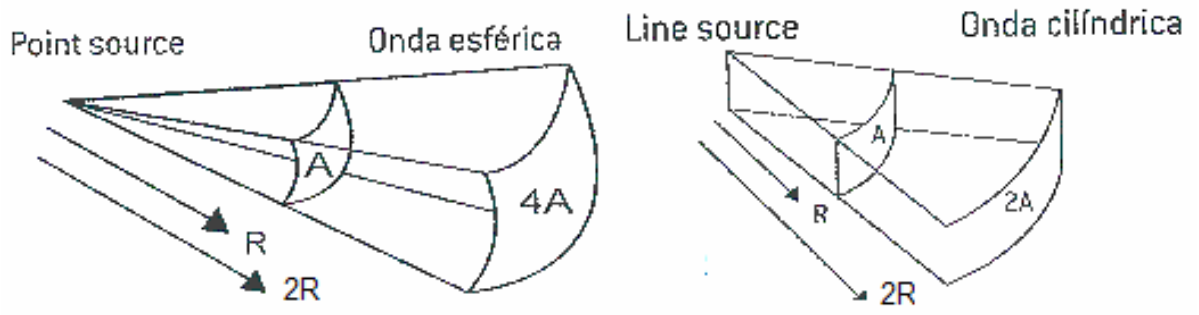


Figura 33. Comparativo entre radiación del sonido mediante ondas esféricas y ondas cilíndricas.

Los criterios necesarios para la formación de ondas cilíndricas en función de los elementos que componen el arreglo son los siguientes:

1) La separación entre las fuentes (distancia entre centros) debe ser menor o igual que la longitud de onda dividida entre 2, correspondiente a la frecuencia máxima a reproducir por las mismas.
Por ejemplo, si se tienen dos altavoces de 15" de diámetro, separados por una distancia de 46 cm, la frecuencia máxima hasta la que se tendrá una onda cilíndrica será:

$$d \leq \lambda/2$$
$$0.46 \times 2 \leq 344/f_{MAX}$$
$$f_{MAX} \leq 375\,Hz$$

2) Para los altavoces de altas frecuencias acoplados a difusores la separación entre los mismos debe ser mínima, lo que se interpreta en la siguiente fórmula:

$$H_1 \times B + H_2 \times B + \ldots\ldots \geq 0.8H \times B$$

La suma de todas las áreas de las distintas fuentes discretas (los difusores de altas frecuencias) debe ser como mínimo el 80% del área total abarcada desde la primera fuente hasta la última del arreglo lineal.

La consecuencia inmediata de esta aseveración es que los difusores deben estar muy próximos los unos de los otros, y para ello la cobertura vertical debe ser mínima.

En la siguiente 34 se puede visualizar lo anteriormente expuesto:

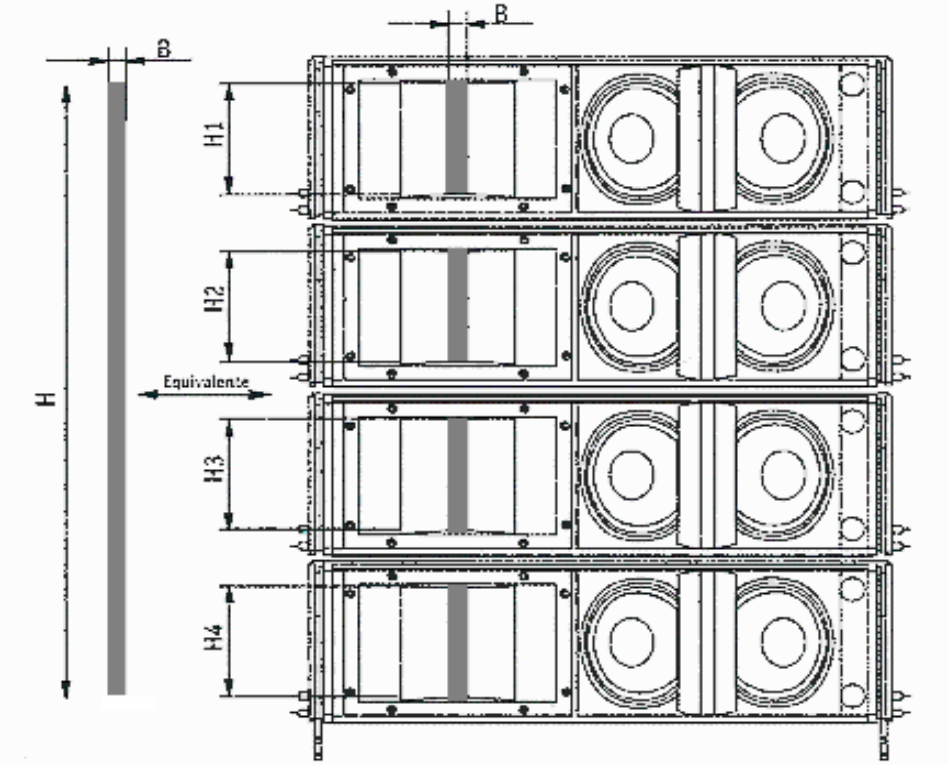


Figura 34. Representación grafica de la segunda condición a satisfacer por un arreglo lineal.

En la práctica, la tendencia suele ser tener clusters en los que los difusores de altas frecuencias se encuentren formando abanicos, con el ángulo de inclinación del sistema al que pertenezcan. Con este tipo de montajes la claridad óptima en una dirección se alcanza sólo por la caja que apunte hacia la misma. De esta forma las ondas generadas por todas las unidades del cluster no se suman de forma coherente, creándose zonas con interferencias y desperdicio de energía sonora. Para que no exista tal interferencia se deberían diseñar unos difusores especiales que produzcan ondas planas.

En la figura 35 se puede ver el efecto del apilamiento de difusores convencionales, es decir, las interferencias que se generan.

En la parte derecha de la imagen se muestra un conjunto de altavoces con difusores que emiten ondas planas, todos los frentes de onda se encuentran en fase, sin la existencia de interferencias.

Evidentemente, al poseer los difusores de estrecha cobertura vertical la distancia entre ellos no podrá exceder ciertos límites que generen zonas sin niveles de presión adecuados.

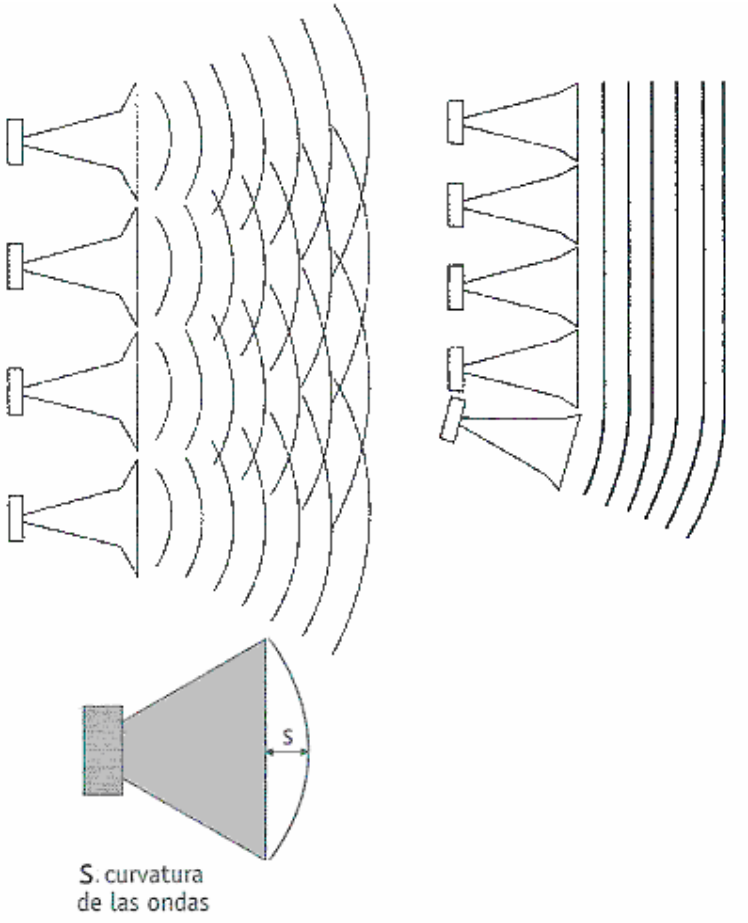


Figura 35. Interferencias en los frentes de ondas de difusores convencionales (izquierda) y difusores que emiten ondas planas (derecha).

3) Como consecuencia, se deduce la tercera condición que deben cumplir este tipo de sistemas: la desviación del frente de onda respecto de uno plano debe ser menor que la longitud de onda de la frecuencia máxima a reproducir dividido entre cuatro.

Por ejemplo; corresponden 5 mm a 16 kHz.

$$s \leq \lambda / 4$$

(Ver “S” en l figura anterior).

Por tanto, es necesario obtener un dispositivo que permita tener cuando menos ondas planas, o que tengan una curvatura menor de 5 mm. Para ello se ha de conseguir pasar de una sección circular a una rectangular, de forma que todas las ondas lleguen al mismo tiempo, es decir, en fase.

Montaje de los sistemas lineales (line arrays).

En la práctica no todos los *arreglos lineales* pueden ser rectos, es decir, según la aplicación y las necesidades puede ser necesario curvar el sistema para tener cobertura suficiente en todas las zonas, por esta razón, cada caja que constituya el arreglo debe incorporar un sistema de herrajes que permitan su inclinación en el plano vertical. Es importante señalar que el sistema de anclaje, además de formar parte de cada unidad, debe permitir "pivotar" desde el frontal de la caja para no aumentar la separación entre los altavoces (lo cual es desfavorable para cumplir lo establecido en la teoría) y no "pivotar" desde atrás (tal como se muestra en la figura 36).

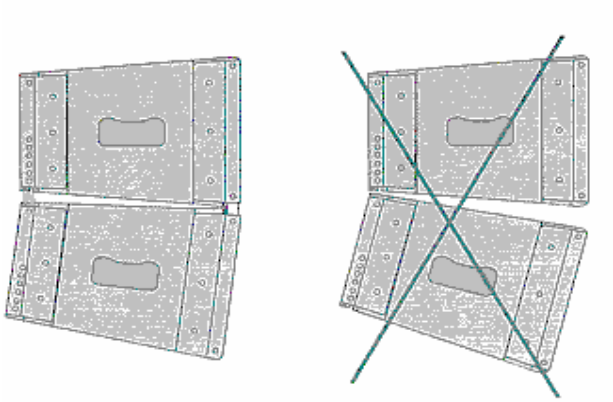


Figura 36. Comparativa entre la forma correcta (izquierda) e incorrecta (derecho) de colocar los altavoces en sistemas lineales.

En la figura anterior se presenta el sistema "pivotando" desde el frontal (parte izquierda) y desde la parte trasera (derecha). Como se puede observar, todo aquel sistema en el que las cajas giren desde la parte trasera produce una separación en la parte frontal de las mismas, que supone no satisfacer la primera de las condiciones impuestas por la teoría. Por ello se imponen los sistemas de giro en la parte delantera. Así son típicos los sistemas curvados o con forma de "j" (ver figura 37).

Evidentemente, existen unas limitaciones en cuanto a los ángulos máximos de inclinación vertical entre las cajas para satisfacer la teoría. Una de las limitaciones se especifica en la cuarta condición:

4) Para arreglos curvados, los ángulos de inclinación vertical entre las cajas deben variar en proporción inversa a la distancia del punto de escucha. Es decir, para posiciones muy lejanas, el ángulo entre cajas será muy pequeño, aumentándose a medida que el punto de escucha esté más cerca del arreglo lineal.

La cobertura vertical del sistema curvado será dada por el tamaño o altura de cada caja, por los ángulos relativos permitidos entre cajas y por el número de unidades suspendidas. Las cajas no pueden tener ángulos mayores de 5 grados en sus laterales, por tanto, el máximo ángulo permitido entre los ejes de dos cajas será 10 grados.

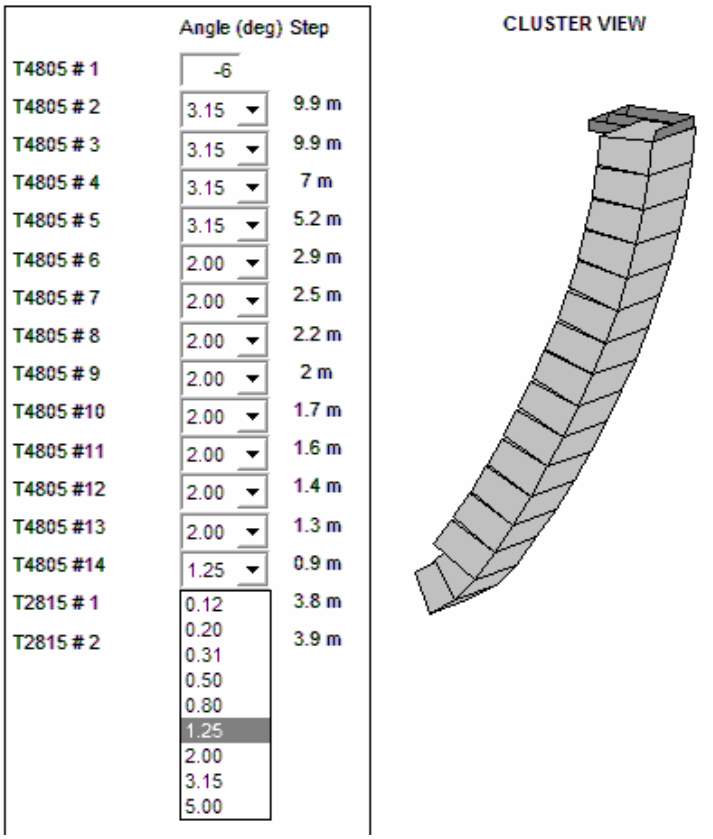


Figura 37. Simulación de montaje de un line array mediante el software "Nexo Geosoft v 1.0" que permite ajustar virtualmente los distintos ángulos entre cajas.

Un sistema que satisfaga cada una de las condiciones expuestas por la teoría, será capaz de producir ondas cilíndricas para cada una de las vías que lo constituyan hasta unas determinadas frecuencias máximas (cuyos valores se pueden calcular a partir de la expresión:

$$\mathbf{d \leq \lambda / 2.}$$

Partiendo de un límite inferior determinado por la altura del arreglo:

$$\mathbf{f\ min = 1 / 3\ L\ .}$$

Donde f es la frecuencia mínima (en Khz.) a partir de la cual se empiezan a generar ondas cilíndricas y L es la altura del arreglo en metros.

Por ejemplo, un arreglo lineal formado por ocho unidades y que tenga una altura de 3 metros comenzará a generar ondas cilíndricas a partir de:

$$\mathbf{f = (1 / 3\ ) x\ 3 = 111\ H\ z.}$$

Pero existe otra limitación impuesta por no tener un número infinito de fuentes apiladas a partir de una cierta distancia: las ondas cilíndricas generadas se transformarán en esféricas. Dicha distancia es el límite entre el campo lejano y el cercano. En el campo cercano la pérdida de presión sonora es de 3 db cada vez que se duplica la distancia, mientras que en el lejano la pérdida es de 6 dB.

La expresión que determina el límite entre campo cercano y lejano es la siguiente:

$$R = \frac{3}{2} fL^2 \sqrt{1 - \left(\frac{1}{9f^2L^2}\right)}$$

Donde f es la frecuencia en Khz. y L es la altura del cluster en metros.

Consideraciones sobre la fórmula.

Para frecuencias menores que $f \leq 1 / 3L$ no existe campo cercano. Así, un arreglo de 4 metros emitirá directamente en el campo lejano para frecuencias menores a 80 Hz. Para frecuencias mayores *a* $f \geq 1 / 3L$ la expresión del campo cercano es casi lineal con la frecuencia, ya que el término de la raíz tiende a 1.

Todo esto indica que el campo cercano puede extenderse muchos metros. Por ejemplo, en un arreglo de 4 metros de altura, a 3 kHz, puede extenderse hasta 72 metros.

Resultados.

Después de lo anterior estamos de acuerdo que los sistemas lineales son una de las innovaciones mas importantes dentro de la sonorización en muchos años y obviamente la mejor solución para el problema en cuestión.

En general resumimos las principales ventajas de dichos sistemas:

- Ofrecer un mayor nivel de presión sonora.
- Proporciona una cobertura mas uniforme.
- Excelente desempeño en instalaciones fijas como también en instalaciones móviles.
- Su principio de trabajo esta en función al ahorro energía.
- Se requiere una menor cantidad de unidades respecto a altavoces convencionales.
- Las dimensiones físicas y peso es muy inferior respecto a convencionales.
- Existe gran cantidad de accesorios para armar nuestros arreglos dependiendo nuestras necesidades.

Las principales desventajas son:

- Para el ajuste de dichos sistemas se requiere equipo y técnicas sofisticadas (que se analizarán en el siguiente capítulo).
- El costo de dichos equipos respecto a los convencionales es mucho mayor.

3.5 Presencia de ruido.

El Ruido es una señal no deseada dentro de nuestros sistemas, ya que afecta y/o altera las cualidades de las señales de interés.

Antes de definir los diversos tipos de ruido no deseados, definiremos dos tipos mas creados intencionalmente para ser empleados para experimentación, calibración y medición de diversos elementos o sistemas completos de sonorización; ruido blanco y ruido rosa.

Ruido Blanco.

El ruido blanco es el ruido térmico no filtrado ni alterado. Cuando la energía contenida en una señal de ruido blanco es promediada con respecto al tiempo (integrada sobre el tiempo), esta revelaría igual contenido de energía por Hz.

Si por ejemplo nosotros analizamos un rango de 100 Hz, entre 100 Hz y 200 Hz, y nuevamente entre 1500 Hz y 1600 Hz, o entre 10 000 Hz y 10 100 Hz, la cantidad de energía tendría que ser exactamente la misma en cada caso.

Graficando el ruido blanco con respecto a la frecuencia se mostraría que tiene un incremento de 3 dB cada octava, esto es el doble de frecuencia como se muestra en la figura 38.

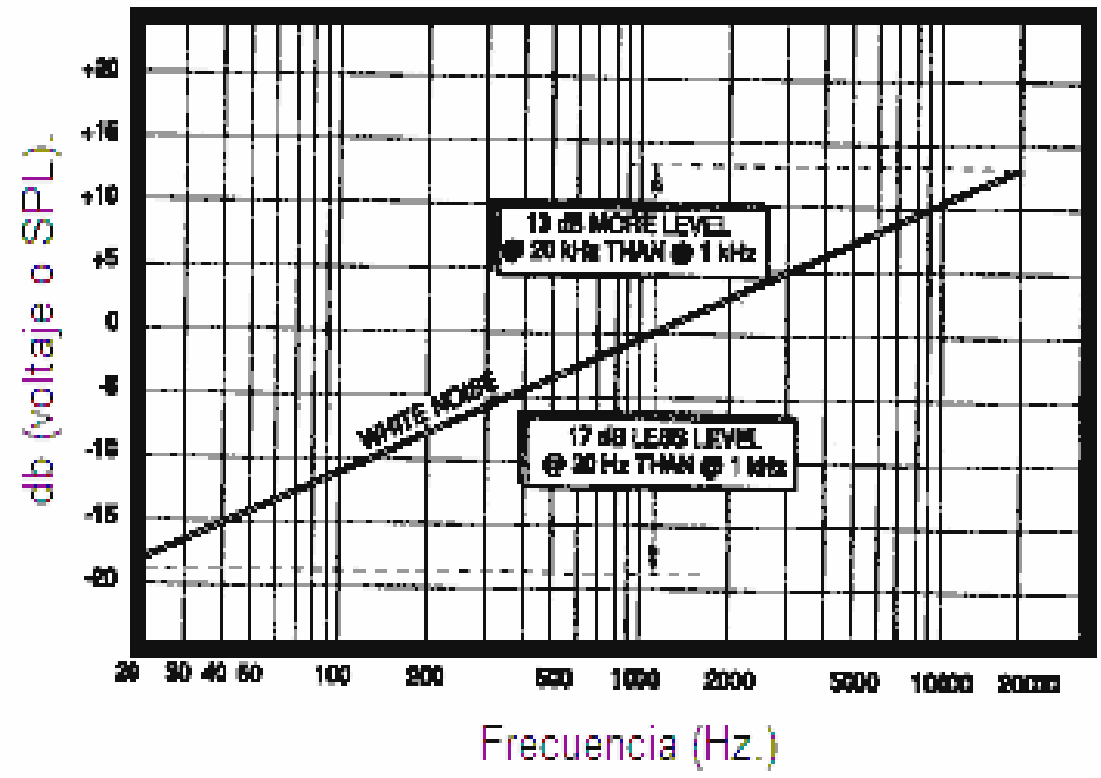


Figura 38. Representación de ruido blanco.

El ruido blanco es usado para calibrar equipo electrónico. Este casi nunca es usado para pruebas de altavoces.

El ruido rosa.

El ruido rosa es muy similar al ruido blanco solo con la diferencia de que ha sido filtrado. Tal filtro consiste en una una pendiente de 3 dB por octava que inicia en una sub frecuencia de audio y continua para reducir el nivel cuando la frecuencia se va elevando.
En esencia; éste anula el incremento de 3 dB por octava en energía del ruido blanco para crear ruido que tiene igual contenido de energía por octava.

Ya que el ruido rosa tiene igual contenido de energía por octava, es más útil para pruebas de altavoces y señal de calibración. En otras palabras es más fácil observar un comportamiento plano en un analizador de 1/3 de octava, ya que el nivel puede ser uniforme con respecto a la escala de octavas.

Además de los ruidos creados intencionalmente existen también una serie de ruidos no deseados dentro de nuestros sistemas de sonorización, los cuales pueden enmascarar porciones de un programa, reduciendo así el intervalo dinámico disponible. Altos niveles de ruido son molestos y causan fatiga al oyente, además colorea el sonido. El ruido también desperdicia potencia del amplificador, incrementa la distorsión efectiva, y acelera la falla en altavoces por generar calor innecesario.

Existen en el aspecto científico muchas señales que califican como ruido, y estos ruidos tienen nombres convenientes como; hum, buzz estático y ruido de palomitas “popcorn noise” (los cuales muy pocas veces son especificados).

Hum.

Este tipo es generalmente el resultado de “fugas” de la línea de AC dentro de un circuito de audio.

Puede ser causado por un transformador pobremente aislado, un problema en la fuente de poder, o indirectamente por acoplamiento de campos magnéticos de la línea de AC.

Mientras que las líneas de AC son normalmente de 60 Hz en México (o 50 Hz en otras partes del mundo), el hum está compuesto ante todo de componentes senoidales de 120 Hz, 180 Hz y otros armónicos de 60 Hz (o 100 Hz 150 Hz, etc para líneas de 50 Hz).

Buzz.

Este tipo de ruido es similar al hum pero contiene energía de ruido armónicamente relacionada a través del espectro audible, incluyendo alta frecuencia. Éste es a menudo causado por los dimmers SCR (rectificadores controlados de silicón) que cortan en trozos los 60 Hz de la línea de AC.

Ruido estático.
La estática puede ser causada por chispas intermitentes de líneas de potencia, generadores o motores eléctricos. O por energía de radiofrecuencia que entra al sistema de sonido y es rectificada. Éste último es conocido como RFI (interferencia de radiofrecuencia).

Solución.
Un aterrizaje apropiado y también un blindaje adecuado a lo largo de todo el sistema de audio disminuyen la probabilidad de hum, buzz y ruido estático.

El ruido popcorn (“palomitas”).

Es un ruido esporádico que puede ser causado por fallas internas dentro de los transistores, o por puntos de parcheo sucios u otras conexiones sucias como en potenciómetros y faders. Este nunca estaría presente en equipos de refuerzo sonoro que han sido diseñados apropiadamente que usan componentes de alta calidad y que trabaja en condiciones óptimas de operación.

Solución.
Básicamente la forma en que podemos eliminar y/o prevenir este tipo de ruidos es asegurarnos que todas las conexiones tanto de corriente AC (para polarizar los elementos de la cadena de audio), como las de señal (Conexiones que transportan las señales de audio a trabajar entre los elementos) se encuentren en perfectas condiciones; es decir sin falsos contactos, suciedad y juego entre conectores.

3.6 Valles acústicos.

Un valle acústico se define como la zona física dentro del recinto a sonorizar donde el nivel de presión sonora es inferior respecto a las zonas de su alrededor y aunque pueden ser ocasionadas por varios motivos, nosotros consideraremos como origen un diseño inadecuado debido a las insuficientes coberturas de nuestras bocinas y/o arreglos.

La cobertura es una propiedad de gran importancia en el área de la sonorización, ya que ésta especificación determina el número de altavoces a utilizar dentro de un recinto así como su ubicación para lograr un nivel de audio adecuado y uniforme.

Si consideramos por ejemplo un fabricante de altavoces que nos da como especificación una cobertura horizontal de 120º verticales en uno de sus modelos, querrá decir que en el limite de los 120º horizontales el SPL máximo (nivel de presión sonora máximo sobre el eje) disminuirá 6 db, mientras que dentro de dicho ángulo y con una distancia igual o menor que la del SPL max será siempre menor de 6 db la pérdida.

Por ejemplo en muchas ocasiones la colocación de un P.A estereo provoca la creación de un valle acústico en el centro del recinto en campo cercano y la solución mas común es la colocación de un front fill que compensará el SPL de diferencia con respecto a las otras zonas.

De lo anterior concluimos que para realizar nuestros diseños es necesario considerar los ángulos de cobertura de las bocinas y/o arreglos, y es muy importante conocer las distintas configuraciones que se pueden utilizar para conocer sus ventajas y desventajas.
De manera ideal se buscaría una diferencia máxima de 6db en las diferentes zonas del recinto, ya que es el límite de pérdida de la especificación de cobertura de altavoces.

Configuraciones básicas para arreglos de bocinas.

A continuación se muestran las configuraciones básicas de arreglos de altavoces considerando un modelo de la marca ***Meyer Sound*** cuya cobertura horizontal es de 80 º. Tamben se indican sus principales características y aplicaciones.

1. **Arreglo estrecho de punto de origen.**

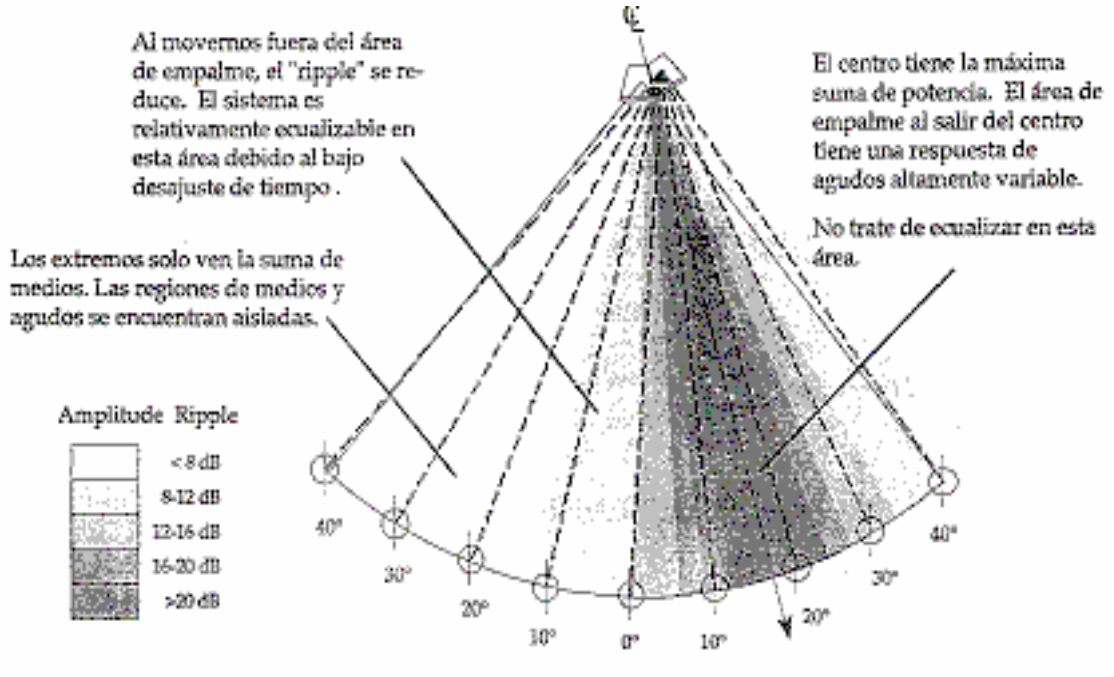


Figura 39. Arreglo estrecho de punto de origen.

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 mucho "ripple" alrededor del centro. Más suave en los lados.
Ecualizabilidad – Responde bien a la ecualización excepto en el área de empalme central.
Donde usarlo – Aplicaciones de tiro largo y cuando el ángulo deseado de cobertura es menor que el de una sola caja acústica.

2. Arreglo amplio de punto de origen.

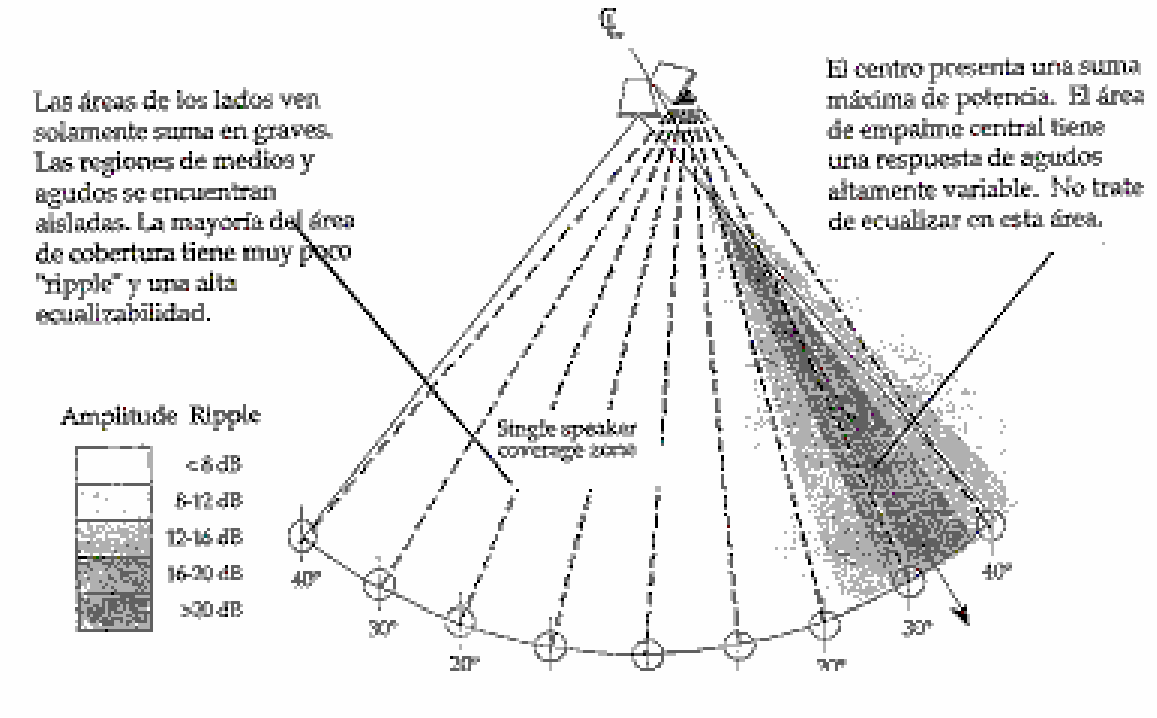


Figura 40. Arreglo amplio de punto de origen.

Cobertura – Acumulación central mínima. Por lo tanto el patrón (ángulo) 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 mucho "ripple" alrededor del centro. Es muy suave excepto en el área central.
Ecualizabilidad – Responde muy bien a ecualización excepto en el área central de empalme.
Donde usarlo – cuando el ángulo de cobertura deseado es mayor que el de una sola caja acústica.

3. **Arreglo en paralelo.**

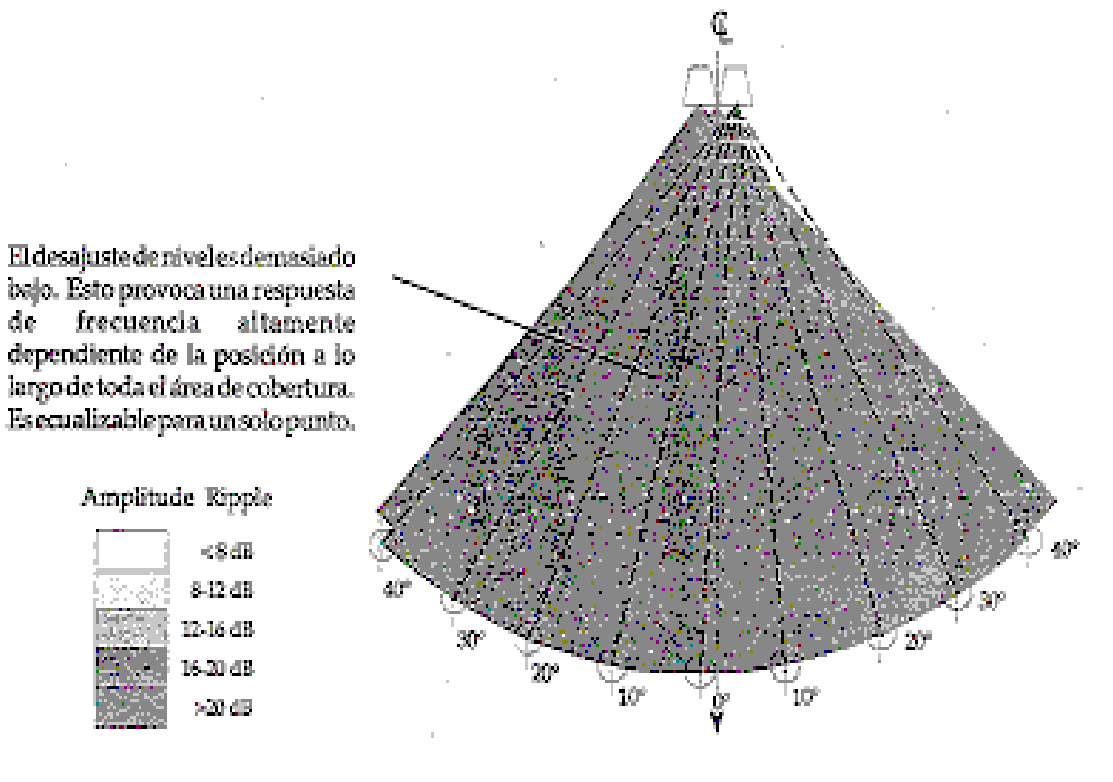


Figura 41 Arreglo en paralelo.

Cobertura – Misma cobertura que con una sola caja acústica.
SPL sobre el eje – Suma máxima.
Distribución de nivel – Igual que con una sola caja acústica.
Distribución de respuesta en frecuencia – Cada posición tiene su propia respuesta en frecuencia. El "ripple" de agudos es severo en todas las posiciones.
Ecualizabilidad – Puede ser ecualizado solo para un punto. Aun así, la ecualización deberá ser para rectificar el sistema.
Donde usarlo – ¡Solamente en subwoofers!

4. Arreglo de fuego cruzado.

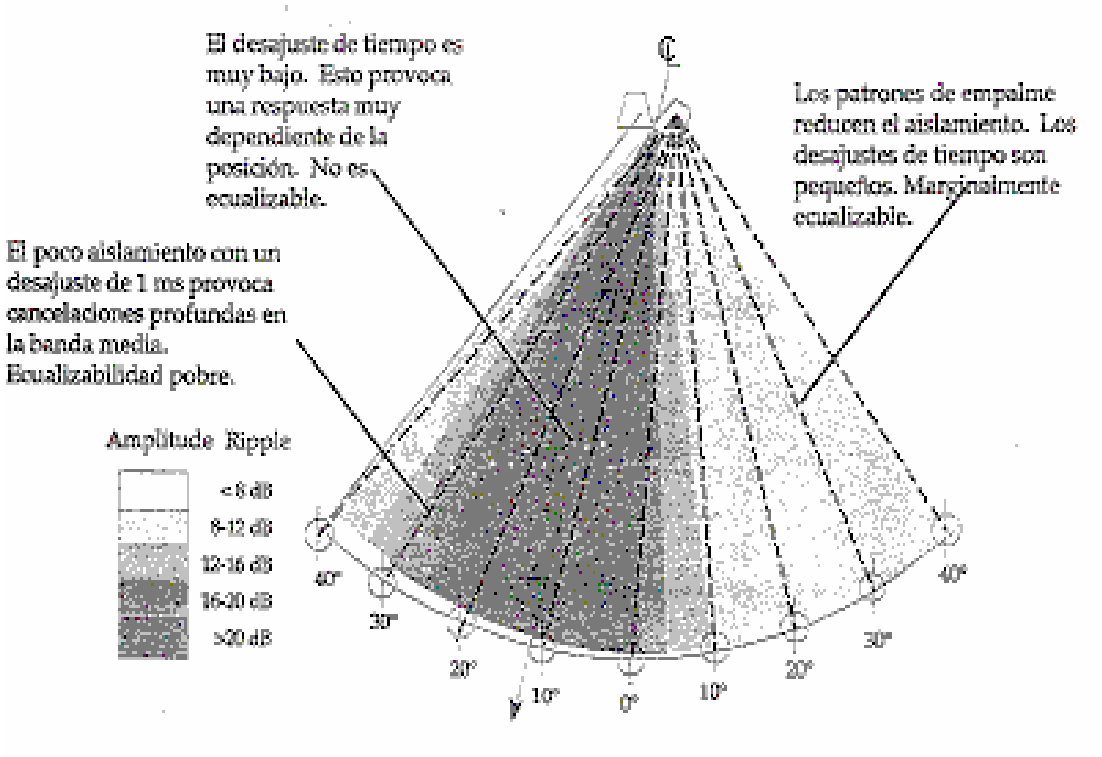


Figura 42 Arreglo de fuego cruzado.

Cobertura – La acumulación central provoca un estrechamiento del área entre los puntos de -6db (ángulo).
SPL sobre el eje – Suma Máxima.
Distribución de respuesta en frecuencia – Pobre. La mayoría del área central tiene demasiado "ripple".
Ecualizabilidad – Pobre. Existe una alta variabilidad a través del área de cobertura.
Donde usarlo – ¡No debe utilizarse!

5. **Arreglo separado estrecho en paralelo.**

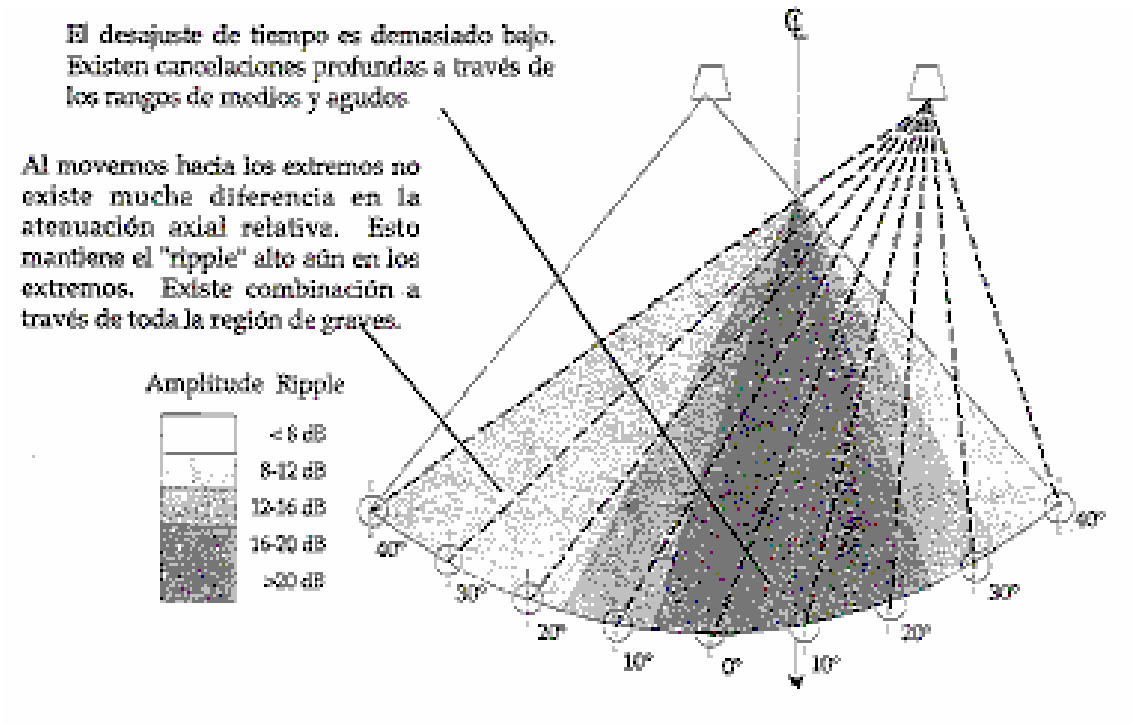


Figura 43 Arreglo separado estrecho en paralelo.

Cobertura – Amplia.
SPL sobre el eje – Algo de suma en el área central.
Distribución de respuesta en frecuencia – Muy pobre. El área grande de empalme tiene desajustes grandes de tiempo causando un "ripple" profundo dentro del rango de graves. La "comb frequency" cambia muy rápidamente al movernos fuera del centro.
Ecualizabilidad – La interacción es solo ecualizable en frecuencias muy bajas donde se parece mas a una sola fuente. Los rangos de medios y agudos solamente deben ser ecualizados como fuentes individuales y no como un sistema completo.
Donde usarlos – En aplicaciones de relleno ("fill") donde la profundidad de cobertura es pequeña y amplia.

6. Arreglo separado amplio en paralelo.

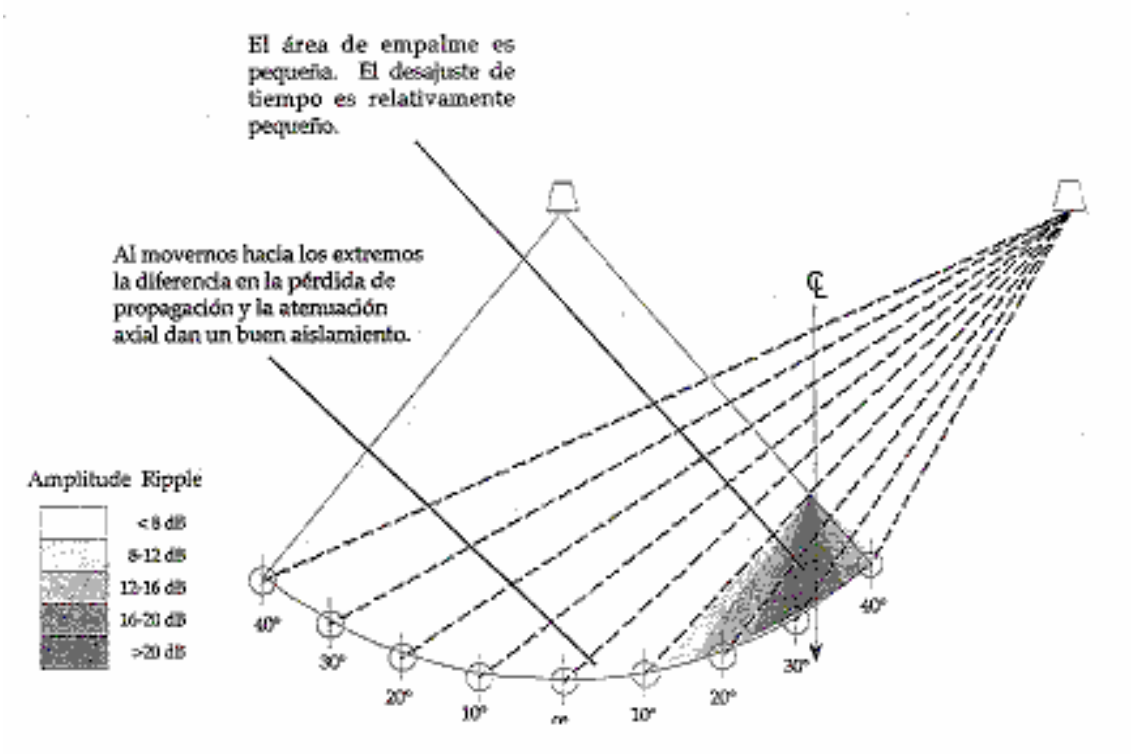


Figura 44 Arreglo separado amplio en paralelo.

Cobertura – Amplia.
SPL sobre el eje – El mismo que con una sola bocina mas una adición mínima en el centro. El acoplamiento de graves será mínimo.
Distribución de nivel – Bueno.
Distribución de respuesta en frecuencia – Las bocinas actúan muy independientemente. Existirá "rippe" en el área de empalme pero el área sobre el eje tendrá un aislamiento suficiente para que el "ripple" sea bajo.
Ecualizabilidad – La interacción es solo ecualizable en frecuencias muy bajas donde se parece mucho a una sola fuente. Los rangos 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.

7. Arreglo separado de punto de origen.

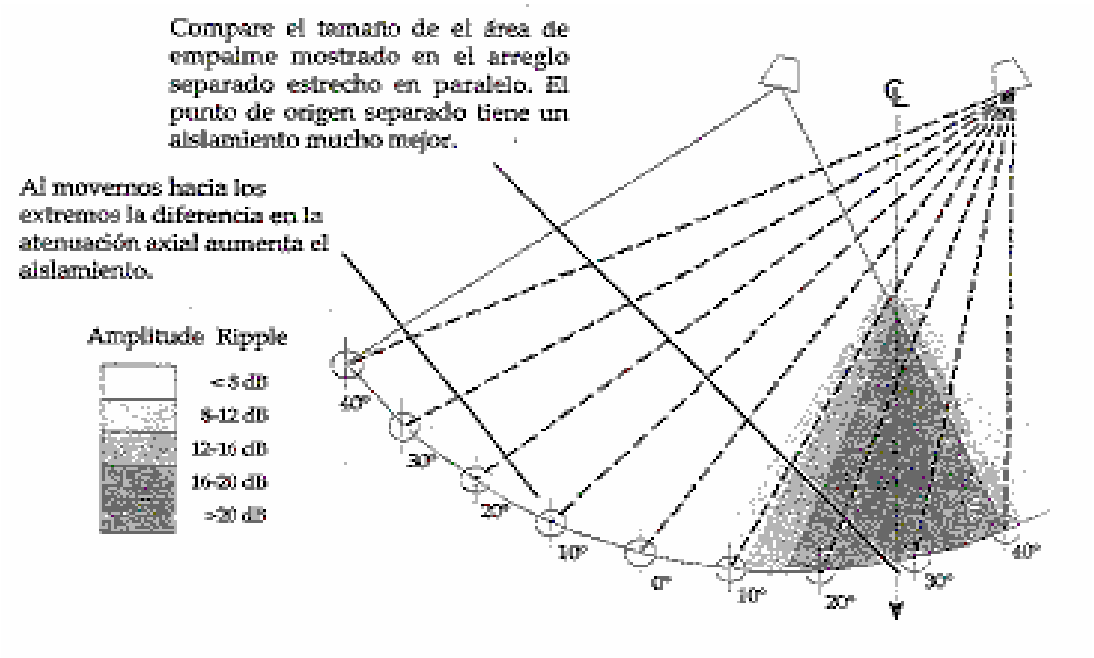


Figura 45 Arreglo separado de punto de origen.

Cobertura – Amplia.
SPL sobre el eje – El mismo que para una sola bocina mas 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 muy independientemente. El área de empalme es mucho menor que con los arreglos separados en paralelo.
Ecualizabilidad – La interacción es solo ecualizable en frecuencias muy bajas donde el arreglo se asemeja a una sola fuente. Los rangos de graves y medios deben ser solo ecualizados como fuentes individuales.
Donde usarlos – Aplicaciones de relleno donde la profundidad de cobertura es muy corta y amplia.

8. Arreglo separado de punto de destino.

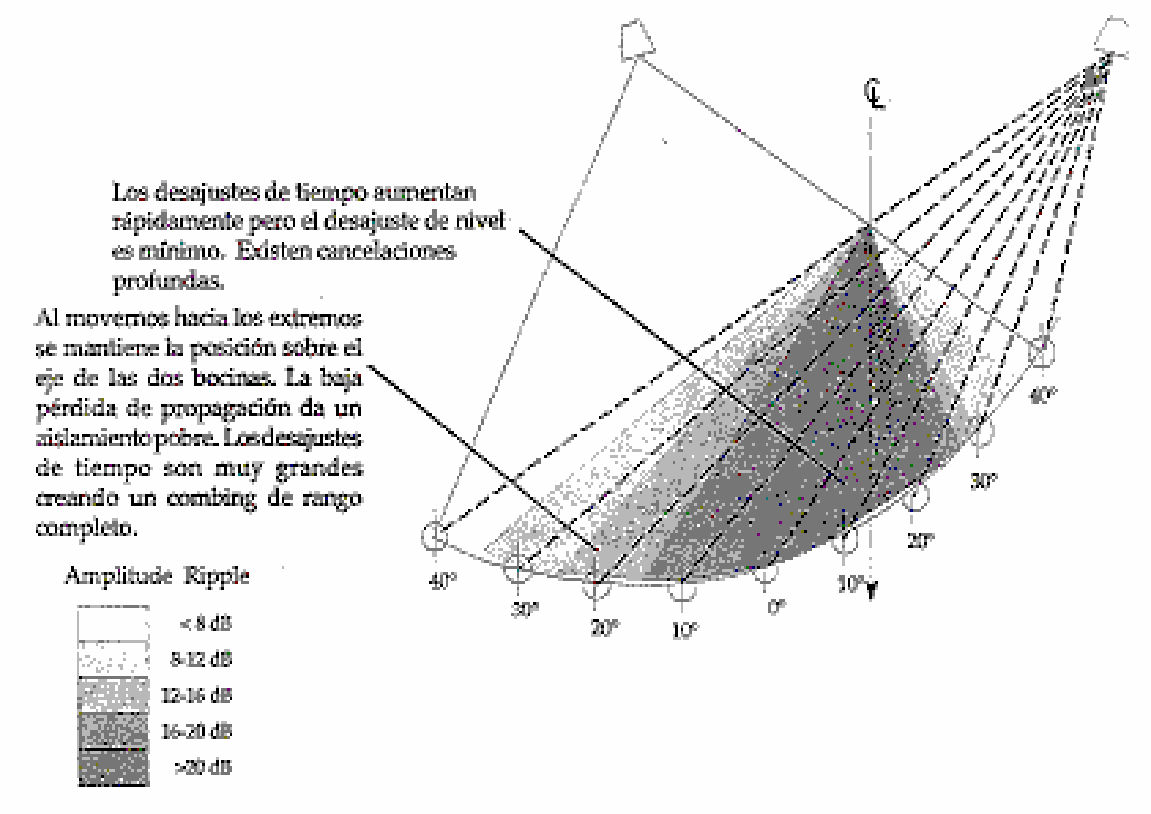
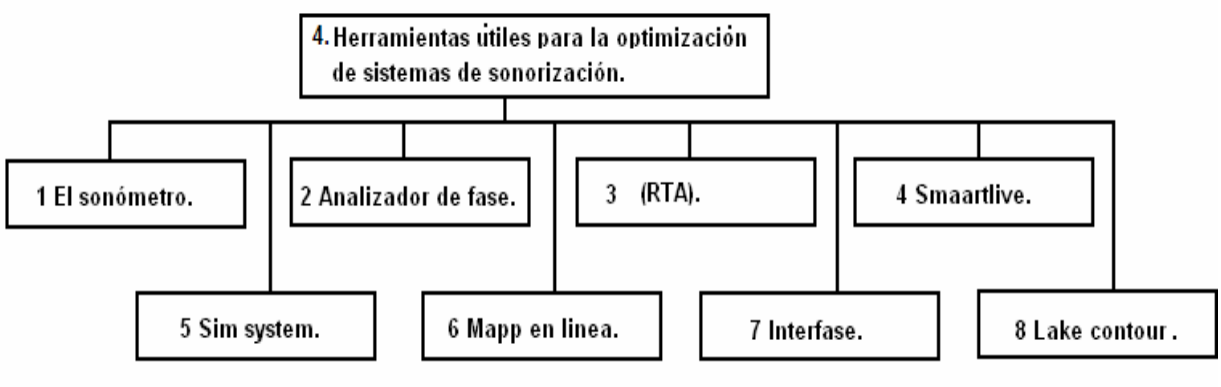


Figura 46 Arreglo separado de punto de destino.

Cobertura – Angosta.
SPL sobre 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. El "ripple" en agudos es severo justo fuera del centro, moviéndose hacia abajo en frecuencia mientras nos movemos a los lados.
Donde usarlos – Bocinas "in fill" para cubrir un área central cercana. La profundidad de cobertura debe mantenerse al mínimo o el empalme excesivo causará cancelaciones profundas.

4. HERRAMIENTAS EMPLEADAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE SONORIZACIÓN PARA MÚSICA EN VIVO.



Durante este capítulo se analizarán las principales herramientas que nos permiten lograr sistemas eficaces, así como también nos son útiles en el ajuste, operación, corrección y mantenimiento de sistemas de sonorización.

Estas herramientas se componen de software, hardware y equipo de medición.

4.1 El sonómetro.

El sonómetro es un equipo que permite cuantificar objetivamente el nivel de presión sonora y dicho nivel es expresado en decibeles (ver figura 47). En esencia se compone de un elemento sensor primario (micrófono), circuitos de conversión, manipulación y transmisión de variables (módulo de procesamiento electrónico) y un elemento de presentación o unidad de lectura. Cumpliendo, así, con todos los aspectos funcionales inherentes a un instrumento de medición.



Figura 47. Sonómetro analógico y sonómetro digital.

Debido a que el oído humano no percibe los sonidos en forma plana, la lectura proporcionada por un sonómetro puede no corresponder a nuestra percepción de intensidad (lo cual desprende de las investigaciones realizadas por Fletcher y Munson).

Por ejemplo, si un sonómetro registra una frecuencia de 1 kHz a un nivel de 60 dB SPL, nuestro oído lo percibe como tal, pero si la frecuencia cambia a 100 Hz, nuestro oído lo percibirá con 15 dB menos de intensidad.
Debido a esto los sonómetros traen un selector de ponderación basados en tres curvas de corrección llamadas A, B y C las cuales realizan diferentes grados de corrección, y se utilizan para mediciones de diferente intensidad sonora.

La curva de corrección **A**, esta basada en la curva de 40 phons, y se utiliza para mediciones menores a 50 dB SPL. Se le denomina dBA. Es utilizada para mediciones ambientales.

La curva de ponderación **B**, está basada en la curva de 70 *phons*, y se utiliza para mediciones que se encuentran entre 60 dB SPL y 80 dB SPL. Se le denomina dBB. Es utilizada para mediciones ambientales o industriales.

La curva de ponderación **C**, esta basada en la curva de 100 phons, y se utiliza para mediciones mayores a 90 dB SPL. Se le denomina dBC. Es utilizada para mediciones de sistemas de sonorización (Es decir será la utilizada en todas las mediciones durante esta tesis).

Otra función que generalmente traen los sonómetros es un selector de velocidad de ataque, la cual determina la velocidad en que el sonómetro responderá al sonido que percibe. Las dos opciones comunes son fast (rápido) y slow (lento).

¿Como elegir un buen sonómetro?

Para comenzar hay que decir que no existe el sonómetro mágico utilizable en todas las aplicaciones. La definición de los eventos sonoros a estudiar, el ambiente y los objetivos perseguidos con las mediciones, constituye la clave de una correcta elección del instrumental.

A continuación se proponen diez indicadores técnicos que deben facilitar la tarea de elegir un sonómetro:

1. Clase del instrumento: Puede ser de clase 0, 1, 2 o 3 depende de la precisión buscada en las mediciones y de la aplicación.

Clase 0: se utiliza en laboratorios. Sirve como referencia.

Clase 1: empleo en mediciones de precisión.

Clase 2: utilización en mediciones generales.

Clase 3: empleado para realizar reconocimientos (mediciones aproximadas).

2. Micrófono suministrado: Este aspecto es de suma importancia puesto que determina el rango de frecuencias que podrá analizar el instrumento. Aquí debe tenerse en cuenta el tipo de micrófono, su sensibilidad, la banda de frecuencias, la capacitancia (pF) y el nivel de ruido inherente.

3. Parámetros de medida: Este aspecto determina los tipos de mediciones que pueden hacerse con el instrumento. Los parámetros consideran dos tipos de ponderaciones, a saber:

Ponderaciones de frecuencia: pueden ser **A**, **B**, **C**, **D**, **U**.

Ponderaciones de tiempo: pueden ser **S** (slow), **F** (fast), **I** (impulsive) y **Peak** (pico).

Es importante saber que no todos los modelos de sonómetros cuenten con el total de ponderaciones existentes.

4. Funciones especializadas: Este aspecto esta regido por el diseño de cada modelo de sonómetro. Dichas funciones dan posibilidades para el estudio más completo del paisaje sonoro que se analiza. Pueden ser los valores RMS, pico, filtros para corregir los efectos de pantalla y la incidencia sonora frontal o aleatoria, almacenamiento del historial de calibración, detectores de sobrecarga, nivel de criterio, nivel de umbral y filtros para análisis de infrasonidos y ultrasonidos.

5. Salidas auxiliares: Debe contar con salida de corriente continua (CC) y de corriente alterna (CA). La salida CA es fundamental para posibles mediciones con cinta para audio digital (**DAT**, siglas en inglés) El **DAT** se conecta a la salida de CA obteniendo un registro de la señal que permite analizarla posteriormente. Una impedancia de salida aceptable puede ser 100 ohm. No todos los sonómetros ofrecen la salida auxiliar de CA.

6. Capacidad de almacenamiento: En dependencia de los objetivos que se fijen, algunas veces es importante poder mantener los registros para un posterior análisis. Por ejemplo, el Mediator 2238 de Brüel & Kjaer dispone de una memoria de 2 Megabytes que puede almacenar hasta 500 archivos, con fecha, hora de inicio, configuración y datos de calibración. Tiene la ventaja que permite recuperar los datos y mostrarlos en pantalla, imprimirlos o transferirlos a la computadora para un estudio superior

7. Módulos de software opcionales: Característica muy vinculada a la anterior. Permite realizar análisis más complejos de las señales: análisis espectrales y estadísticos

8. Control de medición: puede ser manual o con tiempo preestablecido (en el último caso existen equipos con posibilidades de almacenamiento automático que van desde 1 segundo hasta 24 horas).

9. Interfaz de usuario: debe velarse por una disposición lógica de las funciones. Teclas marcadas claramente y un tamaño de pantalla que no dificulte los análisis.

10. Accesorios opcionales: Existe una gran variedad de accesorios opcionales que deben ser elegidos en dependencia del uso destinado al sonómetro y de las posibilidades monetarias. Algunos de ellos son: programas de análisis, calibradores, impresoras portátiles, etc.

4.2 Analizador de fase.

Este es un elemento que nos permite conocer la coherencia de fase entre señales y determina la polaridad absoluta en altavoces, micrófonos y sistemas de conexión.

Mediante la corrección de fase se pretende asegurar que la relación de tiempo entre frecuencias se mantenga intacta en los sistemas de sonorización.

Comúnmente dicho dispositivo viene junto a otras herramientas como son: sonómetro, generador de tonos, analizador de espectro y medidor de tiempo de reverberación.



Figura 48.Analizador de audio portátil PAA3 de la marca Phonic.

4.3 Analizador de tiempo real (RTA).

El analizador de tiempo real (RTA) es un dispositivo muy útil dentro de los sistemas de sonorización para su ajuste y optimización.

Dicho elemento es capaz de mostrar un rango de frecuencias simultáneamente o un rango de frecuencias tan rápidamente que parezca continuo e indica el nivel de potencia de una porción en decibeles del espectro analizado (por ejemplo de 12 hz a 31,000 hz).

Un analizador de tiempo real (RTA) es un dispositivo que divide el espectro de audio en bandas de frecuencia, puede ser en octavas, 1/3 de octava o mas, (al igual que un ecualizador) y muestra en una matriz de LEDs o en una pantalla la energía presente en cada una de las bandas; como se pede ver en la figura 49.

En general los analizadores tienen dos formas de operar:

Haciendo uso de la FFT (transformada de Fourier rápida).

Donde el ruido blanco da un espectro plano (o línea recta con pendiente 0 dB) en todo el rango audible (supongamos de 20 a 20kHz), en cambio el ruido rosa dado que esta más "cargado de energía" en bajas, su espectro mediante un analizador por FFT será una recta con una pendiente de 3 dB dentro del rango 20 a 20 kHz.

Haciendo uso de la descomposición con bancos de filtros de ancho de banda proporcional digitales.

El ruido rosa tendrá un espectro plano o línea recta con pendiente de 0 dB, y ahora el ruido blanco será una línea con una pendiente de +3 dB.

La FFT (Transformada rápida de Fourier) es un algoritmo que permite hacer los cálculos con pocos recursos de computo, aunque lo correcto sería la transformada discreta de Fourier. La respuesta impulso de un sistema al aplicarle la transformada de Fourier nos dará un espectro el cual es la respuesta en frecuencia.

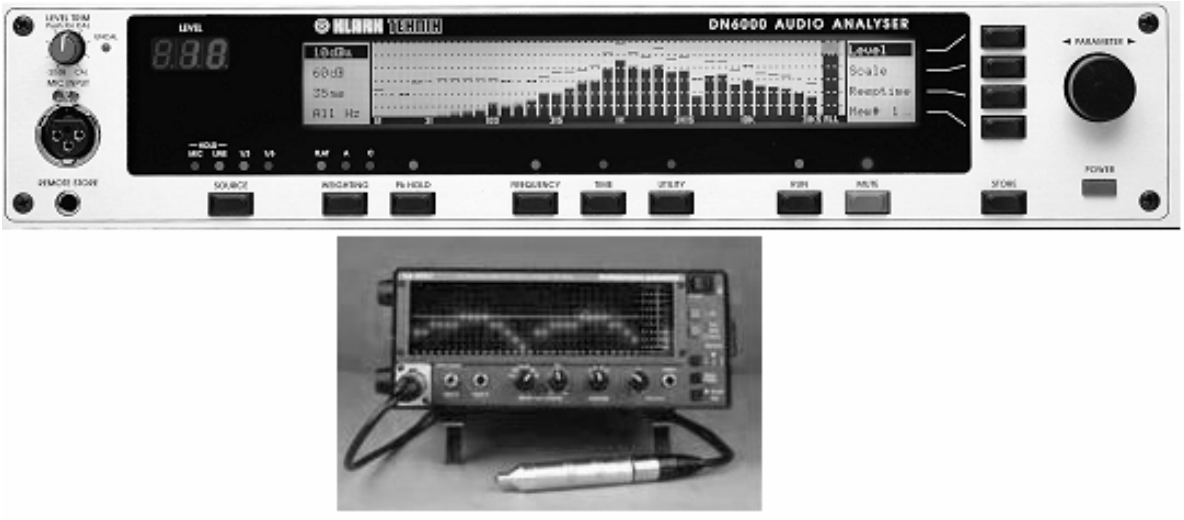


Figura 49. Analizadores de espectro.

Algunas de las funciones básicas que tienen los RTA son:

Sourse. Selector de fuente de entrada.

Hold. Memorizador de espectro.

Heighting. Selector de ponderación utilizada para que la lectura corresponda a nuestra percepción de intensidad al igual que en sonómetros (analizado anteriormente)

Time. Selector de tiempo de respuesta.

Mute. Interruptor de análisis.

Scale. Selector de escalas a trabajar.

4.4 Smaartlive.

Smaartlive es un software desarrollado por SIA software Company y se ha convertido en una herramienta fundamental para el ajuste, diseño y pruebas de sistemas de sonorización.

Smaart fue diseñado originalmente para proporcionar a los profesionales del audio y consultores acústicos una herramienta práctica, económica y fácil de usar para el análisis acústico y la optimización de sistemas de sonido, sin necesidad de costosos equipos dedicados a lograr dicho fin.

Este software proporciona herramientas de análisis para señal almacenada en disco y para tiempo real que permiten al usuario medir, evaluar y ajustar instalaciones de sonido y comprender las condiciones acústicas. Smaartlive aprovecha la potencia del procesador de los sistemas operativos para proporcionar velocidad y flexibilidad.

Características, herramientas y funciones básicas de SmaartLive.

Fundamentalmente, SmaartLive es un analizador de doble canal y es capaz de realizar un gran número de tareas de medición que son requeridas por el profesional de audio. Es importante establecer que esta herramienta no está destinada a reemplazar la audición crítica y la experiencia humana, sino que la aplicación inteligente de esta plataforma de medición a las tareas de configuración, en la búsqueda y solución de problemas, y en la optimización de sistemas, da al usuario ventajas muy significativas.

A continuación se definen los modos de medición básicos de SmaartLive (spectrum, transfer función e impulse) y una sinopsis de cada modo con los usos y aplicaciones más comunes.

Modo SmaartLive	Características Principales	Aplicaciones
Spectrum (Espectro)	• Análisis de espectro en tiempo real • Muestra los datos en banda estrecha y en fracciones de octava • Calibración a niveles de presión sonora reales con medición en SPL • Funciones continuas espectrográficas y de registro de SPL	• Seguimiento del espectro de la fuente activa • Seguimiento del SPL para actuaciones en directo • Análisis de niveles de ruido • Detección de acoples (realimentación)
Transfer Function (Función de Transferencia)	• Análisis de la función de transferencia en tiempo real • Ventanas configurables de magnitud y fase • Análisis en banda estrecha y puntos fijos por octava (FPPO) • Muestra la coherencia en tiempo real	• Mediciones de la función de transferencia de altavoces, ecualizadores, sistemas de audio • Optimización en tiempo real de sistemas (incluyendo ecualizadores, filtros electrónicos, retardos, etc.)
Impulse (Impulso)	• Medición de la respuesta del impulso • Muestra los datos en formato lineal, logarítmico y ETC • Calcula automáticamente el tiempo de propagación	• Medición de la respuesta al impulso del sistema de sonido con la sala • Configuración de retardos de altavoces, etc.

Una gran ventaja de este software es que además cuenta con un generador de señales interno que simplifica el proceso de la realización de las mediciones creando y/o generando las señales apropiadas para cada medición. Así se elimina la necesidad de una fuente externa para generar las señales de prueba. Otra ventaja es que Smaart puede controlar equipos externos como procesadores de altavoces (por ejemplo: Lake contour) y ecualizadores.

Elementos necesarios para la utilización de Smaartlive.

Los elementos básicos necesarios para poder utilizar Smaart se indican a continuación de manera detallada, estableciendo las principales características requeridas en cada uno.

1. **Micrófono de medición.**

Es obvio pensar que si se requiere obtener mediciones confiables se necesitará un micrófono de medición para captar las señales acústicas.
La función básica del micrófono (como ya se vio) es la de convertir la presión acústica de un punto en un voltaje, tan fielmente como sea posible. Así, que nuestro micrófono debería ser omnidireccional y con una respuesta de frecuencia plana.

La mayoría de los micrófonos de medición están basados en diseños de condensador y necesitarán algún tipo de alimentación. Esta alimentación puede llegar desde su preamplificador en forma de phantom power (entre 12 - 48VDC) o a través de una pila interna. En algunas ocasiones se requerirá un calibrador de micrófono para poder realizar mediciones de SPL y asegurar resultados confiables.

2. **Preamplificador de micrófono.**

Para conectar el micrófono a la computadora se necesitará un preamplificador, el cual debería tener un nivel de ruido residual bajo (prácticamente nulo) y la ganancia suficiente para usos generales.

El preamplificador deberá disponer de alimentación phantom (que usa la mayoría de los micrófonos de medición).
Muchos usuarios pueden preferir usar una mezcladora en vez de un preamplificador y en este caso es importante no olvidar deshabilitar todos los procesos de los canales usados (ecualización, procesadores dinámicos, etc.)

3. **Tarjeta de sonido.**

SmaartLive requiere una tarjeta de sonido compatible con al menos dos entradas de nivel de línea independientes (normalmente en la forma de una entrada estéreo) y una salida a nivel de línea. La mayoría de las computadoras portátiles con tarjetas de sonido ofrecen solamente una entrada mono (un solo canal), así que si no se dispone de una entrada estéreo, no será posible usar las funciones de transferencia ni de impulso de nuestro software.

Nótese que hay soluciones de hardware externo, algunos de las cuales combinan conversores A/D (analógico/digital) y D/A (digital/analógico) con pre-amplificadores de micrófono. Estos dispositivos son muy útiles para usos portátiles y pueden disponer además de interfaces USB, PCMCIA, y Firewire.

Independientemente del dispositivo elegido, debe usar un driver de audio compatible con Windows.

4. **Computadora con SIA-SmaartLive.**

Para usar SmaartLive, la computadora debe cumplir con ciertos requisitos, que en general se cumplen en cualquier computadora estándar y es muy recomendable usar una computadora portátil para aplicaciones móviles.

5. Cableado y conexiones.

Se requiere contar con los cables apropiados para conectar nuestro sistema de medición a los equipos que se medirán. Es importante emplear solo cables profesionales y evitar el uso de adaptadores y conexiones de tipo consumidor.

Si la tarjeta de sonido utiliza conectores de 1/8 de pulgada estéreo, emplear cables adaptadores que los convierte a conectores jack de ¼ de pulgada o a conectores XLR.

Después de conocer las características, herramientas y elementos necesarios para la utilización del Smaartlive analizaremos dos de las configuraciones más empleadas en sistemas de sonorización para música en vivo, lo que nos dará una visión general para un buen aprovechamiento de dicha herramienta en cualquier condición.

Ejemplo de Aplicación 1
SmaartLive como un Analizador de Tiempo Real (RTA).

La función más básica de SmaartLive está en el modo Spectrum, el cual habilita los dos canales para análisis en tiempo real. En este modo, SmaartLive contiene funciones similares a un dispositivo de RTA, donde se descomponen las señales entrantes complejas en las frecuencias individuales y se muestran en pantalla dinámicamente. Por defecto, SmaartLive muestra los dos canales como un gráfico de barras de energía y frecuencia. Cada barra representa una banda de energía de 1/12 de octava, aunque se puede seleccionar otras resoluciones.

Conectando el Sistema.

Para usar este modo, se necesita conectar cualquier señal de audio compatible a, al menos, una entrada de la tarjeta de sonido.
En el modo RTA se pueden visualizar los dos canales simultáneamente. Así, se podrían conectar, entre otras posibilidades, un micrófono de medición a un canal y la salida de la consola de audio a la otra (como se ilustra en la figura 50).

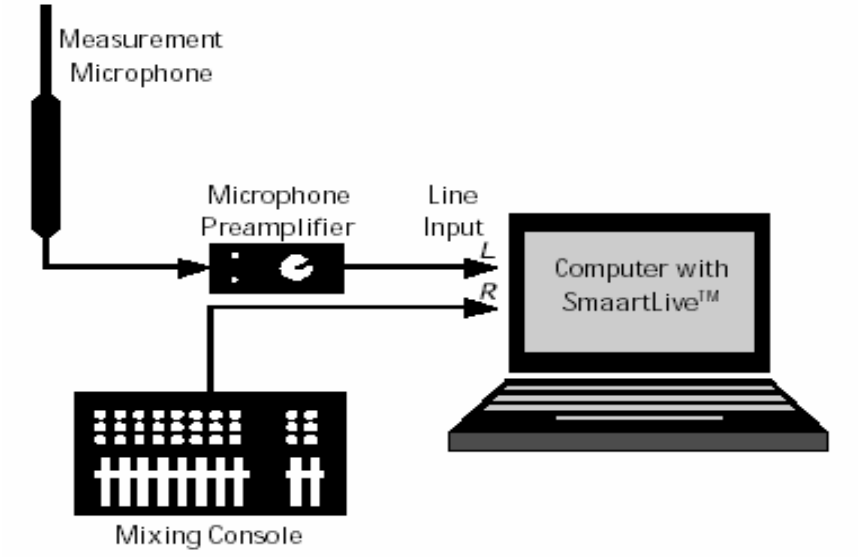


Figura 50. Configuración del Smaart para mediciones en tiempo real (RTA).

Una vez que se ha conectado a la entrada una señal con nivel de línea o un micrófono conectado a un preamplificador se enciende el smaartlive que por defecto abre en el modo Spectrum. Finalmente oprimir el botón de encendido (on) y así comenzarán las mediciones en tiempo real.

Ahora debería ver el espectro de la señal de entrada dividido por bandas como en la Figura 51. Por defecto se ven los dos canales. Si estamos usando un micrófono, la pantalla de espectro responderá a cualquier ruido.

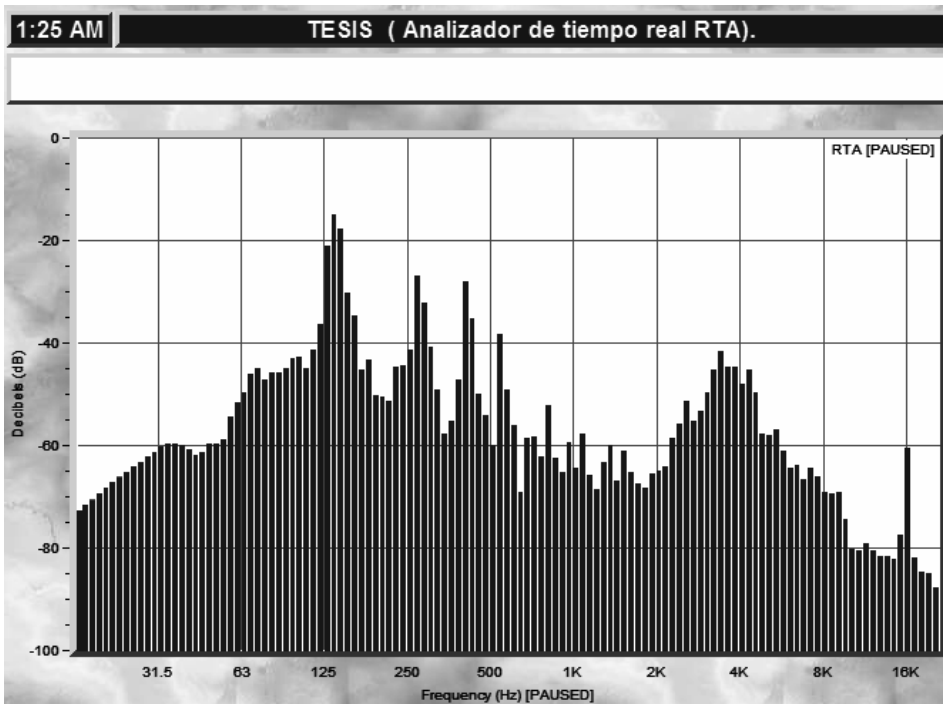


Figura 51. Pantalla de espectro RTA (trabajando con una escala de 1/12vo de octava).

Se pueden tener diferentes vistas de los datos entrantes seleccionando una escala diferente en la función de Scale (escala). Los datos pueden ser presentados en bandas de 1/1, 1/3, 1/6, 1/12 y 1/24 de octava; o como el espectro de potencia de banda estrecha con escala de frecuencia logarítmica o lineal.

También son configurables los parámetros básicos de la Transforma Rápida de Fourier (FFT): los promedios y la ponderación.

Se pueden usar los promedios para variar la rapidez de la respuesta de la pantalla, permitiéndole ver la respuesta instantánea de la señal o el contenido del espectro en el tiempo. Las opciones de configuración incluyen: Slow (lento), Fast (rápido), Exp (representa el comportamiento de caída exponencial), Inf (mantiene el promedio equilibrado de todos los datos desde su inicialización) y el promedio de las últimas n mediciones con valores numéricos entre 1 y 128.

El modo espectro contiene otras características útiles, incluyendo la calibración absoluta, la medición de SPL, historia temporal de SPL, y funciones en tiempo real de espectrógrafo (como se puede observar en la figura 52). Note que estas funciones mostrarán datos solo para el canal de entrada activado (Se asigna el canal activado haciendo clic sobre su medidor de entrada).

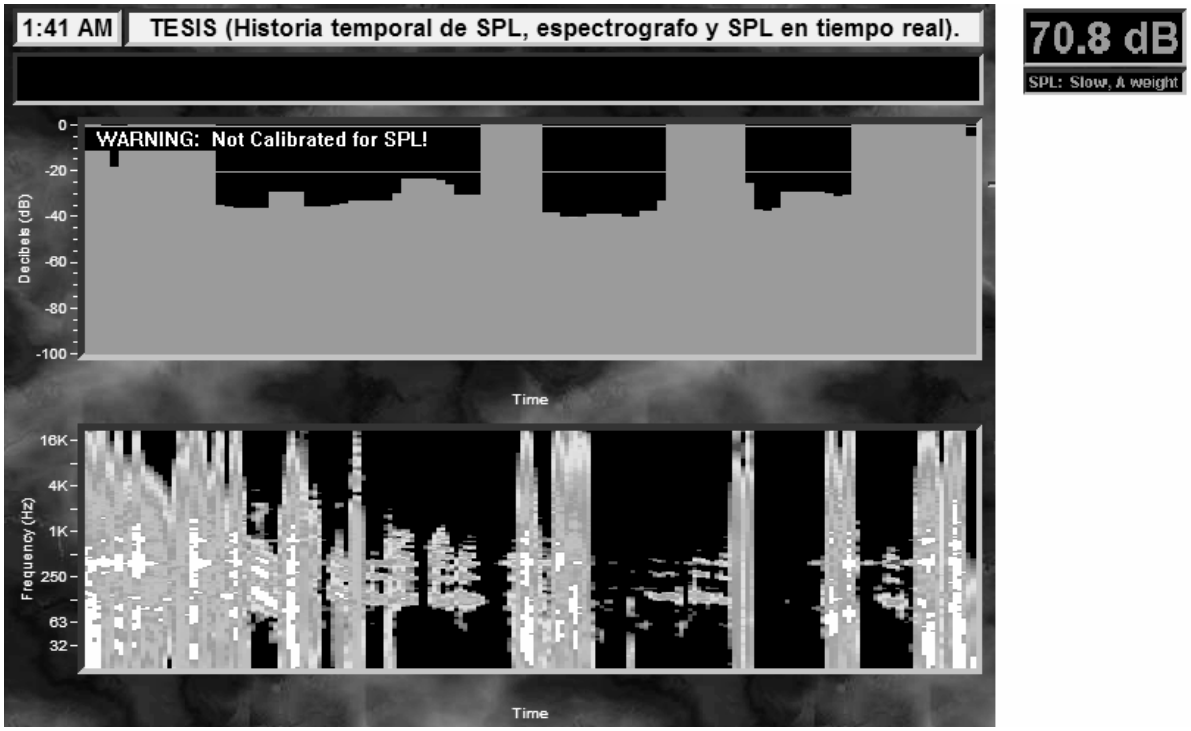


Figura 52. Muestra de mediciónes avanzadas del modo Spectrum (Historia temporal de SPL, espectrógrafo, y SPL calibrado en tiempo real).

El modo Spectrum es muy útil para identificar las frecuencias de acoples, ver el ruido de la sala, estudiar el contenido espectral de música, entre otros usos.

Históricamente muchas personas han empleado los métodos del análisis en tiempo real (RTA) para medir una supuesta respuesta en frecuencia y realizar ecualización, pero es más recomendable utilizar Smaartlive, ya que su capacidad de medición con su función de transferencia es mucho mas precisa y útil para esa tarea.

El modo Spectrum no puede distinguir entre el sonido directo y el reflejado, ni discriminar entre la señal de prueba y ruido ajeno. Estas razones limitan su utilidad para las tareas de la optimización de la respuesta de los sistemas de sonido.

Ejemplo de Aplicación 2.
Midiendo un Altavoz.

En este ejemplo se emplean los dos modos restantes: de Impulso y Función de Transferencia; esto para medir el comportamiento de un altavoz en una sala.
Para realizar esta configuración se necesitará un altavoz y amplificador (o un altavoz auto-amplificado).

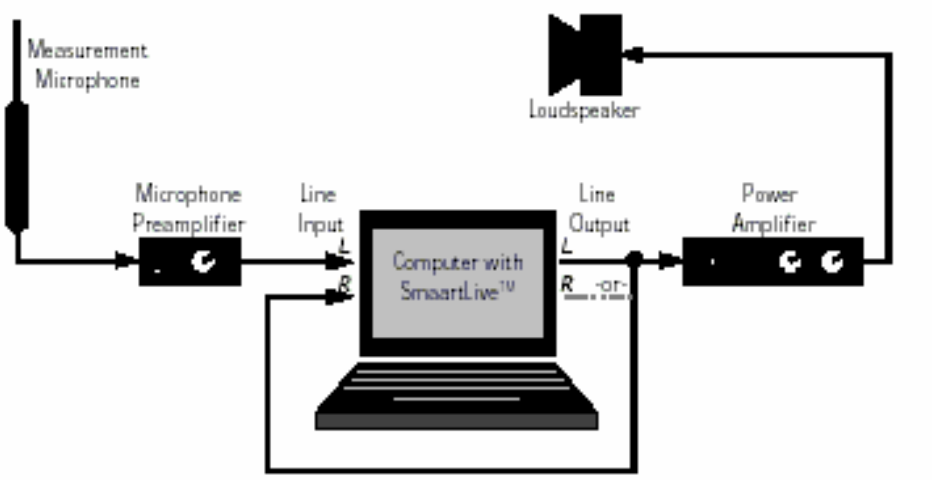


Figura 53. Configuración básica para medir un altavoz.

Conectando el Sistema.

Para realizar la conexión de la figura 53 se necesita conectar la salida de la tarjeta de sonido al amplificador de potencia y después al altavoz, además a la entrada derecha (la señal de referencia) de la computadora.

Para esta prueba se utiliza un micrófono para obtener la señal medida, el cual se conecta a la entrada izquierda de la tarjeta de sonido después de pasar por un preamplificador.

Se debe posicionar el micrófono de medición a una distancia nominal del altavoz, por ejemplo; a 1 metro (distancia a la que se dan especificaciones técnicas).

Es importante considerar que mientras más lejos esté el micrófono del altavoz, más difícil será separar el sonido directo del altavoz de la influencia de las reflexiones de la sala y ruidos.

Ajustando los Niveles de Señal.

Ya que se tiene hecha la conexión se deben ajustar ahora los niveles de señal para obtener una ganancia razonable a través del sistema. Posteriormente activamos la función de Spectrum y encendemos el analizador. Encendemos el generador interno y ajustamos su nivel hasta que el sonido del altavoz esté apreciablemente más alto que el ruido ambiental de la sala.

Se recomienda empezar con una ganancia baja en el amplificador de potencia e incrementarlo lentamente para evitar que lleguen a nuestros oídos señales altas inesperadas. Después, podemos ajustar los niveles de entrada de la tarjeta de sonido y del preamplificador de micrófono para conseguir un nivel de entrada apropiado. Para obtener mejores resultados, se recomienda igualar los niveles de las entradas de referencia y de medición mediante el ajuste de la ganancia del preamplificador.

Medición de la Respuesta de Impulso.

Para realizar la medición de la respuesta de impulso de un altavoz en una sala hay que entrar al modo Impulse (impulso); SmaartLive automáticamente medirá la respuesta de impulso del sistema y lo mostrará en la pantalla. Para realizar nuevamente esta medición bastará pulsar el botón Start.

En la figura 54 se muestra la respuesta al impulso típica de lo que se ve al medir un altavoz en cualquier sala no anecoica, o sea en cualquier habitación con superficies reflexivas. La imagen de la respuesta al impulso muestra la historia de la energía que llega al micrófono en el tiempo, y es muy útil para entender exactamente lo que se está midiendo. La figura 54 muestra la imagen de la magnitud logarítmica, e indica la magnitud de la respuesta del impulso en db.

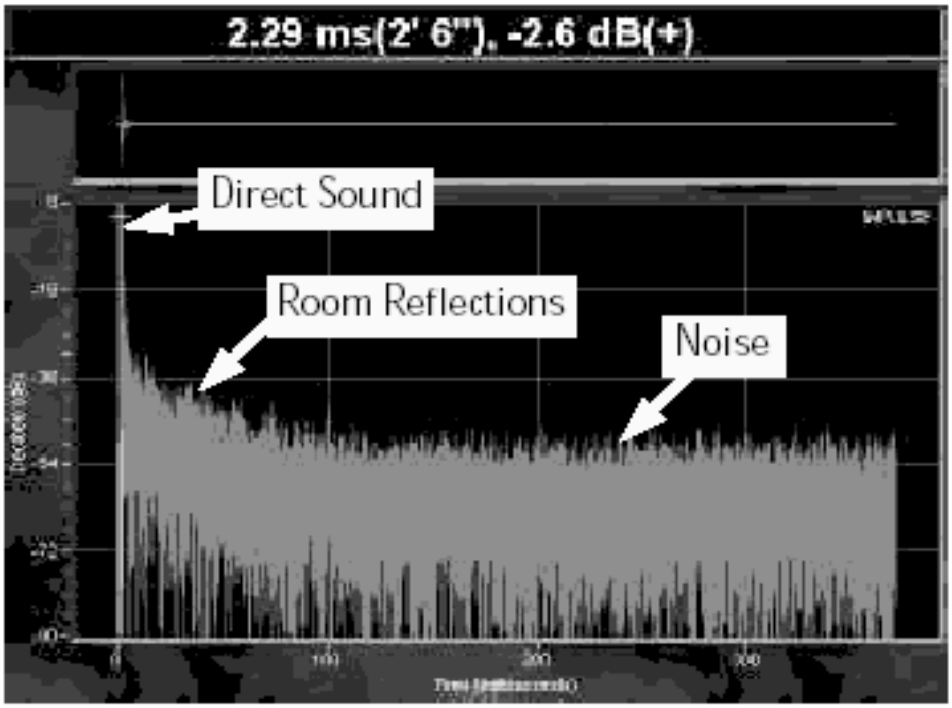


Figura 54. Respuesta impulso

Smaartlive también puede mostrar la respuesta al impulso en unidades lineales (que preserva la información de polaridad) y como un ETC (Energy-Time-Curve o Curva de Enegría-Tiempo) (que extrae la envolvente de caída de la respuesta al impulso) y se muestra en dB.

Analizando la figura anterior, vemos que el pico grande al inicio del gráfico es debido al sonido directo procedente del altavoz, que en este caso es el componente que nos interesa. SmaartLive automáticamente detecta el tiempo y magnitud de este pico, que en este caso llega con un retardo en el tiempo de 2.29ms. Este retardo es debido al tiempo de propagación desde el altavoz hasta el micrófono atravesando el aire una distancia de aproximadamente de 2½ pies (0.76 metros).

La otra energía visible en la respuesta al impulso es debida a reflexiones de la sala y a ruido en la medición. Se puede ver que el ruido de fondo tiene un nivel promediado constante. La precisión de las mediciones que realizaremos depende de la relación señal-ruido entre el sonido directo y el nivel de ruido de fondo.

Medición de la Función de Transferencia de un Altavoz.

Para obtener la respuesta en frecuencia de un altavoz, utilizamos el modo Transfer Function de SmaartLive, oprimiendo el botón “Transfer Function”. Posteriormente tenemos que ajustar el retardo interno de SmaartLive para compensar el tiempo de propagación entre el altavoz y el micrófono. Para hacer esto, oprimiremos el botón”auto SM”; SmaartLive efectuará una medición de impulsos y automáticamente medirá el tiempo de retardo mostrándolo en una ventana de dialogo (ver figura 55) y finalmente damos clic en “Insert Delay” (Inserte Retardo) para aceptar el tiempo mostrado, y con esto compensaremos el tiempo de propagación durante las mediciones de la función de transferencia.

Si el tiempo parece increíblemente largo, seguramente es porque tenemos las entradas de referencia y medición intercambiadas.

Este proceso también puede ser realizado manualmente usando el modo Impulse, haciendo clic sobre el botón “set delay to peak”.

Además podemos usar la función “delay presets” para guardar varios tiempos de retardo y llamarlos rápidamente desde el teclado, lo cual es útil si cambiamos entre micrófonos de distintos lugares o entre un micrófono de medición y un ecualizador.

Para asignar el valor actual a un preset se necesita hacer clic en el botón “delay” encima del campo de lectura del retardo y luego haremos clic sobre uno de los cinco botones F6-F10 en la ventana de diálogo de opciones “Delay” (ver figura 55). Posteriormente podemos llamar a estos retardos pulsando la tecla de función correspondiente del teclado de la computadora.

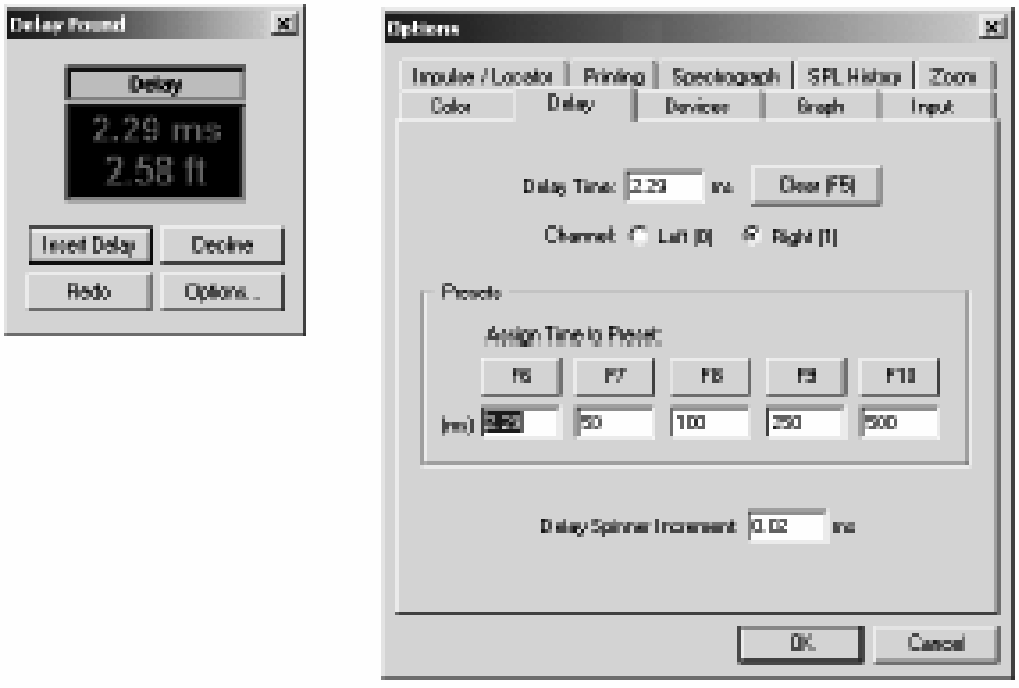


Figura 55. Ventanas de dialogo para medición de tiempo de retardo y su almacenamiento.

Si el analizador está operando en el modo de función de transferencia, debemos ver la respuesta de frecuencia del altavoz (energía contra frecuencia) en la ventana, similar a la mostrada en la figura 56.

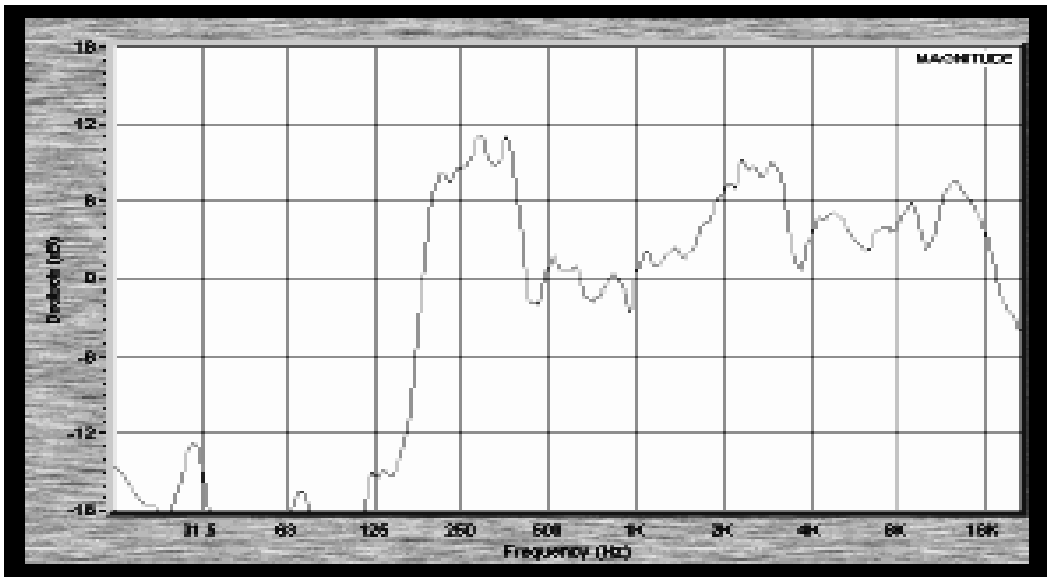


Figura 56. Medición de la función de transferencia de un altavoz.

Se puede encontrar que el trazado es irregular en la pantalla, pero se puede estabilizar la función de transferencia incrementando el número de promedios variando el parámetro Avg. (Ajustando el número a 16 o más se podrá ver un comportamiento mejorado).

Los gráficos obtenidos pueden ser almacenados utilizando los registros de referencia; los cuales están representados por cinco grupos de pequeños botones de color y etiquetados como A,B,C,D y E (ver figura 57).



Figura 57. Registros de referencia.

Finalmente concluimos que Smaartlive es la herramienta en su tipo mas utilizada por los profesionales del audio debido al costo accesible que representa, además de su amigable estructura de operación.

4.5 SIM SYSTEM.

SIM es una de las herramientas mas sofisticadas para el ajuste y optimización de sistemas de sonorización y consiste en un analizador FFT de 2 canales, capaz de utilizar cualquier señal de audio de rango completo, como referencia para la medición de la función de transferencia de un componente o sistema electroacústico (lo que significa que puede utilizar la música que sale de la consola de mezcla como señal de referencia).

La idea básica del SIM, es la posibilidad de contar con una herramienta de análisis acústico que presente la información, en la forma en que la gente está acostumbrada a verla. Esta es una de las razones por las que se hizo como respuesta de frecuencia y respuesta de fase con filtros de corrección más que hacerlo con dominio del tiempo.

La información que se presenta, en dominio de tiempo, es muy poco familiar para nuestro medio y los usuarios no sabrían como hacer una corrección compleja. Por otro lado, corregir respuesta de frecuencia es bastante intuitivo.

Evolución.

El SIM System I

Inició su proceso de desarrollo a partir de 1984.

El SIM System I utilizaba un analizador FFT de HP para realizar los cálculos.

EL SIM System I era muy voluminoso y lento, transportarlo y utilizarlo no era muy placentero. Por lo tanto ***Meyer Sound*** decide diseñar su propio analizador FFT.

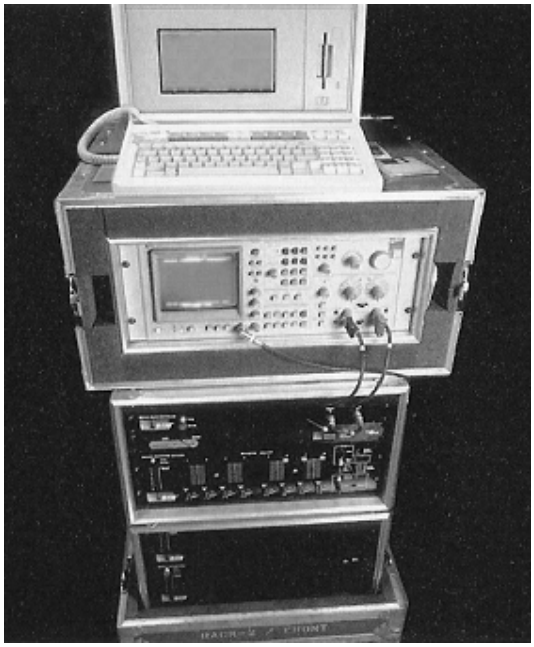


Figura 58. Sim System I.

SIM System II.

El SIM System II es un sistema computarizado especializado, con una interfaz análoga y digital de diseño específico, que incluye una PC, tres DSP' s, un preamplificador de micrófono, un módulo de conmutación, y que requiere de un teclado y monitor de video externos, así como micrófonos especializados para medición.

El SIM es un sistema listo para usarse en cuanto se enciende y no requiere de hardware o software adicional. El SIM System II es un sistema completo, y cualquier SIM funciona de manera idéntica.

Existe en tres versiones:
-Laboratorio
-Estéreo
-Multicanal

El SIM System II permite etiquetar, almacenar y recuperar, de manera sencilla, las mediciones realizadas.

La resolución del SIM es de 1/24 de octava, una característica no encontrada en otros analizadores FFT (B&K, HP), TEF o MLSSA.

En la modalidad GROUP el SIM System II realiza 27 FFT_s de manera simultánea.

El SIM System II fue diseñado para realizar el alineamiento de sistemas de sonido (realizar ajustes de nivel, retraso, ecualización, verificar el rendimiento de sistemas de altavoces, analizar ecos, etc).

Es capaz de mostrar la curva inversa del ecualizador para adecuarla a la respuesta del altavoz en su entorno acústico, lo que permite emplear la curva de ecualización más precisa.

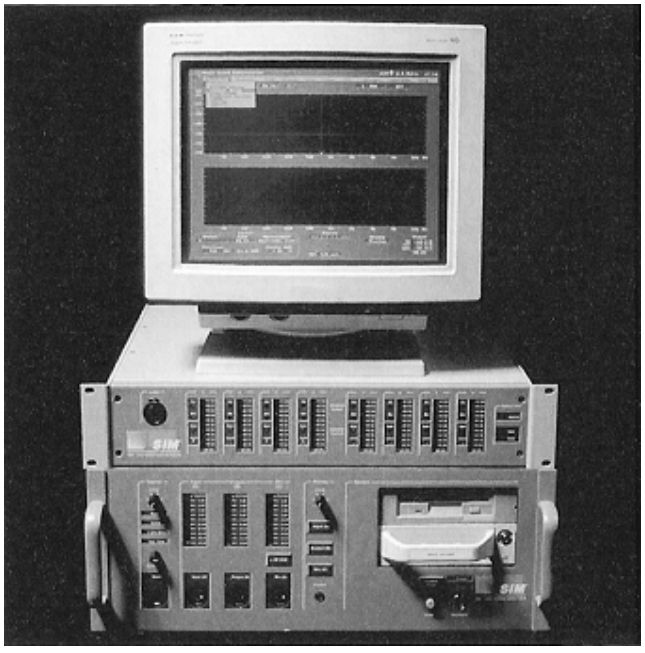


Figura 59. Sim System II.

Sim System III

El Sim System III presenta el límite evolutivo hasta el momento de esta herramienta de medición, presenta un mayor número de herramientas, así como dimensiones físicas más pequeñas lo que facilita enormemente el traslado a cualquier recinto de manera frecuente. Una de las ventajas más importantes de esta versión es que se logró reducir notablemente su costo a comparación de las versiones anteriores, lo cual impedía su incursión masiva en el mercado.

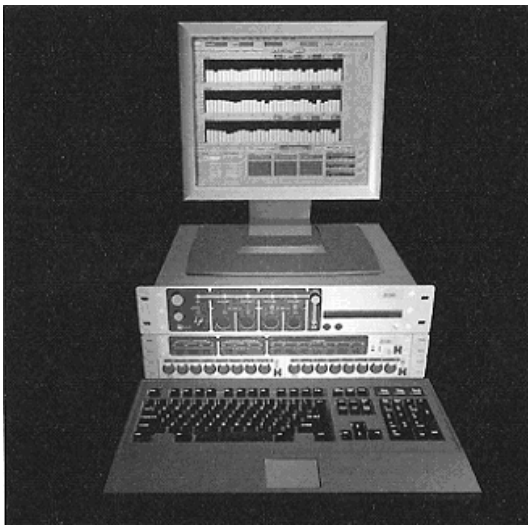


Figura 60. Sim System III.

A continuación se mencionan las características principales del Sim System III.

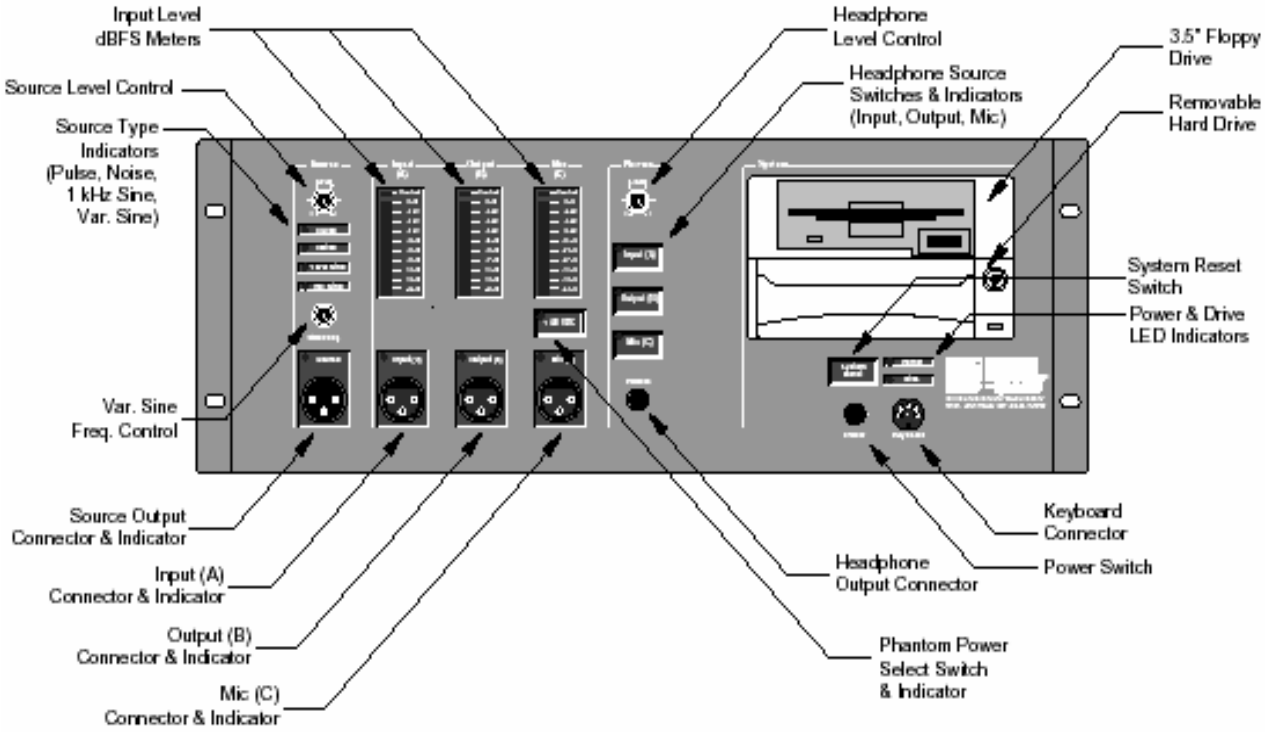


Figura 61. Controles y funciones del Sim System III.

Funciones Estándar de Sim system:

- Respuesta de espectro. Análisis de distorsión, nivel de salida máximo, ruido, etc.
- Respuesta en frecuencia. Amplitud, fase y relación señal/ruido.
- Respuesta de impulso. Búsqueda de desajustes de tiempo.
- Resolución de 1/24 de octava.
- Capaz de usar fuentes de sonido desconocidas para la medición.
- Alta inmunidad a ruidos externos, lo que permite el análisis a bajos niveles sonoros.
- Función de respuesta en fase, que proporciona datos clave para el alineamiento de tiempo en los puntos de división de frecuencias.
- Almacenamiento y carga de hasta 128 grupos de datos para propósitos de comparación.
- Panel de hojas de cálculo que muestran los datos de manera que puedan ser comparados fácilmente.
- El procedimiento de "Lobe Study" indica el grado de aislamiento entre subsistemas.
- El procedimiento de sistemas combinados muestra la interacción entre bocinas.

Aplicaciones.

- Investigación. Esta es una herramienta fundamental para la investigación y el desarrollo de los sistemas de bocinas.
- Pruebas de manufactura. Para pruebas de calidad en el proceso de fabricación.
- Análisis de equipo de renta. Esta herramienta es muy utilizada por compañías de audio para verificar y/o asegurar el buen desempeño de sus sistemas sonoros antes y durante su operación.
- Mantenimiento. Empleado para verificar los componentes electrónicos y el cableado antes y durante la instalación de los sistemas.
- Pruebas de micrófonos. Para la obtención de la respuesta de fase y amplitud de cualquier micrófono, así como para determinar la susceptibilidad a feedback.
- Verificación y alineamiento de sistemas estereofónicos de sonorización.
- Alineamiento de sistemas de sonorización multicanales.

A continuación se muestran las mediciones básicas realizadas por el Sim system.

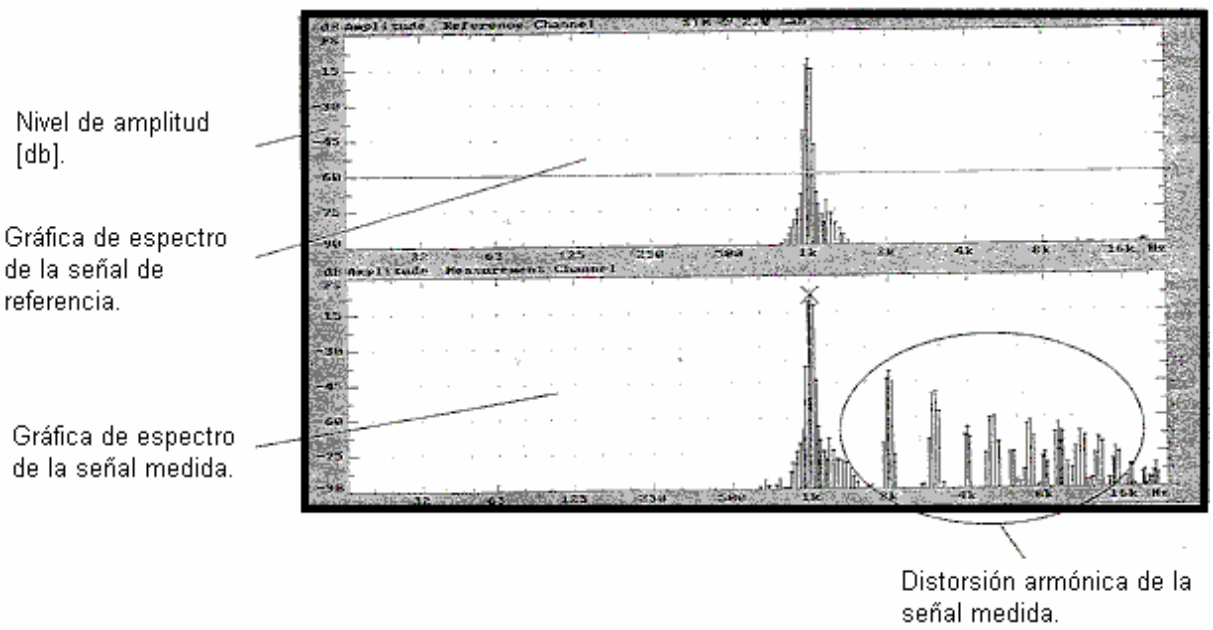


Figura 62. Pantalla de espectro.

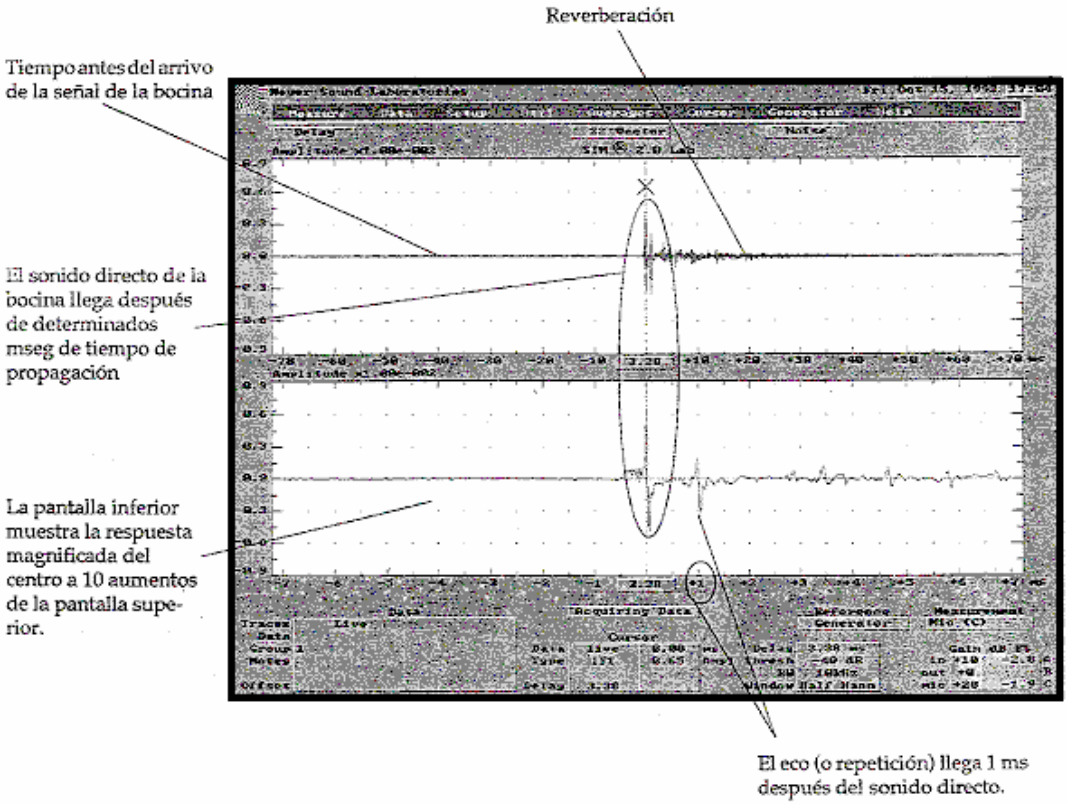


Figura 63. Pantalla de búsqueda de retraso “Delayfinder”

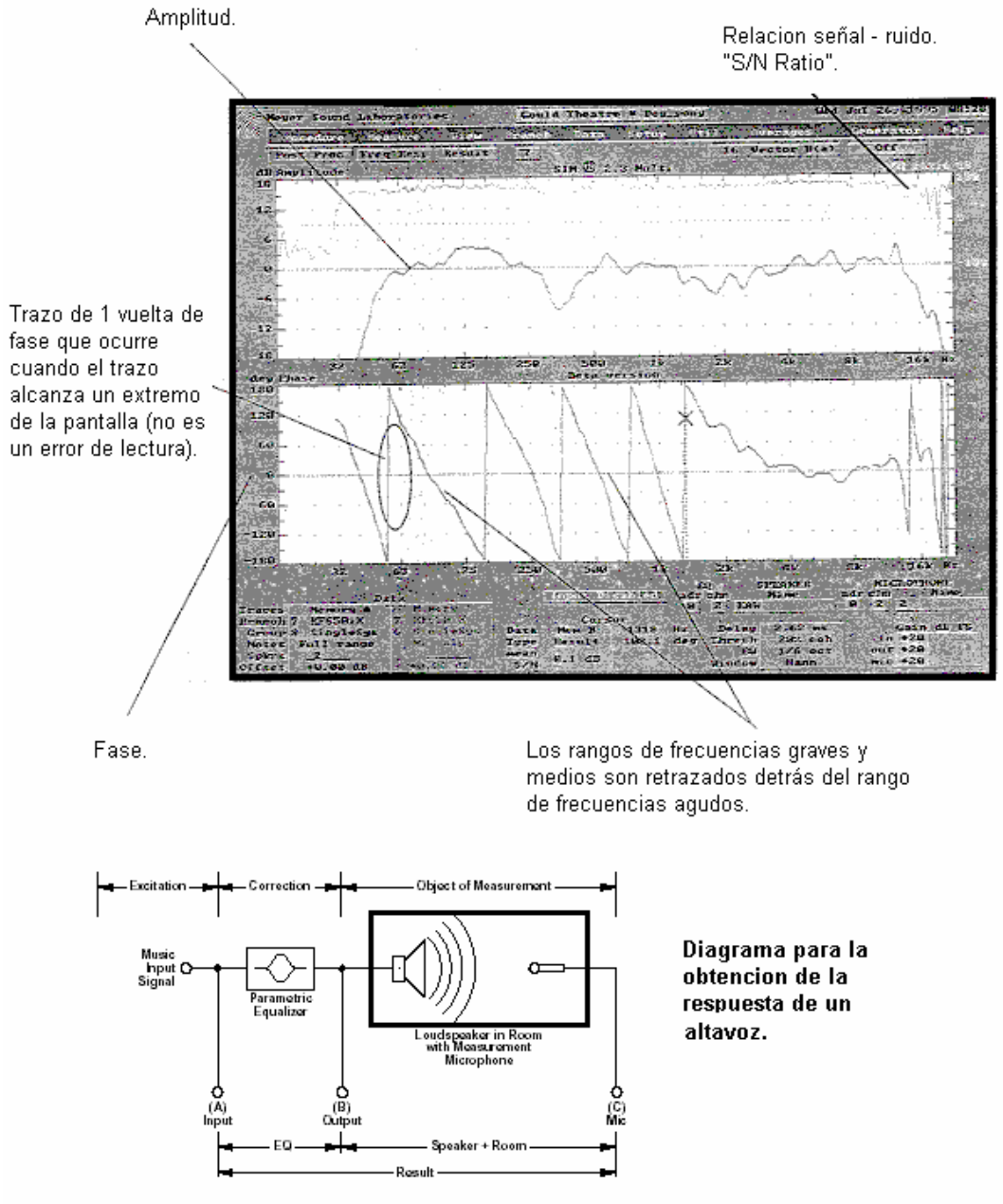


Diagrama para la obtencion de la respuesta de un altavoz.

Figura 64. Pantalla de respuesta en frecuencia.

Concluimos que Sim system es considerada como la herramienta mas poderosa para la optimización de sistemas sonoros en este momento, pero debemos estar concientes que no es una herramienta automática que optimizará nuestros sistemas.

4.6 MAPP en línea.

Esta herramienta es muy útil sobre todo en el diseño y ajuste de sistemas sonorización, pero tiene la desventaja de que está fabricada en función de los parámetros y especificaciones de equipos de una sola marca (Meyer Sound). Cabe mencionar que existen diversos programas similares desarrollados por los más importantes fabricantes de altavoces.

MAPP en línea (Programa de predicción multipropósito) de Meyer Sound es una herramienta de visualización de alta resolución para diseñadores de sistemas de sonido profesionales. Se necesita una computadora conectada a internet, el usuario especifica los modelos de altavoces Meyer Sound a utilizar, las ubicaciones físicas, la forma en que apuntan, localización y composición de los muros (opcionalmente) ver figura 65.

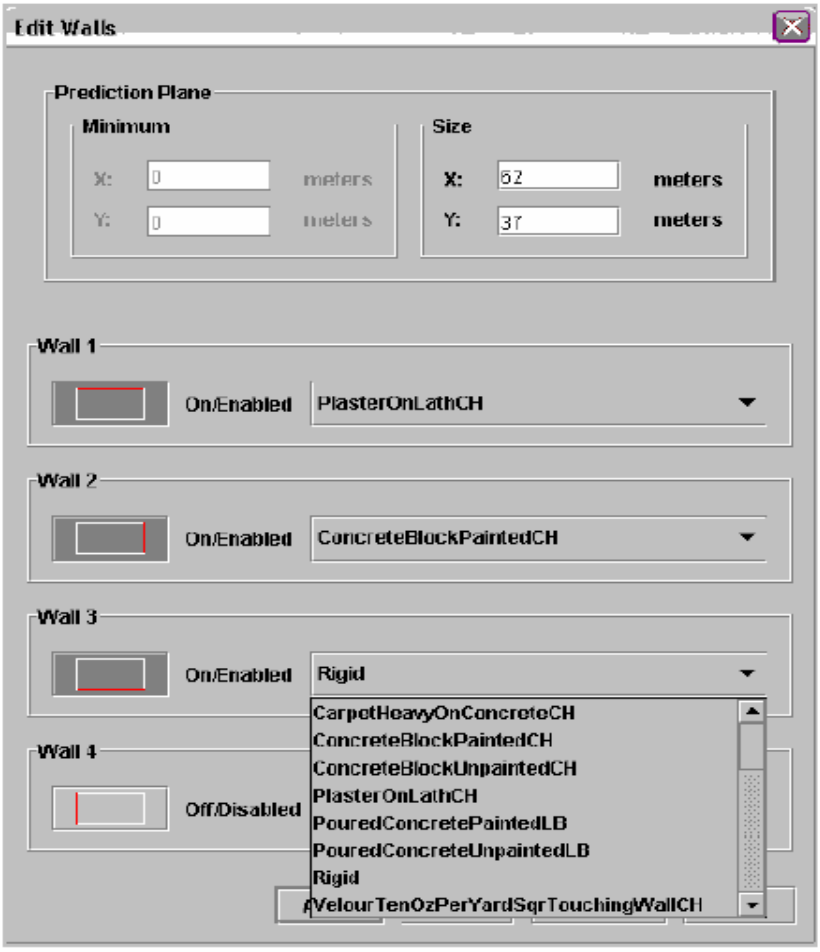


Figura 65. Caracterización del recinto a sonorizar.

A demás se pueden considerar algunos factores ambientales como son presión atmosférica, temperatura y humedad relativa, lo cual nos permite obtener mejores resultados en nuestras predicciones acústicas (ver figura 66).

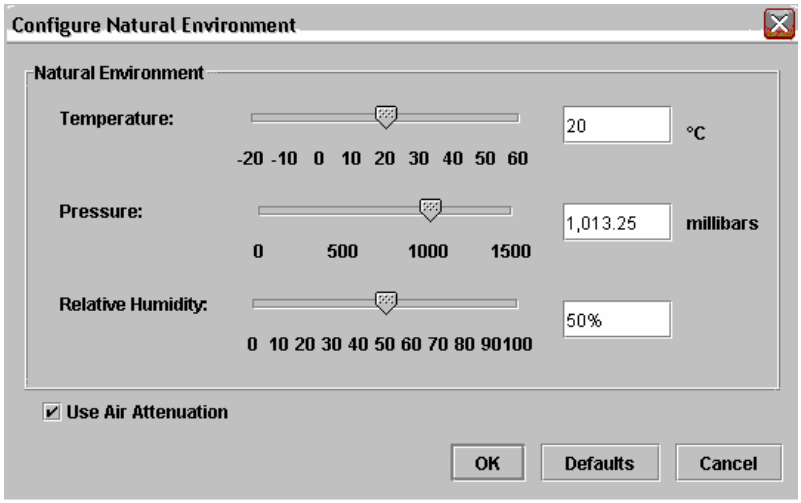


Figura 66. Factores atmosféricos a considerar.

Toda esta información viaja a través de internet hasta llegar a un servidor remoto.

Corriendo un sofisticado algoritmo de predicción acústica que utiliza los datos medidos que describen las características direccionales de cada altavoz, el servidor predice el campo sonoro que los altavoces producirán, así como presión sonora promedio y pico, y las respuestas de frecuencia e impulso en posiciones de micrófono "virtuales" especificadas por el usuario. (Las respuestas predecidas son regresadas a través del Internet y mostradas en color mediante nuestra pantalla) ver figura 67.

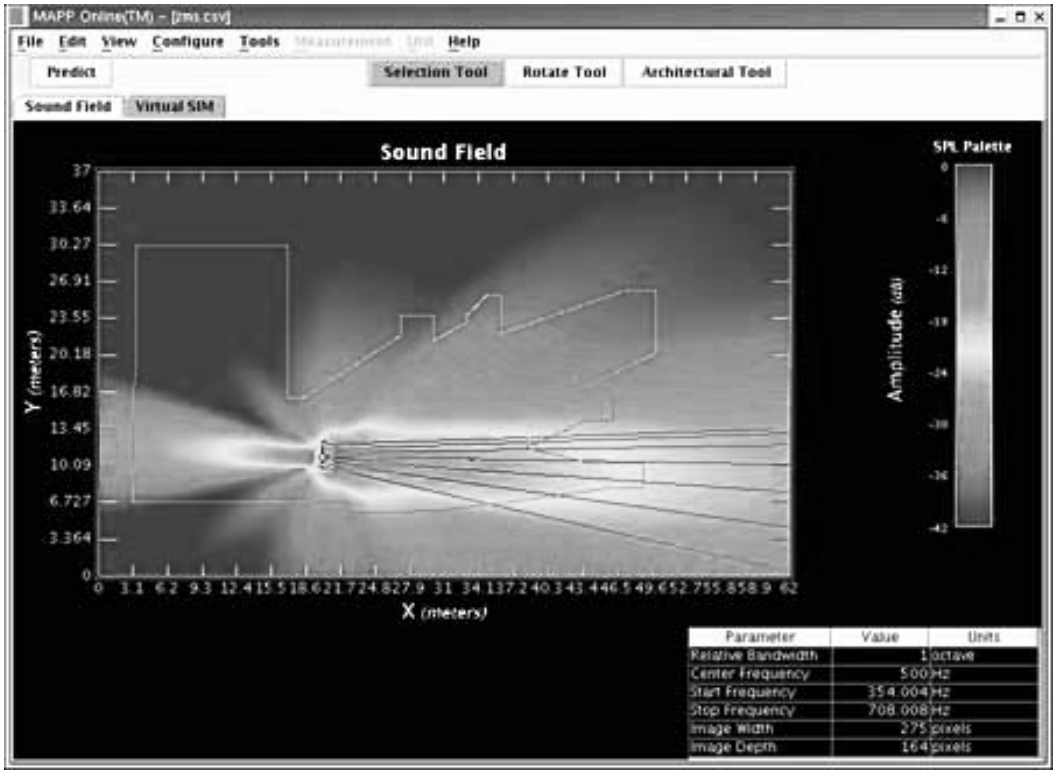


Figura 67. Gráfica de los campos sonoros generados por un arreglo de altavoces.

Los datos polares complejos (magnitud y fase) usados en las predicciones de MAPP son medidos con una resolución de frecuencia de 1/24 de octava y una resolución angular de 1º en un ambiente calibrado.

MAPP en línea después de un desarrollo continuo logró gran similitud entre las mediciones realizadas en el recinto y la predicción acústica lograda, lo que representa ser una herramienta muy poderosa para los profesionales de audio en varias de sus aplicaciones (operación, ajuste y diseño de sistemas).

En la figura 68 se compara la medición real con la predicción hecha por MAPP en la Sala de conciertos Zellerbach dentro de las instalaciones de la Universidad de California en Berkeley.

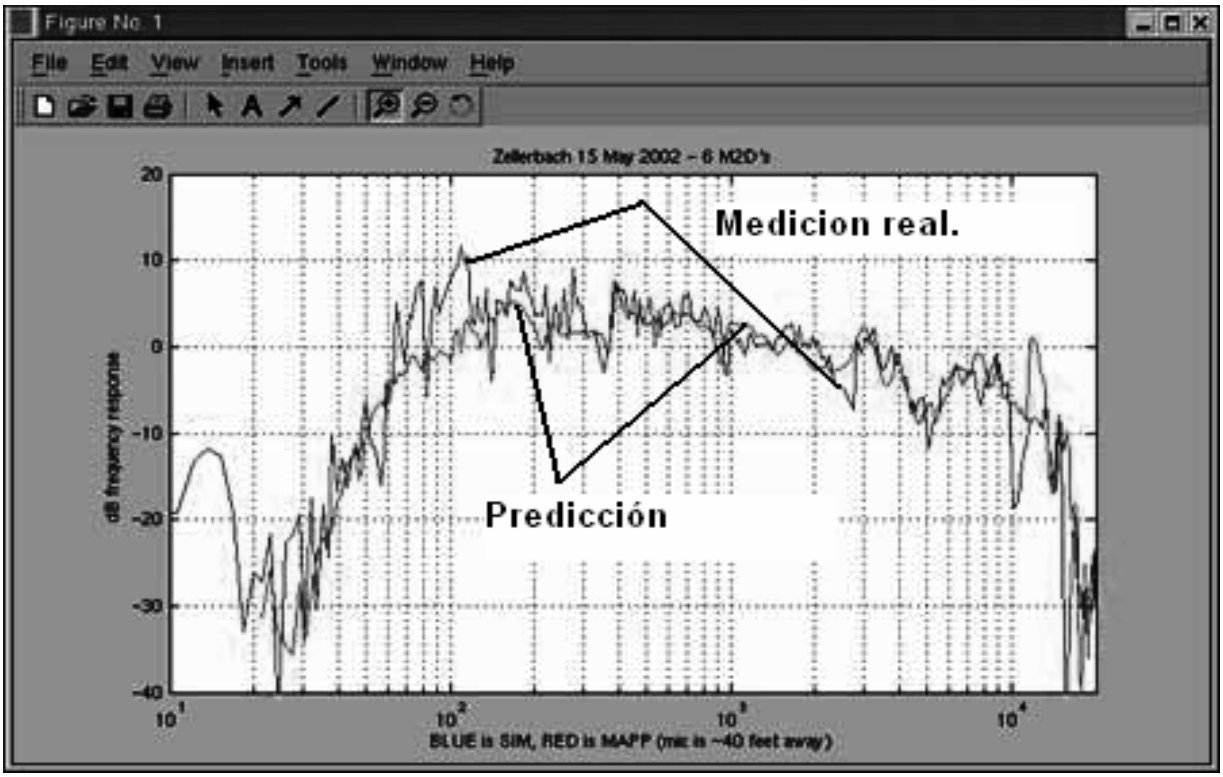


Figura 68. Comparativo entre una medición real y la predicción hecha por MAPP.

Al hacer clic en la pestaña "Virtual SIM" (ver figura 67), podemos llamar la pantalla Virtual SIM, la cual incluye un estimado de la respuesta de frecuencia a 1/3º de octava, (suavizada a 1/6º o 1/3º de octava, o sin suavización), y la respuesta de impulso de banda limitada.

La figura 69 muestra la respuesta de frecuencia estimada a 1/6º de octava suavizada para la posición de micrófono especificada.

Obsérvese que MAPP en línea modela con precisión la atenuación de alta frecuencia causada por el aire, la cual varía con la temperatura, humedad, presión y distancia. Estos parámetros ambientales pueden ser cambiados (como se vio anteriormente).

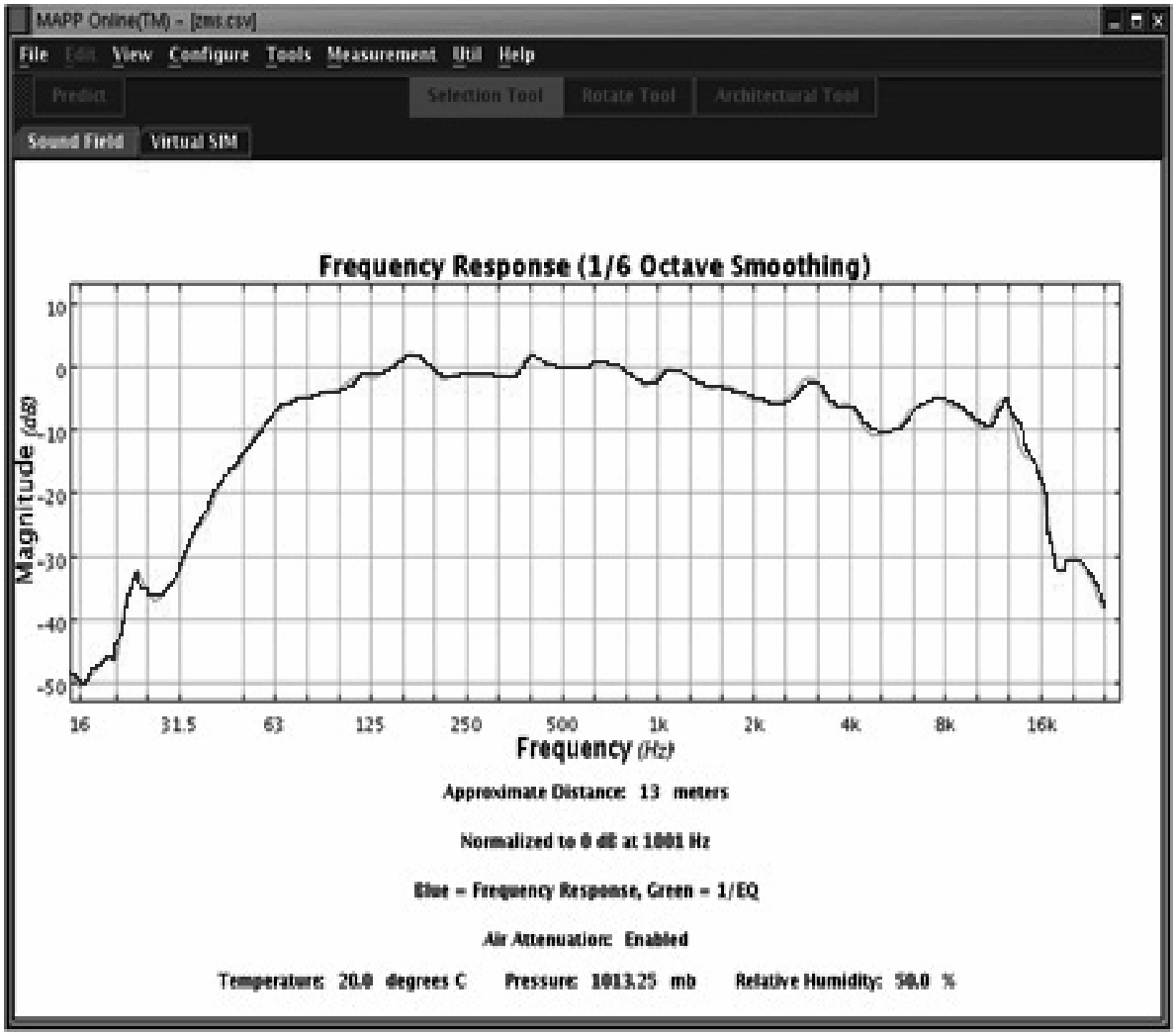


Figura 69. Respuesta en frecuencia suavizada a 1/6 de octava estimada por MAPP en línea.

De manera general con MAPP en línea se puede:

- Planear un sistema completo portátil o fijo y determinar los ajustes de retardos para los altavoces de cobertura auxiliar (fills)
- Ver claramente las interacciones entre altavoces y minimizar la interferencia destructiva.
- Colocar micrófonos virtualmente en cualquier punto del campo sonoro y predecir la respuesta de frecuencia, respuesta de impulso y presión sonora.
- Refinar el diseño de un sistema para proporcionar la mejor cobertura del área de público.
- Usar un ecualizador virtual (VX-1) para predeterminar los ajustes correctos para una mejor respuesta del sistema.
- Obtener valiosa información sobre el montaje del arreglo (información mecánica).

Concluimos que esta herramienta nos permite realizar simulaciones del comportamiento de nuestros sitemas, ofreciendonos información que nos ayudará a satisfacerá los requerimientos (incluyendo ajustes básicos de retardos, ecualización y coberturas).

De manera general la desventaja de esta herramienta es que aplica únicamente para equipo de la marca Meyer Sound.

4.7 Interface.

La interface es un elemento muy empleado en sistemas sonoros; generalmente para realizar mediciones y ajustes mediante Smaartlive.

La interface nos permite obtener mayor versatilidad que la que tenemos con el hardware de nuestra computadora (por ejemplo mayor cantidad de entradas y salidas, una fuente "phantom" para micrófonos de condensador, etc).
Algunas de las características necesarias que debe incluir nuestra interface para las aplicaciones que requeriremos son las siguientes:

- Se requiere que tenga al menos 2 entradas independientes con nivel de línea o una entrada estero (L y R); una destinada para la señal de referencia y la otra para la señal medida.

- Además se requiere que tenga al menos una salida con nivel de línea para poder reproducir las señales de referencia mediante nuestro sistema.

- Por último; se requiere que dicha interface cuente con una fuente fantasma "phantom power" que nos permita polarizar el micrófono de medición (muy comúnmente de condensador) para poder realizar las mediciones.

- Debido a que para realizar la gran mayoría de las mediciones en esta tesis se empleará la interface US122 de Tascam (la mas común del medio) a continuación se analizarán sus características básicas para obtener de ella una herramienta de gran versatilidad y rendimiento.



Figura 70. Interface US 122 de Tascam.

La US-122 es un interface audio/MIDI sobre USB diseñada principalmente para programas workstation de audio digital (DAW).

La sección de entrada comprende una interconexión de audio de 24 bits, capaz de enviar a nuestra computadora dos señales de audio simultáneamente.

Las entradas incluyen dos tomas balanceadas XLR de micrófono con alimentación fantasma o phantom power (que nos permite polarizar nuestro micrófono de medición) y dos entradas balanceadas de 6.3 mm de línea activables como no balanceadas de alta impedancia (para la entrada directa de una guitarra, bajo u otra fuente de Hi-Z (alta impedancia)) con inserciones TRS en cada canal de entrada.

Las salidas incluyen un par de tomas de línea no balanceadas con conectores RCA y una salida de auriculares independiente, además también dispone de puertos de entrada y salida MIDI que le permiten enviar y recibir datos desde teclados y otras unidades MIDI.

Dado que la US-122 no requiere alimentación exterior y está basada en USB, es ideal para sistemas portátiles.

En la figura 71 se muestran los controles, indicadores y conectores de la interface. Posteriormente se da una breve descripción.

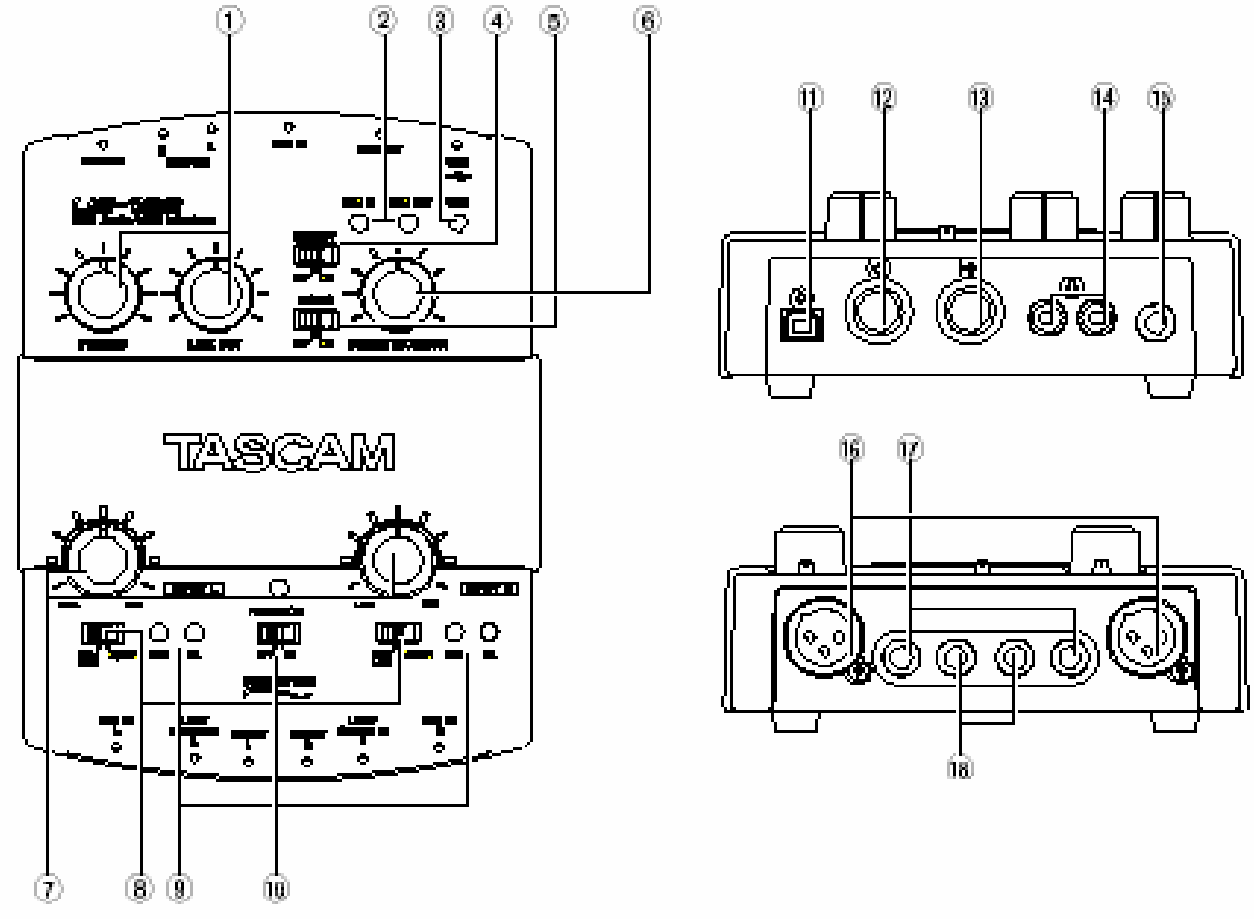


Figura 71. Controles, indicadores y conectores de la interface US 122.

1 Control de nivel LINE OUT. Controla el nivel de las salidas RCA.
Control de nivel PHONES. Controla el nivel de salida de auriculares (audífonos).

2 Indicador MIDI IN. Indica la presencia de datos MIDI entrantes en la toma correspondiente.
Indicador MIDI OUT. Indica la transmisión de datos MIDI por la salida correspondiente.

3 Indicador USB. Indica una conexión USB válida con la computadora cuando está encendida.

4 Interruptor DIRECT. Activa/desactiva la monitorización directa de las señales entrantes.

5 Interruptor MONO. Activa / desactiva la salida mono del sistema de monitorización directa.

6 Control de nivel DIRECT MONITOR. Cuando está activado, ajusta el nivel de la señal de monitorización directa.

7 Controles de nivel de entrada L y R. Ajusta el nivel de entrada.

8 Interruptores (MIC/LINE) / GUITAR. Cambian las entradas de forma individual entre nivel micro/línea y nivel Hi-Z (guitarra).

9 Indicadores SIGNAL. Indica la presencia de señal de audio en el canal respectivo (específicamente, cuando el nivel de entrada sobrepasa los -37 dBFS).
Indicadores OL. Indica una sobrecarga en el nivel de entrada del canal respectivo. (Concretamente, un nivel de –2.5 dBFS).

10 Interruptor PHANTOM. Activa un voltaje de +48V en las entradas de micrófono para poder dar corriente a micrófonos de condensador (de gran importancia para nuestra aplicación).

11 Conector Phones. Salida de auriculares Standard de 6.3 mm estereo.

12 Conector output (L / R). Salidas de audio analógicas no balanceadas RCA.

13 MIDI In. Entrada MIDI.

14. MIDI Out. Salida MiDI.

15 Conector USB. Entrada para conexión USB (USB 1.1) a la computadora.

16. Mic in (L / R). Entradas XLR balanceadas L y R para micrófono.
(1 - tierra, 2 - activo, 3 - pasivo).

17. Line/guitar L y R. Entradas analógicas (conector TRS de 6.3 mm; punta-activo, anillo-pasivo, lateral tierra) L y R balanceadas cuando el interruptor MIC/LINE – guitar está ajustado a mic/line, no balanceado cuando está en guitar.

18. Insert L y R. Conector TRS de 6.3 mm (punta-envío, anillo-retorno, lateral-tierra) para inserciones analógicas de las entradas L y R.

4.8 Lake Contour.

Lake es un fabricante australiano de hardware y software de audio digital. Últimamente se ha hablado mucho de ellos debido a los controladores digitales que usa la empresa Clair Brothers, ***el Contour***.

Cuando los principales fabricantes de controladores digitales están bajando los precios de sus equipos (DBX DriveRack PA, Behringer, etc.), esta empresa surge con un producto de muy alta tecnología aunque a un precio mayor.

Aunque este elemento electrónico no se considera un equipo para optimización de sistemas sonoros, contiene características muy innovadoras que hacen importante conocer con fines puramente ilustrativos sus funciones básicas.

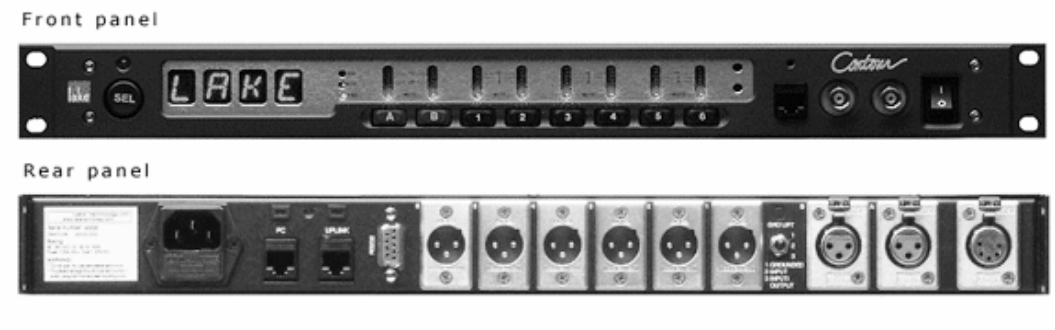


Figura 72. Controlador digital lake contour.

De manera general la unidad es un procesador digital de 2 entradas y 6 salidas.

A diferencia de muchos equipos parecidos, el Lake Contour además de las funciones de procesador digital, permite filtros de cruce no habituales como el de pared (brickwall, o sea con una pendiente muy alta) y de fase lineal.

Utiliza una tecnología única llamada “Mesa” para una gran flexibilidad que va más allá de los filtros simétricos de campana habituales.

La razón más importante para hablar de este elemento como una herramienta para optimizar sistemas de sonorización consiste en su interface de control (desde una tableta inalámbrica táctil), y su compatibilidad con el analizador Smaartlive (estudiado anteriormente), de forma que nosotros podemos pasear por el recinto, analizándolo y haciendo ajustes en tiempo real.



Figura 73. Control inalámbrico táctil de lake contour.

Algunas de las características principales de este controlador digital son las siguientes:

- Integración completa del software Smaartlive.
- Control total de todos los procesadores mediante el control inalámbrico con gran precisión.
- Aplicación de nuevos métodos de ecualización.
- Excelentes limitadores en todas las salidas.
- Tecnología para aislamiento eléctrico con lo que cualquier zumbido puede ser aislado rápidamente.

- Funciones de grupo. Posibilidad de configurar grupos para realizar ajustes apropiados por secciones

Por ejemplo; un sistema para un estadio se compone de varios clusters principales side fill, front fill, down fill, además de los niveles múltiples de retraso (delay) en diversos subsistemas. Esta tecnología nos permite tener un Master estereo y varios Master secundarios evitando tener que hacer ajustes globales (ver figura 74).

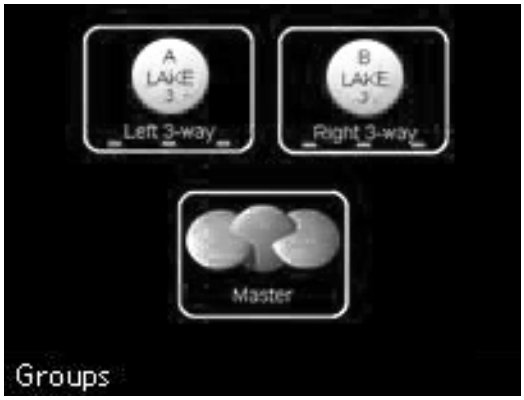


Figura 74. Configuración de grupos en el Lake Contour.

- Niveles y su medición. Función que nos permite visualizar en cualquier zona del recinto de manera exacta los niveles de trabajo y los faders mediante el control inalámbrico tal como si se estuviera en la consola de mezcla (como se puede ver en la figura 75), además nos permite hacer y percibir cambios realizados de manera remota en tiempo real.

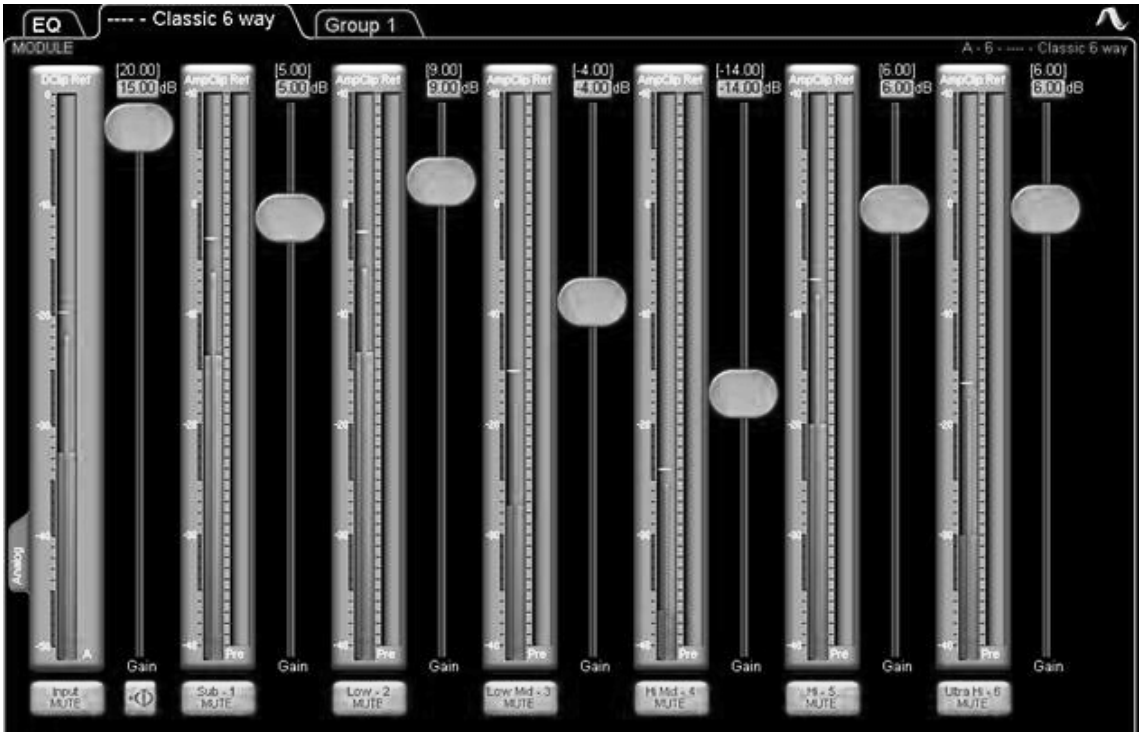


Figura 75. Niveles y limitadores del control inalámbrico lake contour.

- Filtros exclusivos de tecnología Mesa. El filtro de tecnología Mesa es un avance significativo en tecnología de EQ ya que otros procesadores proporcionan filtros simétricos mientras que el filtro del Mesa ofrece la filtración asimétrica, con la capacidad de cambiar frecuencias de centro y ajusta pendientes de manera independiente.

El filtro del Mesa es así una herramienta que nos permite igualar de una manera mas precisa la respuesta en frecuencia de los altavoces y/o sistemas (como se muestra en la figura 76).

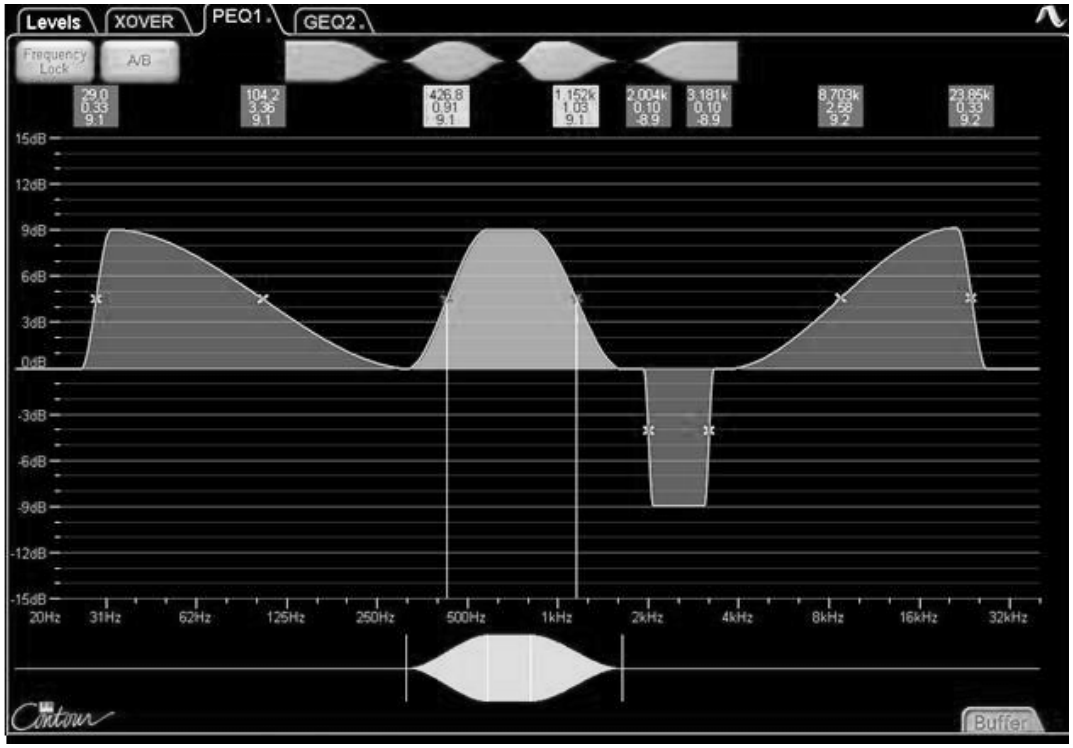


Figura 76. Filtros de tecnología Mesa.

- Crossover. Para el crossover son incluidos filtros tipo Bessel, Butterworth y Linkwitz seleccionable hasta 48 db por octava. Además lake contour nos permite como usuarios configurar nuestros propios filtros paso bajas y paso altas para la red de cruce en cada canal.

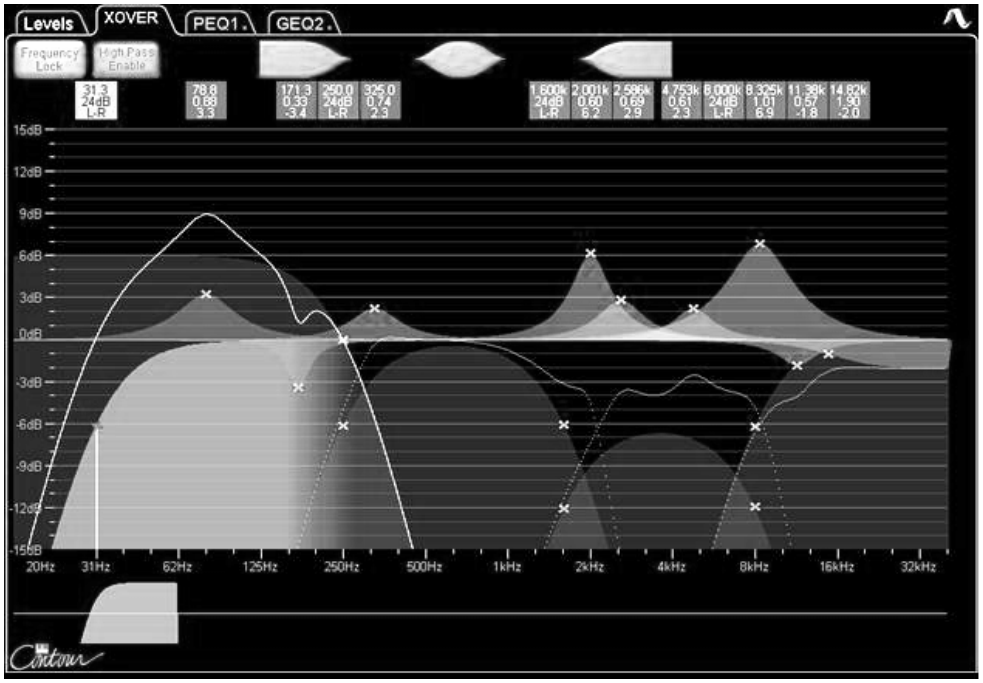


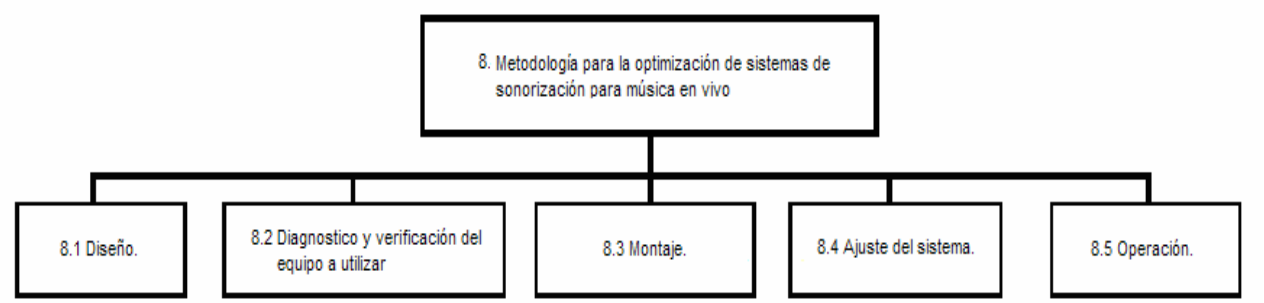
Figura 77. Visualización del crossover mediante el Lake Contour.

5. METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE SONORIZACIÓN PARA MÚSICA EN VIVO.

Dentro de los sistemas de sonorización existe una infinidad de condiciones, dificultades, necesidades y variantes; lo que hace necesario lograr sistemas eficientes.
Para lograr esto será necesario hacer uso de una metodología de optimización particular y especifica para el sistema que se requiera (haciendo uso de todo lo estudiado en esta tesis que nos permitirá criterios afortunados).

En este capítulo se propone una serie de acciones cronológicas con la intención de servir como referencia de diseño, ajuste y optimización de los sistemas sonoros para condiciones diversas y con el equipo disponible a fin de obtener el máximo rendimiento, mas no pretende ser una serie de pasos y/o reglas a seguir para cualquier serie de condiciones, necesidades y gustos.

Dicha metodología se divide en cinco bloques; **diseño, diagnóstico y verificación del equipo, montaje, ajuste del sistema y operación.**



5.1 DISEÑO.

5.1.1 Definición del evento.

Como primer paso se requiere definir de manera clara el evento a sonorizar, y aunque existe una gran cantidad de aplicaciones, durante esta tesis nos enfocaremos únicamente en eventos musicales en vivo (los cuales tienen una infinidad de variantes a considerar).

Algunos de los aspectos principales a definir son los siguientes:

5.1.1.1 Tipo de música.

El tipo de música a sonorizar es un aspecto vital para determinar el diseño a implementar, cada tipo de música acentúa su contenido musical en un rango de frecuencias específico. Por ejemplo la música electrónica sería "inútil" sin un sistema sonoro capaz de reproducir altos niveles en frecuencias graves ya que tiene gran contenido musical en bajas frecuencias.

5.1.1.2 Tipo de evento.

Otro aspecto importante que se debe definir para lograr un sistema óptimo es determinar el tipo de evento (lugar, tipo de escuchas y la finalidad del evento).

Es fundamental establecer cual es la finalidad del evento a sonorizar, ya que aunque la mayoría de las veces es el espectáculo principal, algunas ocasiones tiene como fin: ambientar una comida, una

pasarela, un centro comercial, un restaurante, etc. y se deberá mantener un SPL muy bajo para que permita a los asistentes poder charlar con naturalidad, y propiciar un ambiente agradable.

El tipo de escuchas también es un aspecto a considerar ya que no sería lógico trabajar al mismo nivel sonoro cuando es dirigido por ejemplo a un público joven que cuando es dirigido a personas de la tercera edad. De la misma forma no se requiere el mismo sistema para un estadio que para un bar.

5.1.1.3 Duración del evento.
El estar expuesto a niveles sonoros inapropiados respecto a la duración del evento, puede ocasionar daños temporales y/o permanentes en la audición, y es por eso que se debe preestablecer un rango de SPL de trabajo basado en los valores recomendados por las instituciones de salud. Por ejemplo; un nivel de 113db se podría considerar muy normal para un concierto, pero manejarlo como referencia en un espectáculo que tiene una duración de 8 horas continuas puede provocar molestias, incomodidad y hasta dolor en los espectadores. En este caso se recomienda respetar los niveles de SPL preestablecidos y preocuparse por lograr una mezcla lo más óptima posible.

5.1.1.4 Logística.
También es necesario tener en cuenta la logística del evento.
Algunos ejemplos de aspectos a considerar son los siguientes:

- La participación de mediadores, conductores o maestros de ceremonia.
- Presentaciones grabadas, introducciones y pistas.
- Tener los recursos técnicos en el momento en que se les requiera (tanto por las necesidades propias del evento o en caso de una eventualidad).

Es muy común que dentro de un mismo evento se realice el cambio de músicos o grupos completos, lo que representa cambiar instrumentos, monitoreo, microfonía y ajustes. Es por eso que se debe contar con el personal para realizar estos cambios cuando se requiera, asignando a cada uno de ellos tareas específicas para lograr buenos resultados.

5.1.1.5 Necesidades técnicas.
Es importante tomar en cuenta las necesidades técnicas requeridas para un evento, ya que una vez instalado el equipo difícilmente se podrán hacer cambios de último minuto.

Se deberá definir por ejemplo; el numero de canales de entrada, numero de salidas independientes, longitud del Snake (medusa), longitud de los cables de alimentación eléctrica (AC), número y tipo de cables, conexiones para los instrumentos, tipos de reproductores de audio (C.D, minidisc, tornamesa, deck, etc.), así como el numero y tipo de equipos periféricos necesarios (compresores, efectos, maximizadotes, compuertas y preamplificadores).

5.1.2 Consideraciones.

5.1.2.1 Dimensiones físicas.
Para diseñar cualquier sistema de sonorización se deberá considerar las dimensiones físicas del recinto, ya que este es uno de los factores más importantes para establecer la cantidad y tipo de equipo a usar, así como su distribución y configuración.

Si tenemos un recinto de muy poca longitud, sería inútil ocupar bocinas y/o arreglos de tiro largo o torres de delay, así como también sería inútil emplear bocinas y/o arreglos para tiro medio en recintos de grandes longitudes.
Otro ejemplo es que en función de las dimensiones de un lugar, algunas ocasiones se deberán utilizar pequeños sub sistemas para compensar valles acústicos.

5.1.2.2 Condiciones atmosféricas.
Recordando que el sonido está en función de condiciones atmosféricas como la temperatura, la humedad, y la presión, se deben tomar en cuenta dichas variables para que nuestro sistema no tenga un comportamiento inesperado.

La mayor consideración debe ser el efecto de la temperatura, y se puede deducir de la siguiente expresión.

$$C = 331.6 + 0.6 * Te \quad [m/s].$$

Donde:
C – Velocidad del sonido a cierta temperatura.
Te – Temperatura a considerar en grados centígrados.

La velocidad de propagación aumenta o disminuye conforme también lo hace la temperatura.

Es por esto que es muy recomendable realizar predicciones y estimaciones antes de un evento (con software), lo que nos permitirá tener una visión del comportamiento del sistema, conforme cambian las condiciones ambientales y con esto realizar las acciones para tener un comportamiento óptimo.

Las principales herramientas que nos ofrecen este tipo de programas de predicción son: graficas de respuesta en frecuencia, lectura de SPL y respuesta en fase.
(Todo esto, considerando las condiciones que nosotros establezcamos previamente, pudiendo variarlas las veces que queramos.).

Es importante conocer la influencia de estas condiciones, ya que es común que se ajuste un sistema durante el sound check, y al momento en que comienza el espectáculo el sistema se comporta de una manera muy diferente.
Un ejemplo muy común es por la variación de la temperatura provocada por el encendido del aire acondicionado.
Otro ejemplo es la sensación de fluctuación de agudos y medios cuando se encuentra en un lugar con ráfagas de viento.

Por lo anterior es recomendable realizar el ajuste y pruebas del sistema en las condiciones más cercanas en que se espera operar durante el evento.

5.1.2.3 Construcción y zonas.
Este punto se refiere a analizar la construcción física del recinto a sonorizar y con esto lograr establecer sus características acústicas.

En ocasiones se deberá considerar zonas donde las necesidades sonoras son distintas, por ejemplo; un SPL inferior por ser una zona de venta o comercio o por el contrarío una zona donde se requiera un sonido óptimo para un grupo de personas específico.

5.1.3 Obtención de las especificaciones de los elementos de nuestro sistema de sonorización.
Antes de diseñar o proponer un sistema de sonorización es de vital importancia tener acceso a las especificaciones de todos los elementos con que se dispone.

Si contamos con un sistema preestablecido, este se deberá optimizar para obtener un desempeño altamente eficiente.

Para el caso de que no se tenga un equipo específico se recomienda estudiar y comparar las especificaciones de distintas marcas y modelos de cada elemento, para que con un buen criterio (formado por todo lo anteriormente estudiado) podamos conformar el sistema mas adecuado para nuestra aplicación, en función de nuestras limitaciones.

5.1.4 Propuesta de sistemas.
En este punto se deberá proponer uno o mas sistemas ya habiendo definido claramente el evento a sonorizar (condiciones, necesidades, características y equipo disponible).

En estas propuestas se debe especificar el equipo empleado, su configuración, el tipo de arreglos, coberturas, subsistemas adicionales (delay, front fill, etc.), tipo de montaje, cálculos, y resultados esperados. (Especificando claramente el porque de cada cosa).

5.1.5 Cuantificación del consumo de corriente del sistema de audio.
En este punto se debe obtener el consumo total de corriente que demanda el sistema; Esto para poder definir el tipo de planta o abastecedor eléctrico a emplear para cumplir con nuestros requerimientos eléctricos.

Generalmente se recomienda distribuir la carga entre distintas fases, además de dejar una tolerancia de seguridad para el caso en que se requiera conectar una mayor carga.

5.1.6 Definición del sistema específico a implementar.
Se deberá determinar a través de una valoración global de los sistemas propuestos cual es la mejor opción para obtener un sistema óptimo a nuestras necesidades.
Se deben considerar y comparar las principales ventajas y desventajas que cada una de las propuestas nos ofrece.

5.2 DIAGNOSTICO Y VERIFICACIÓN DEL EQUIPO A UTILIZAR.

Se deberá interactuar con la totalidad del equipo para determinar las condiciones en que se encuentra de manera individual cada uno de los elementos. (Equipo electrónico, transductores, cables y conexiones).

Se requiere hacer un diagnóstico de cada elemento y en el caso en que se requiera corregir fallas, problemas y mal funcionamiento. Con estas acciones se logrará que al implementar nuestro sistema completo trabaje de manera óptima.

Otra finalidad de este punto es conocer las características de cada elemento para lograr mejores resultados en la configuración, ajuste y operación del sistema completo.

5.2.1 Diagnóstico de elementos individuales.

Se debe probar cada elemento electrónico verificando que realice cada una de las acciones y funciones de manera correcta. Además se debe verificar que no existan problemas de confiabilidad en las conexiones, y que los potenciómetros, faders y switch funcionen correctamente.

Los cables, conectores y conexiones también deben ser probados. Se necesitará un multímetro para realizar las pruebas necesarias para asegurarnos de que se encuentran en condiciones óptimas. Algunas de las aplicaciones del multímetro son: medir continuidad, resistencia, capacitancia, voltajes y corrientes.

Se recomienda establecer un registro de los diagnósticos realizados al equipo de forma individual, ya que con el paso del tiempo nos facilitará identificar y corregir fallas típicas y/o recurrentes. Otra ventaja de esta acción es que nos otorga cierto grado de predicción sobre las condiciones de nuestro equipo.

En caso de averías o fallas se tendrán que realizar las acciones pertinentes para su corrección, pero además se recomienda dar mantenimiento constante a los elementos para prevenir inconvenientes.

5.2.2 Estudiar los elementos del sistema.

Estudiar los elementos se refiere a conocer el funcionamiento, características, configuraciones y especificaciones técnicas de cada uno de ellos a través de los manuales que ofrecen los fabricantes.

La mayoría de las marcas ofrecen diferentes funciones y especificaciones para destacar respecto a la competencia y por eso mismo es necesario estudiarlo con anterioridad logrando con esto que cuando se encuentre el sistema de sonorización completo se logren resultados notables en su ajuste y operación.

5.3 MONTAJE.

A continuación se mencionan los principales aspectos a considerar durante la etapa de montaje de nuestro sistema de sonorización para lograr confiabilidad en su colocación y conexiones.

5.3.1 Confiabilidad en el montaje.

Es importante lograr un buen grado de seguridad tanto para el público como para el equipo técnico, a fin de no sufrir un accidente (por ejemplo, la caída de un altavoz).

La gran mayoría de los sistemas lineales (line arrays) vienen junto a un programa de predicción, donde se muestra una simulación del montaje (ángulos de separación, numero de cajas, tipos, etc.), Se muestra el peso da cada elemento y del arreglo completo indicando sus requerimientos mecánicos.

En el caso de utilizar clusters o arreglos de bocinas convencionales (no lineales), se deberá lograr la misma seguridad mediante acciones particulares para las condiciones en que se encuentre.

También se debe tener cuidado en la forma de colocar el cableado de nuestro sistema, por ejemplo; se debe cuidar que el cableado de las bocinas y alimentación eléctrica esté fuera de zonas donde se pueda suscitar de manera accidental el tropiezo de una persona con los cables o ruptura de ellos, que posiblemente interrumpiría la continuidad de dichas conexiones provocando mal funcionamiento del sistema o falla total.

De la misma manera se debe montar el equipo electrónico en lugares que cumplan condiciones ideales y no comprometidas para el buen funcionamiento de cada elemento.

Una de dichas condiciones será colocar los racks de equipo electrónico en un lugar ventilado (donde fluya el aire), que junto al correcto funcionamiento de los ventiladores (de equipos que lo utilicen) mantendrán una temperatura de trabajo adecuada.

Otra condición que se deberá buscar es; colocar la totalidad del equipo en lugares seguros contra lluvia, polvo, luz directa del sol y humedad, lo que puede comprometer el buen desempeño de nuestro sistema.

5.3.2 Confiabilidad en conexiones y configuraciones.

5.3.2.1 Confiabilidad en conexiones.

Se deberán emplear conectores de calidad profesional y en buenas condiciones, además de un cable adecuado para cada aplicación para evitar por ejemplo; pérdidas, interrupción y la inducción de ruidos.

Las conexiones deberán ser seguras mecánicamente para evitar una posible desconexión y/o falsos contactos. También se recomienda etiquetar los conectores de cada conexión especificando su función dentro del sistema facilitando la implementación y modificación de este.

5.3.2.2 Confiabilidad de configuraciones.

Este punto básicamente se refiere a que el personal encargado de la interconexión de los elementos del sistema respete el diseño original, ya que por ejemplo; la variación en la forma de conectar los altavoces provoca variación de la impedancia de carga, y posiblemente podría presentarse una falla en los amplificadores o comportamiento ineficiente.
Otro ejemplo es que por no emplear distribuidores de señal para diversos subsistemas o conexiones se pueden introducir ruidos o causar perdida de nivel en nuestras señales, además de que posiblemente no se mantengan las mismas propiedades de la señal original.

5.3.3 Polarización del sistema.

Una parte muy importante de la metodología que requiere de una especial atención es la polarización. Este paso es de vital importancia ya que mediante él proporcionaremos las condiciones eléctricas para que la totalidad del equipo electrónico pueda trabajar. Lo anterior debe observarse en detalle debido a que si se presenta una falla o mal funcionamiento en el suministro de energía puede provocar consecuencias fatales.

Algunos de los consejos básicos son:

- Distribuir la carga total entre las fases disponibles.

- Polarizar el sistema de audio completamente independiente a otros sistemas (iluminación, luces, refrigeración y aire acondicionado), con lo cual se minimiza riesgo de ruidos inducidos, interrupción de suministro debido a sobrecargas o corto circuito ajeno y se consigue un mayor grado de protección.

- Orden de encendido y apagado. Una vez conectado la totalidad del equipo a la energía eléctrica se debe tener mucho cuidado en seguir un orden de encendido, ya que el encender ciertos equipos en un orden inadecuado puede causar picos eléctricos que comúnmente pueden dañar a otros elementos (comúnmente altavoces).

  Se recomienda encender el equipo conforme es el flujo de audio; es decir primero las fuentes sonoras, después la consola de audio, luego todos los procesadores de audio y periféricos, y por ultimo los amplificadores de audio (teniendo mucho cuidado de que al encenderlos el nivel de salida de ellos esté al mínimo y posteriormente ajustar al nivel de trabajo)

Para apagar el sistema se deberá hacer de manera inversa teniendo cuidado de poner al mínimo el nivel de salida de los amplificadores antes de apagarlos.

5.3.4 Aplicación de adecuadas técnicas de microfoneo.

Se deberán aplicar técnicas de microfoneo adecuadas en cada fuente sonora para obtener resultados óptimos; esto mediante un criterio correcto que nos permita el aprovechamiento de las características y especificaciones técnicas de los micrófonos. Además se pretende eliminar problemas frecuentes como son; riesgo de retroalimentación o la interacción entre fuentes sonoras.

5.4 AJUSTE DEL SISTEMA.

En este punto se describe una secuencia de pasos a seguir como referencia para el ajuste del sistema implementado, pero cada sistema deberá ocupar una secuencia o metodología particular que contemple sus necesidades y condiciones de trabajo.

Esta metodología está enfocada para sistemas de P.A y arreglos complementarios (delay, front fill y down fill), pero también puede servir para el ajuste de sistemas de monitoreo dentro del escenario.

NOTA: "LINE ARRAYS".

Los sistemas de bocinas con tecnología LINE ARRAY cuentan con herramientas de ajuste y predicción que entre otras ventajas nos ofrecen graficas de respuesta en frecuencia, graficas que representan el SPL a lo largo del recinto mediante una equivalencia en colores, respuesta impulso, forma del arreglo, peso de arreglos, puntos virtuales de medición y la opción de incluir características físicas de la construcción.

Es por eso que en esta tesis se establecerá una metodología de ajuste enfocada únicamente a sistemas de sonorización que utilicen sistemas de bocinas convencionales.

METODOLOGÍA.

1 Ajustar cada uno de los equipos del sistema en condiciones nominales de trabajo, y asegurarnos de que todos los parámetros y funciones se encuentren de la misma forma tanto en para el canal derecho como para el izquierdo.

2 Asegurarnos que las vías a trabajar estén conectadas a los altavoces adecuados, y posteriormente realizar el ajuste de las frecuencias de corte y parámetros del crossover o procesador según especificaciones, necesidades, o condiciones de trabajo.

3 En caso de utilizar torres de delay, front fill, down fill, etc. ajustar los tiempos de retraso adecuado mediante un procesador de tiempo (DELAY).

4 Determinar una serie de puntos representativos o de interés (ubicaciones físicas), para ser considerados en el proceso de medición y ajuste.

5 Realizar el ajuste de SPL al que se pretende trabajar durante el evento en cada una de las zonas con la ayuda de un sonómetro, aplicando ruido rosa como referencia. Este ajuste debe realizarse de manera independiente para cada arreglo de bocinas (P.A, delay, down fill, front fill, etc.) para que la variación de SPL en todos los arreglos sea uniforme durante el espectáculo musical.

6 Obtención de la respuesta en frecuencia o lectura de espectro (mediante un RTA) en los puntos representativos del recinto utilizando como señal de referencia ruido rosa.

7 Realizar correcciones de la respuesta en frecuencia o de la lectura de espectro mediante ecualización.

8 Se recomienda realizar un último ajuste de ecualización mediante criterio personal.

9 Corrección de problemas suscitados.

Retroalimentación o Feedback.
Minimizar el riesgo de retroalimentación entre fuentes sonoras y sistemas de altavoces. Se deberá provocar intencionalmente el feedback para obtener el valor de la frecuencia más susceptible mediante nuestro RTA o equipo de medición, y posteriormente atenuarla en el ecualizador pertinente.
(Es recomendable hacerlo para las tres frecuencias más susceptibles)

Minimizar la presencia de algunos tipos de ruido.
Se deberá determinar la causa de los ruidos y eliminarlos.

Minimizar resonancias y reverberación.
Se deberá determinar el origen de dichos problemas y corregirlos mediante las acciones correspondientes, por ejemplo; la implementación de paneles acústicos y ecualización.

10 Realización de mediciones en todos los puntos representativos para lograr con ello una interpretación útil del comportamiento de nuestro sistema.

5.5 OPERACIÓN.

5.5.1 Line check.

El line check consiste en asegurarnos que todas las líneas y el snake lleguen desde el escenario hasta la consola de audio. Comúnmente un técnico utiliza un micrófono mediante el cual hablará utilizando cada una de las líneas, mientras que el operador se cerciora de que las señales lleguen sin ruidos y con las mismas propiedades a cada uno de los módulos de la consola.
Esta actividad nos da la seguridad de que la totalidad de las señales lleguen a nuestra consola de audio de manera correcta.

5.5.2 Sound Check. (Acciones de referencia).

El sound check es la última acción realizada antes del evento musical y es por eso que tiene una gran importancia. Las condiciones en que ese quede después del sound check son las mismas condiciones con las que se comenzará a trabajar durante el espectáculo (es un tipo de ensayo con los músicos a sonorizar, para que al comenzar se tenga un sonido óptimo).

Consiste básicamente en acondicionar las señales, filtrarlas, ecualizarlas, asignarlas y mezclarlas.

Es importante aclarar que al comenzar el proceso de sound check se asume que se ha realizado un buen diseño, un buen montaje, que la totalidad del equipo se encuentra en optimas condiciones y además que el sistema completo se encuentra perfectamente ajustado.

Existe una infinidad de acciones y diverso orden en que se puede realizar dicho proceso, pero a continuación se propone un conjunto de pasos cronológicos para ser tomados como referencia.

5.5.2.1 Ajuste del nivel de entrada de las señales.

Antes de ajustar el nivel de entrada se deberá encender la fuente fantasma (Phantom power) fuente de +48 [V] D.C en el caso de micrófonos de condensador o instrumentos que lo requieran.

Se asume que las funciones y parámetros de la consola de audio y demás elementos se encuentran en condiciones normales o nominales (sin ecualización, sin defasamientos, entre otros.)

El primer paso consiste en ajustar el nivel de entrada de las señales. Esto se realiza mediante en control GAIN contenido en cada uno de los módulos de la consola de audio. Mediante este control podemos dar ganancia al nivel de entrada así como también atenuarla.
En algunas ocasiones (sobretodo en teclados, instrumentos eléctricos o micrófonos de condensador) la señal es muy grande y aunque el control GAIN esté al mínimo existe saturación. En esos casos se hace uso del atenuador (PAD).

El PAD es un interruptor que va posterior al preamplificador de ganancia y está formado por una resistencia fija que provoca una reducción preestablecida (entre 20 y 40 db).

Consideraciones:

- Se recomienda realizar el ajuste de las señales de entrada entre -15 db y 0 db como máximo (según instrumentos, contenido musical y criterios).

- En el caso de ajustar a niveles altos y sumar señales, el headroom o reserva (diferencia en db entre el nivel máximo de operación de un dispositivo y el nivel en que se encuentra operando en un momento específico) puede desaparecer ocasionando problemas de saturación, distorsión, calentamiento o daño en nuestro sistema.

5.5.2.2 Asignación de la señal a trabajar.

Una vez que la señal a trabajar tiene un nivel de entrada adecuado se deberá asignar hacia donde será enviada (salida master, monitor o grupos).

Comúnmente las señales se asignan a más de una salida; por ejemplo, salida master para P.A, varios monitores para los músicos, salida matrix para arreglos independientes e inclusive para grabación.

5.5.2.3 Ajuste de nivel de salida.

Obviamente, si es necesario realizar el ajuste del nivel de entrada de las señales, también lo será ajustar los niveles de salida del sistema y de las señales.

Es recomendable establecer primero el nivel de salida a trabajar del sistema completo (ya sea en salida master, grupos, matriz o auxiliar). Se recomienda que sea al valor nominal y dejarlo fijo. Después se deberá dar el nivel de salida con el cual trabajará cada uno de los módulos (mediante el fader o potenciómetro).Se requiere tener en cuenta que los niveles de las señales independientes deben ser adecuados para ser mezcladas con las demás señales.

5.5.2.4 Activación del filtro low cut o paso altas.

Generalmente todos los módulos de las consolas de audio traen como opción un filtro paso altas o low cut que tiene una frecuencia de corte (aproximadamente a 75 Hz) que sirve principalmente para eliminar ruidos de manejo (colocación del micrófono en el pedestal o al cambiar de mano), minimizar interacción entre fuentes sonoras y minimizar ruidos provocados por el viento.

Se debe tener en cuenta que el empleo de dicha herramienta está en función de la señal a trabajar ya que aunque sería muy útil activarla en los platillos de una batería, seria desastroso emplearlo en un módulo donde se esté trabajando con un bombo de batería o con un bajo eléctrico (debido a que parte de su contenido musical está precisamente en el interválo filtrado).

5.5.2.5 Paneo de señales.

El paneo consiste básicamente en la posibilidad de ajustar el nivel de salida de la señal en el lado izquierdo como el derecho. Esto es de gran utilidad para crear un ambiente sonoro estereofónico (Comúnmente en percusiones, voces y teclados), con lo que se logra una sensación de "movimiento".

- Comúnmente el paneo de las señales está relacionado con la ubicación física de los instrumentos dentro del escenario, logrando que la audiencia perciba concordancia entre ubicación física y sonora.

5.5.2.6 Ecualización.

Se deberá reproducir la señal de entrada en nuestro sistema y ecualizar dicho módulo hasta obtener un sonido que cumpla con nuestros requerimientos.

Esto se deberá hacer únicamente mediante el ecualizador de la consola o mediante un ecualizador insertado a dicho módulo. (Es un error tratar de ecualizar una señal con el ecualizador general, ya que este debe ser empleado únicamente para corrección del sistema completo y/o mezcla general).

Cabe mencionar que no existe una ecualización ideal, exacta o perfecta sino una infinidad de opciones que están en función al gusto y criterio del operador de audio.

5.5.2.7 Ajuste de periféricos.

Después de tener la señal a trabajar con el nivel de entrada adecuado, filtrada, ecualizada y asignada se deberán ajustar los equipos periféricos conectados a dichos módulos; por ejemplo; efectos, compuertas y compresores (se recomienda realizar los ajustes de dichos equipos en las condiciones en que se estará trabajando durante el evento).

Todas las acciones anteriores se deberán realizar para cada una de las señales de entrada y finalmente realizar la mezcla de todas ellas mediante los faders y controles individuales.

5.5.2.8 Mezcla.

Una vez realizado todo lo anterior, nos enfrentamos con una infinidad de posibilidades de ajustes, acciones, perspectivas, gustos y criterios que deberán ser llevados acabo por la persona encargada de la operación del sistema de sonorización.

De manera personal considero tres aspectos básicos para lograr un resultado óptimo en la audiencia:

¡Que se oiga!

Me refiero a que a todo lo largo y ancho del recinto se tenga un SPL (nivel de presión sonora) suficiente para escuchar el evento musical y evite que los ruidos o sonidos ajenos sean considerables. También se puede definir como presencia; la cual expresa la sensación de cercanía de una fuente sonora y permite que dicho sonido sobresalga del ambiente en que se encuentra.

¡Que se escuche!

Me refiero a que el mensaje musical sea claro y las voces sean totalmente entendibles. También se puede definir como inteligibilidad; la cual expresa la cualidad del sonido que nos permite comprender y escuchar claramente el mensaje o información sonora.

¡Que se sienta!

Me refiero a que se perciba una sensación de “movimiento” e “impacto”;

“Movimiento”. Es la sensación que se crea mediante el ajuste de paneo de las diversas fuentes sonoras. El “panear” las señales crea un ambiente estereofónico que comúnmente esta relacionado

con la ubicación física de los instrumentos y voces. Es común notar dicha sensación cuando se hace un remate de batería tocando los toms, donde se percibe la forma en que el sonido pasa de un lado a otro respecto al escenario, también es fácil percibirlo con todo tipo de percusiones, teclados y coros.

“Impacto”. Es la sensación de choque de las ondas sonoras en nuestros cuerpos. En algunos tipos de instrumentos no basta con el hecho de escucharlo, sino también es necesario sentirlo cada vez que emite sonido dicha fuente sonora. Este tipo de instrumentos son los que tienen su contenido musical en baja frecuencia (bombo de una batería, un bajo eléctrico o una tuba).

A partir de este punto entra el factor humano (el más importante) que deberá aprovechar todas las herramientas técnicas y de conocimiento para lograr sus objetivos.

6. DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA REAL.

En este último capítulo se realizará el diseño y optimización de un sistema de sonorización para música en vivo real.

Esto lo haremos (INTEQ audio) para el evento: "Noche colonial" presentado por la Universidad de Cuautitlán Izcalli (UCI) plantel balcones del valle. Se aplicará todo lo estudiado en esta tesis, incluyendo una metodología particular para las necesidades y características del evento mediante la cual lograremos un sistema de sonorización óptimo.

Al final de la tesis se incluye un anexo de especificaciones (anexo 4), en el cual se podrán observar las principales características de los equipos referidos durante este capítulo.

6.1 Diseño.

A continuación se definen las principales características a considerar para el evento, y en base a ello propondremos algunos diseños de sistemas.

Posteriormente analizaremos cada uno a fin de establecer tanto ventajas como desventajas y por último definiremos la mejor opción para implementar.

6.1.1 Definición del evento.

A continuación se establece el tipo de música a sonorizar, el tipo de evento, su duración, logística y las necesidades técnicas.

6.1.1.1 Tipo de música.

La música a sonorizar durante el evento "noche colonial" es la siguiente:

- 20 Estudiantinas (guitarras, panderos, teclados, mandolinas, bateríay voces).
- 3 Grupos de rock (guitarras, bajo eléctrico, teclados, batería y voces).
- 1 Banda. (contrabajo, trombón, saxofón, trompetas, tuba, percusiones y flautas.).
- 6 Rutinas de baile (música electrónica grabada en C.D con gran contenido musical en bajas frecuencias).

6.1.1.2 Tipo de evento.

Aunque durante el evento musical se llevan acabo otras actividades (juegos mecánicos, stands de expositores y venta de comida) la música es el espectáculo principal, por lo cual se requiere un SPL que evite que sonidos externos sean considerables y a su vez debe permitir al asistente charlar con naturalidad mientras percibe la música de manera muy agradable.

La audiencia está compuesta por:

Alumnos de las distintas escuelas que participan (kinder, primarias, secundarias, preparatorias, y universidades).
Familiares de los participantes (generalmente adultos y tercera edad).

Es decir se tendrá un público de todas las edades.

6.1.1.3 Duración del evento.

El evento “noche colonial” tendrá una duración estimada de 9.5 hrs, para el cual las principales organizaciones de salud nos recomiendan un nivel de presión sonora de trabajo aproximado a 90 db (lo que se puede comprobar en la tabla “consecuencias debido al tiempo de exposición a niveles de audio” en el anexo I), lo cual se puede lograr fácilmente realizando mediciones con nuestro sonómetro y/o el software Smaartlive.

Además tendremos cuidado de mantener nuestros equipos en condiciones de trabajo adecuadas que nos permitan evitar sobrecalentamiento, mal funcionamiento o falla, lo cual podría ocasionar que nuestro sistema se comporte de manera ineficiente o incluso sea interrumpido. Por lo anterior; durante todo el evento mantendremos un headroom que nos permita tener un buen grado de confiabilidad.

6.1.1.4 Logística.

Se cuenta con tres técnicos altamente capacitados que realizarán las configuraciones necesarias sobre el escenario para cada participante de manera rápida. A cada uno de ellos se les asignan tareas específicas y serán capaces de solucionar los problemas que se puedan suscitar.
Cabe mencionar que para tener contacto directo entre el ingeniero de audio u operador y los técnicos se utilizará un sistema de comunicación por radio.

Durante todo el evento participarán dos conductores, que tienen como finalidad presentar la actuación de cada uno de los expositores. Estos conductores requieren desplazarse a lo largo del escenario mientras los técnicos configurarán y manipularán las conexiones o colocan pedestales y micrófonos. Por lo anterior se decidió asignarles micrófonos inalámbricos, con lo que evitaremos que los cables se enreden o que de manera accidental se tiren pedestales o instrumentos.

La participación de algunas estudiantinas (de niños entre 4 y 6 años de edad), requieren ser acompañados de una pista de música grabada, así como también la participación de grupos de danza o bailes regionales; lo cual implica tener dicho material con anticipación para poder utilizarlo en el momento en que se nos requiera. La mayoría de las veces se nos entregan varios discos que contienen las melodías a reproducir, pero para evitar confusión y lograr un mayor orden se le pidió a los organizadores se nos entreguen las melodías con una anticipación de 7 días y con esto lograr editar discos que contengan únicamente las melodías a reproducir y en orden de presentación. Además realizaremos un respaldo en el disco duro de la lap top utilizada para el caso en que se presentara un inconveniente técnico. El software con el que contamos para la reproducción de dichos Tracks (melodías) son Traktor DJ Studio 2.5.3 y BPM Studio 4.8.

Se cuenta con el número y tipo de cables, conectores, adaptadores, micrófonos, bases y pedestales para poder emplearlos en el momento que se nos requiera.

Se instalará una batería acústica (requerida por la UCI) en la cual se ocupará un kit completo de micrófonos para batería de la marca Shure de la serie PG, la cual por decisión de los organizadores será la única donde tocaran los participantes o grupos que lo requieran. Esto se decidió para evitar tener que instalar la baterías de cada participante, lo cual provocaría perdida de tiempo y un sonido ineficiente en dicho instrumento (es preferible que durante el sound check se obtenga un sonido óptimo y conservarlo durante todo el evento).

Durante la actuación de algunos de los participantes se realizará la grabación de la mezcla final para ser utilizada con fines didácticos, esto mediante el software Sound Forge 7.0 y con la ayuda de la interfase de la marca TASCAM mod US 122, que nos permitirá introducir a nuestra laptop señales con nivel de línea provenientes de nuestra consola de audio, además de que durante todo el evento se tendrá funcionando nuestra herramienta de medición mas importante; el software Smaartlive mediante la cual estaremos monitoreando la calidad del audio y posibles problemas.

6.1.1.5 Necesidades técnicas.

Algunas de las necesidades técnicas a destacar son las siguientes:

Se requiere una gran cantidad de entradas en la consola. Por ejemplo la batería utilizará un total de 6 micrófonos, además se instalarán 10 micrófonos dentro del escenario para estudiantinas y banda, también se requerirán 2 entradas para los conductores, además dos módulos estereo para los 2 reproductores de C.D, y por ultimo 2 módulos monoaurales para la lap top. Se utilizarán salidas auxiliares independientes para los monitores (aunque no se estudiarán durante esta tesis), y una salida estereo independiente para grabación.
Para cumplir este requerimiento utilizaremos una consola de audio de 24 canales de la marca **Yamaha mod GF24/12.**

También se requieren diversos tipos de micrófonos con diferentes patrones polares, diversa respuesta en frecuencia, etc. Contamos con gran variedad de micrófonos entre los que se encuentran micrófonos para voces, percusiones, bombo o bajas frecuencias, inalámbricos, y uno específico para mediciones acústicas. Obviamente también se requieren distintos tipos de pedestales y clamps según la aplicación; pedestal de piso (para bombo y microfoneo de monitores), pedestal sencillo (para cantantes), pedestal con bum (para cantantes con guitarra o bajo) o para micrófonos de platillos de batería, clamps para percusiones, etc.
A demás se requiere un procesador de efectos, el cual nos permitirá dar un sonido distintivo a fuentes individuales o grupos de estas.

Los tres efectos básicos que utilizaremos son: delay, reverb y hall. Para lograr estos efectos empleamos el procesador de la marca **Digitech Mod. S100**.

Para reproducir los traks de música se acordó con los organizadores que será únicamente en formato de CD, pero debido a la experiencia (que comúnmente no se respeta el acuerdo), se llevará un reproductor deck. El reproductor de CD con el que se espera trabajar durante todo el evento será de la marca **TASCAM mod.CDX1500.**

Además se requieren algunos compresores y compuertas que nos permitirán establecer el rango dinámico de ciertas señales. Se utilizarán compresores de la marca **DBX Mod. 266XL.**

También se necesita un snake con el cual podamos conectar los instrumentos y voces sobre el escenario hasta la consola de audio (de una longitud de 30 metros y 24 puntas).

Los requerimientos eléctricos, serán establecidos mas adelante mediante la cuantificación del consumo.

6.1.2 Consideraciones.

6.1.2.1 Dimensiones físicas.

La noche colonial se llevará acabo con sus diversas actividades en distintas partes del plantel, pero nuestro interés será únicamente en la zona del evento musical. Dicha actividad se llevará acabo dentro de una cancha de fútbol rápido (Al aire libre) con las siguientes dimensiones:

Longitud = 42 metros. Ancho = 22.5 metros.

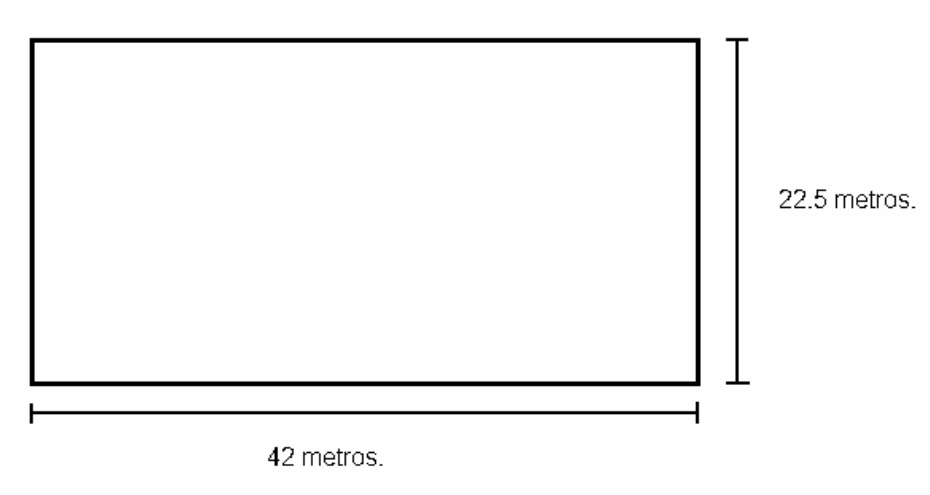


Figura 78. Dimensiones del recinto a sonorizar.

De la figura 78 podemos obtener el área total que requiere ser sonorizada.

A= (longitud) x (ancho).

A = (42 metros) x (22.5 metros).

A = 945 m^2

6.1.2.2 Condiciones atmosféricas.

Debido a las condiciones en que se celebrará el evento, únicamente consideraremos la variación de la temperatura.
Durante las 9.5 hrs. de trabajo se darán variaciones de temperatura radicales, ya que por ejemplo a las 3 PM pueda haber temperaturas de 30 ˚C y a las 10 de la noche (horario estelar) la temperatura podría ser de tan solo 8˚C.

De manera similar durante el sound check (prueba de sonido) que realizaremos aproximadamente a las 10 AM la temperatura será muy diferente a la que se presentará en la mayoría del evento. Cabe recordar que la velocidad de propagación del sonido aumenta conforme lo hace la temperatura y de igual manera disminuye conforme lo hace también la temperatura.

Así que, cuando estemos trabajando a temperaturas altas el sistema parecerá mas agudo que a temperaturas bajas, y sabiendo esto realizaremos pequeños ajustes conforme se valla haciendo presente el fenómeno para mantener nuestro sonido con las propiedades originales durante todo el evento.

6.1.2.3. Construcción y zonas (del recinto únicamente).

Construcción.

El recinto a sonorizar básicamente tiene las siguientes características:

Una área total de 945 m² (42m de largo y 22.5m de ancho) completamente plana (sin desniveles).

- Recinto al aire libre.
- Delimitado en profundidad por una pared de 1.8m de altura.
- Delimitado del lado izquierdo por un muro de 7m de altura.
- Delimitado del lado derecho por un muro que va de 50 cm hasta 1.8m de altura.
- El material de la construcción es ladrillo (pintado), y de la tabla contenida en el anexo II podemos observar que dicho material tiene un coeficiente de absorción muy bajo (desde 0.01 a 0.02 para frecuencias entre 125hz a 4 Khz.), lo que provocará gran cantidad de reflexiones de las ondas sonoras que incidan en el.
- Afortunadamente no existen otro tipo de construcciones u objetos que pudieran causar alteraciones acústicas.

De todo lo anterior deducimos que gran parte del sonido se concentrará dentro del lugar, ya que las ondas sonoras serán reflejadas una y otra vez por las diversas limitaciones físicas hasta ser imperceptibles.

En la figura 79 se muestra de manera mas clara:

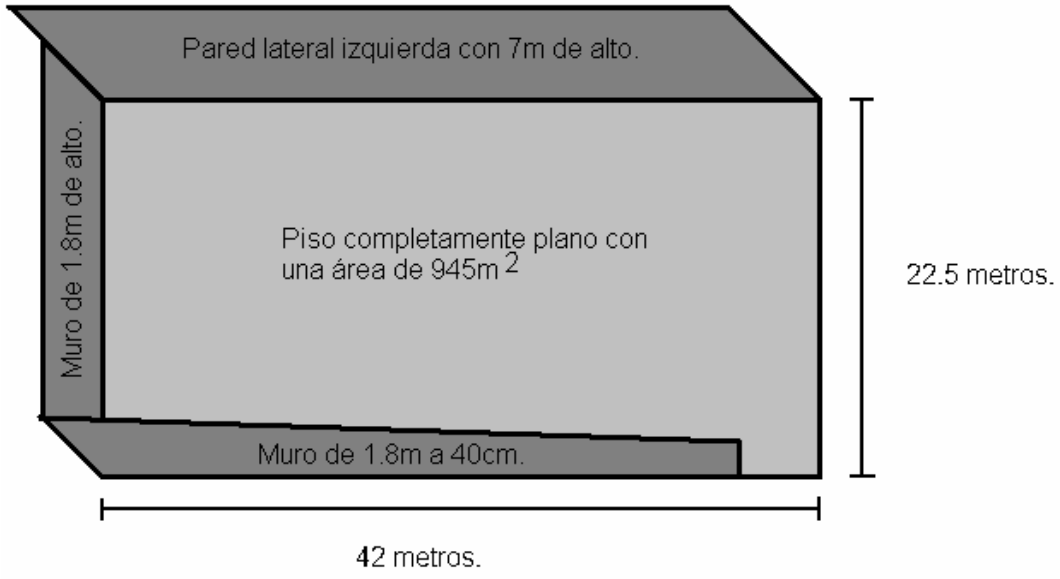


Figura 79. Construcción del recinto a sonorizar.

Zonas de interés.

Dentro del lugar se ubican básicamente cuatro zonas:

1. Zona del público. Esta zona requiere contar con la mayor calidad de audio en todos los aspectos, púes es precisamente ahí donde el publico esta con la única finalidad de presenciar el evento musical.

2. Zona de comida y stands. Se requiere un sonido más sutil, una presión sonora menor pero con buena calidad de audio e inteligibilidad.
3. Zona de la cabina de audio. Esta zona se ubicará aproximadamente a 20m del escenario y al centro, lo cual permite condiciones ideales para ajuste y operación. (máxima suma de SPL, mínimas cancelaciones acústicas debido a la misma distancia con respecto al P.A, optima percepción del "paneo", etc.)
4. Zona del escenario. Dentro del escenario se colocarán dos monitores que servirán de referencia para que los músicos, cantantes y conductores escuchen una mezcla general de lo que están interpretando. Dicha mezcla requiere un SPL suficiente para destacar del sonido reproducido por los altavoces de P.A, pero a su vez limitada para no "contaminar" la zona del público (dicho subsistema no será considerado en mediciones y cuantificaciones debido a ser un complemento mínimo de nuestro sistema general y de poco interés para nuestros objetivos).

La figura 80 muestra la ubicación de las zonas de interés dentro del recinto.

Cabe mencionar que el escenario medirá 6m de profundidad por 12m de largo.

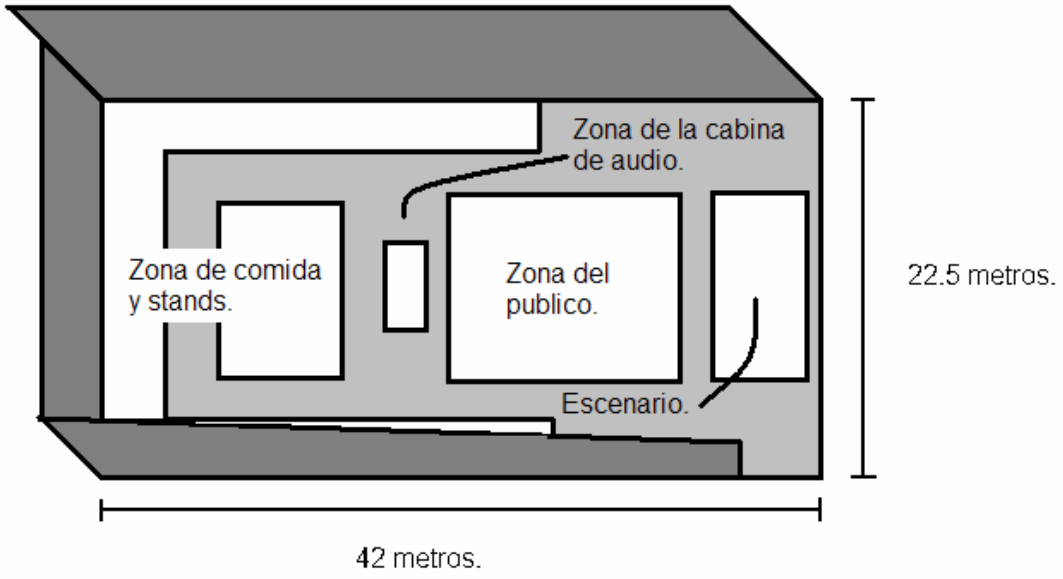


Figura 80. Ubicación de las cuatro zonas de interés.

6.1.3. Obtención de especificaciones de los elementos de nuestro sistema de sonorización.

Con el fin de lograr obtener el máximo rendimiento de los elementos del sistema se hace necesario tener acceso a sus especificaciones técnicas.

En este caso como contamos con equipo preestablecido para trabajar nos dedicamos a obtener por medio de cada fabricante las especificaciones de cada uno de los elementos, así como los manuales de usuario.

En circunstancias como esta donde se trabaja constantemente con el mismo equipo se deberá tener a la mano dicha información.

A continuación se hace una relación del equipo con el que se cuenta para el evento indicando la marca y modelo para obtener la información requerida.

Equipo de audio.

1 Consola de 24 canales **YAMAHA Mod. GF24/12.**
2 Ecualizadores estereo de 1/3 de octava (31 bandas por canal) **BEHRINGER Mod. GEQ 3102.**
1 Maximizador **BBE Mod. 882.**
1 Crossover **ASHLY Mod. XR – 1001.**
1 Compresor/compuerta (doble) **dbx Mod. 266XL.**
1 Procesador de efectos **Digitech Mod. S100.**
1 Procesador digital delay Yamaha **D5000.**
1 Reproductor doble de C.D TASCAM Mod. CDX1500
1 Lap Top **Sony Vaio Mod. PCG- FXA 678.** con Software Smaartlive 5, Traktor DJ Studio 2.5.3 y BPM Studio 4.8.
2 Amplificadores de audio **Crown Mod. XLS 602.**
2 Amplificador de audio **Crest audio Mod. Vs 1600.**
1 Interface **TASCAM US 122.**

Altavoces.

8 Bocinas de 3 vías (crossover pasivo) **Yorkville Mod. Y253BA.**
8 Subwoofers **Fane Mod 18xB. Colosos Turbo 18 pulgadas.**

Micrófonos.

1 KID de micrófonos para batería (4 micrófonos) **Shure serie PG.**
4 Micrófonos **Shure PG 48.**
1 Micrófono **Shure Mod. SM 58.**
6 Micrófonos **Sennheiser Mod. e825.**
8 Micrófonos **Pro Am.**
2 Micrófonos inalámbricos **Shure serie PG.**
1 Micrófono de medición **Behringer Mod. ECM8000.**

Durante el desarrollo de esta tesis se requerirán algunas de las especificaciones técnicas de los diferentes equipos, por lo que se incluye al final un anexo (anexo 4) para dicho propósito mostrando las hojas de especificación básicas.

6.1.4 Propuesta de sistemas.

Para el evento “noche colonial” se cuenta con el equipo de proceso, periféricos, amplificación, medición, microfonía y altavoces anteriormente mencionado y en función de este se propondrán algunos diseños de sistemas diferentes.
Finalmente se realizará un comparativo entre ventajas y desventajas que ofrece cada uno de ellos y se establecerá la mejor opción para poder cumplir de manera eficaz las necesidades anteriormente definidas.

A continuación se describen los equipos a utilizar indicando las características y resultados esperados por su elección.

6.1.4.1 Equipo electrónico y sistema de bocinas.

Consola YAMAHA Mod. GF24/12.
Esta consola fue considerada debido a que cuanta con 24 canales de entrada; 20 son monoaurales (desde el módulo 1 al 20) de los cuales como máximo se ocuparían 17 de manera simultanea, 2 canales estereo (21, 22, 23 y 24) que son precisamente los que necesitaremos para los reproductores de CD TASCAM. Además cuanta con una salida master para el P.A (audio para el publico), 6 salidas auxiliares; suficientes para dos monitores dentro del escenario y uno para el procesador de efectos (sobrando 3 auxiliares mas).

Maximizador BBE Mod. 882.
Este maximizador conectado a la mezcla general nos ayuda a obtener un sonido con mayor inteligibilidad y claridad tanto en voces como en el contenido musical (que logra mediante armónicos).

Ecualizador estereo BEHRINGER Mod. GEQ 3102.
Este ecualizador es de gran importancia, ya que mediante el realizaremos los ajustes y correcciones que se presenten en nuestro sistema de sonorización.

Este modelo será muy útil para nosotros ya que el software Smaartlive empleado para las mediciones tiene la opción de una resolución de 1/3 de octava sobre el rango audible (es decir 31 bandas), logrando concordancia entre las mediciones y ajustes. Además de que 1/3 de octava de resolución nos permite realizar ajustes relativamente selectivos sin alterar radicalmente la respuesta en frecuencia del sistema.

Crossover ASHLY Mod. XR – 1001.
Este crossover fue seleccionado por su bajo nivel de ruido y distorsión a la salida, además de que mediante un circuito de estado-variable garantiza que dos salidas de banda de frecuencia adyacentes se mantengan en fase, es decir se evitarán cancelaciones en frecuencias de corte.

Compresor/compuerta DBX Mod. 266XL.
Este elemento es de gran importancia dentro de los sistemas de audio, ya que mediante el empleo de ellos se pueden conseguir resultados notables. Pero debido a que durante nuestro evento se realizarán aproximadamente 30 cambios de músicos y cantantes (aproximadamente 15 minutos cada uno) y cada uno distinto al anterior sería prácticamente imposible lograr realizar los ajustes individuales de los compresores/compuertas empleados después de que también se deberán ecualizar y ajustar todas las fuentes sonoras que recientemente inician su participación.

Por lo anterior se decidió ocupar únicamente un compresor/compuerta doble insertados a dos fuentes sonoras que no presentaran cambios drásticos en su dinámica (además de ser de gran importancia); al bombo de la batería y al micrófono de la voz principal.

Procesador de efectos Digitech Mod. S100.
Considerando que durante el evento musical tendremos por lo menos 30 cantantes principales y una infinidad de coros, es necesario contar con efectos que nos permitan dar un toque especial a las voces. Se decidió usar este procesador debido a que cuenta con los efectos básicos que se necesitarán: delay, hall y reverb, además por su sencilla forma de operación.

Procesador digital delay Yamaha D5000.
Este procesador fue elegido debido a su fácil manejo y gran calidad.

Reproductor de C.D TASCAM Mod. CDX150.
Este reproductor profesional fue seleccionado debido a la alta confiabilidad que nos proporciona para leer de manera rápida, sin saltos, capacidad de reproducir discos en mal estado de manera correcta, gran calidad de audio a la salida y un sin fin de funciones.

Lap Top Sony Vaio Mod. PCG- FXA 678 con Software Smaartlive 5, Traktor DJ Studio 2.5.3 y BPM Studio 4.8.

BPM Studio y traktor Dj Studio. Fueron considerados como una opción alterna y de respaldo (en disco duro de la computadora) para reproducir las melodías necesarias en caso de que el reproductor TASCAM no sea utilizado.

Smaartlive. Se empleará Smaartlive como herramienta de ajuste, medición y optimización debido a que es la más accesible económicamente (sin dejar de presentar gran calidad y confiabilidad de mediciones) y por permitir análisis acústico en tiempo real (analizador de espectro, medidor de SPL, medición de la respuesta impulso, análisis de función de transferencia, entre otros.)

Interface TASCAM US 122.
Para que el Smaartlive pueda ser utilizado correctamente se requieren dos entradas de señal con nivel de línea (señal de referencia y señal medida), una salida con nivel de línea, además de fuente phantom para polarizar el micrófono de medición (en caso que sea de condensador).
La interface US122 cumple dichos requerimientos, y como es una de las interfaces recomendadas por dicho Software se decidió adquirirla.

Amplificador Crown Mod. XLS 602. (Amplificador para altavoces de 3 vías).
Se seleccionó este modelo de amplificador debido a que la marca crown es sumamente reconocida por su excelente calidad de audio y confiabilidad en trabajo.

Aunque la serie XLS es la serie "pequeña" de la marca, el 602 es el modelo mas potente y es adecuado para el tipo de altavoz y aplicación que se requiere para el campo de trabajo en el que nos desarrollamos (INTEQ audio) ofreciéndonos las características que se requieren en un buen amplificador a un precio accesible. (Se ocuparán dos amplificadores para abastecer las ocho bocinas a utilizar en nuestro sistema).

Amplificador de audio Crest audio Mod. Vs 1600. (Amplificador para subwoofers).
Este amplificador profesional es de alta potencia y provee gran calidad de audio a la salida, la cual será requerida para abastecer de manera correcta los ocho subwoofers que se ocuparán en nuestro diseño. (Se ocuparán dos amplificadores)

Altavoz Yorkville Mod. Y253BA.
Este altavoz será el encargado de reproducir las frecuencias medias y altas. Fueron seleccionadas sobre otras marcas y modelos debido a que proveen un excelente sonido en altas frecuencias, muy ligeras para transportar, opción de trabajar mediante un crossover pasivo o de manera bi amplificada, precio muy accesible, además de contar con un sistema de protección para la unidad de altas frecuencias (comúnmente dañado en otras marcas).

Subwoofers Fane Mod 18xB.
Para reproducir el rango de bajas frecuencias se requiere de un altavoz hecho especialmente para ello, y el modelo 18XB de la marca inglesa Fane nos provee altos niveles de presión sonora sin perder las principales cualidades buscadas (inteligibilidad, bajo nivel de distorsión y fidelidad).

Cabe mencionar que cuando se buscaba determinar el subwoofer a adquirir nos encontramos con una infinidad de modelos en el mercado a muy bajos precios, y aunque cumple con la cualidad de valores de potencia muy altos, el sonido resultante suele ser molesto (por el alto nivel de distorsión y la falta de fidelidad) por lo anterior hay que recordar que: ***"CADA SISTEMA DE SONORIZACIÓN EN TAN BUENO COMO EL PEOR DE SUS ELEMENTOS".***

Micrófonos.
Debido a las diversas aplicaciones para las cuales se requerirán micrófonos se escogieron los siguientes modelos considerando su respuesta en frecuencia, patrón polar y aplicación.

KID de micrófonos para batería (4 micrófonos) Shure serie PG.
Este Kit de micrófonos fue elegido por ser hecho especialmente para usar en la batería. Cuenta con un micrófono con respuesta en frecuencia ideal para bombo, y tres micrófonos especiales para percusiones (en este caso se utilizarán en el tom 1, en el tom 2 y en la tarola).

4 Micrófonos Shure PG 48.
Estos micrófonos se eligieron por ser ideales para voz, y considerando que habrá gran cantidad de cantantes y coros era fundamental contar con micrófonos para este propósito, ya que gran parte de las cualidades en el sonido que buscamos es la inteligibilidad en las voces.

1 Micrófono Shure Mod. SM 58.
Este micrófono es de la más alta calidad, inclusive es uno mas utilizado por las principales empresas de sonorización, televisión y estudios de grabación. Este micrófono es ideal para cantantes y nosotros lo ocuparemos para la voz principal de cada uno de los expositores; con lo que lograremos una inteligibilidad, fidelidad y presencia que la hará destacar sobre todas las demás fuentes.

6 Micrófonos Sennheiser Mod. e825.
Estos micrófonos nos permitirán gran versatilidad en las fuentes sonoras a microfonear y debido a que se presentarán diversos instrumentos (guitarras, mandolinas, panderos, percusiones, etc.), se tendrán para dicha aplicación.

8 Micrófonos Pro Am.
Estos micrófonos son de calidad muy limitada y el motivo de incluirlos es que durante el evento musical se presentarán algunos grupos de niños muy pequeños, los cuales comúnmente suelen tirar micrófonos de manera accidental (lo que puede provocar daños), además de que dichos grupos se apoyan de pistas grabadas (pasando a segundo plano lo que en realidad están interpretando).

2 Micrófonos inalámbricos Shure serie PG.
Dichos micrófonos nos permitirán muy buena calidad de audio y gran movilidad para los conductores del evento.

1 Micrófono de medición Behringer Mod. ECM8000.
Este micrófono nos proporciona una respuesta en frecuencia prácticamente plana, lo que nos permitirá obtener mediciones confiables.

6.1.4.2. Propuesta de diferentes clusters o arreglos.

Considerando el tipo de evento y las consideraciones anteriormente establecidas, además de la experiencia del año anterior (en que se realizó el mismo evento pero sin un análisis adecuado debido a la repentina contratación), se decidió emplear la siguiente cantidad y tipo de altavoces:

8 Altavoces Yorkville Mod. Y253BA (3 vías con crossover pasivo).
8 Subwoofers Fane Mod 18xB.

A continuación se definen los arreglos a utilizar entre bocinas del mismo tipo (habiendo analizado las diferentes opciones estudiadas en el capítulo 3) y posteriormente se propondrán algunos posibles arreglos para nuestro sistema final.

Arreglos entre bocinas del mismo tipo.

Para altavoces Yorkville Mod. Y253BA (3 vías).
Se utilizará el arreglo estrecho de punto de origen (ver figura 81), y las razones s las siguientes:

Existe una suma máxima sobre el eje de empalme, lo cual es muy útil para nosotros ya que debido al ángulo entre las cajas nos permite dirigir dicho eje sobre la zona principal del público.
Aunque al salir del eje tiene respuesta en agudos variable, en medios y graves tiene muy buen acoplamiento (rangos de gran contenido musical).

La cobertura de una sola caja es de 60º y aunque el ángulo se reduce debido a la acumulación central, nos permite una mayor directividad para tratar de evitar reflexiones con las paredes laterales.

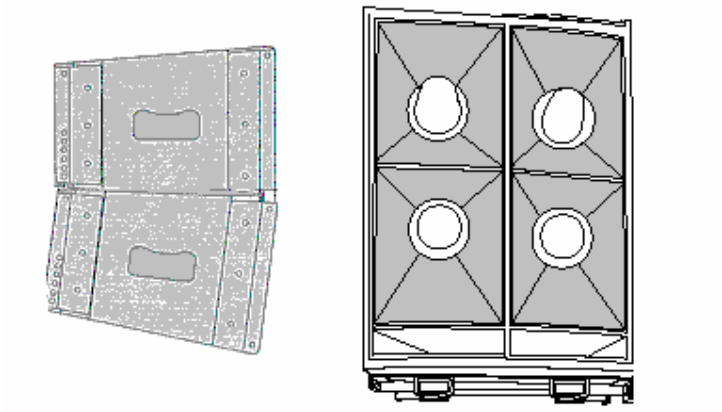


Figura 81. Arreglo estrecho de punto de origen para los altavoces Yorkville.

Para subwoofers Fane mod 18XB.
Se utilizará el arreglo en paralelo (ver figura 82). Dicho arreglo es recomendable únicamente para subwoofers ya que para frecuencias de menor longitud de onda podría ser desastroso debido a que en cada ubicación del recinto tendría una respuesta en frecuencia particular.



Figura 82. Arreglo paralelo para bocinas Fane 18XB.

Clusters.

Al inicio se propusieron dos tipos de clusters, de los cuales se determinó sus ventajas y desventajas. Se observo que aunque cada uno nos proporcionaba algunos aciertos ninguno cumplía con lo que se necesitaba para obtener resultados óptimos.
Se decidió conformar un sistema a partir de los anteriores (cluster tipo 3) tratando de aprovechar las cualidades de cada uno de ellos y lograr que las desventajas fueran las mínimas posibles, pero después de su análisis se decidió realizar ciertos cambios, lo cual provocaría un mejor desempeño (cluster tipo 4).

Los tres clusters propuestos inicialmente se muestran a continuación.

CLUSTER TIPO 1.

Básicamente consiste en colocar los cuatro subwoofers por lado sobre el piso uno al lado del otro, lo cual provoca tener gran SPL en baja frecuencia.
Dicho incremento de SPL es debido a que se forman “virtualmente” otros subwoofers debajo de los reales gracias a la acústica creada por el piso.

De la misma manera los altavoces encargados de reproducir frecuencias medias y altas serán colocados encima de ellos respetando el ángulo que el fabricante asignó a sus cajas acústicas (arreglo estrecho de punto de origen) como ya se había aclarado anteriormente (ver figura 83).



Figura 83 Cluster tipo 1.

Ventajas.

- Gran SPL en baja frecuencia a lo largo de todo el recinto.
- Muy buena cobertura horizontal.
- Adecuada relación entre SPL en baja frecuencia y SPL en alta frecuencia a distancias cortas y medias.
- Cancelaciones acústicas aceptables.
- Muy buen acoplamiento en graves y medios.

Desventajas.

- Interacción acústica con los muros laterales.
- Ineficiente SPL en frecuencias altas y medias a largas distancias.
- En zonas lejanas existe una mayor perdida de SPL en frecuencias medias y altas que en bajas debido a que la longitud de onda radiada por subwoofers se esparce de manera omnidireccional y es menos propensa a la absorción debido a su longitud de onda, mientras que para longitudes de onda pequeñas las cancelaciones acústicas suelen ser mas destructivas y son atenuadas muy fácilmente al interponerse una persona u objeto, además de que son mas direccionales.
- Gran diferencia de SPL entre zonas cercanas y zonas lejanas, lo que podría percibirse en dos formas:
  Muy alto nivel en distancias cortas.
  Nivel deficiente en largas distancias.

CLUSTER TIPO 2.

Este cluster es similar al anterior pero varía en la forma de colocar dos de los altavoces de frecuencias medias y altas.
Se colocan dos altavoces al centro del arreglo de sobwoofers y posteriormente encima de ellos los otros dos; con la característica de que los transductores de frecuencias altas queden “encontrados” con respecto a los inferiores (como se muestra en la figura 84). Con esto se logra (como lo dicen los fabricantes) un mejor acoplamiento en frecuencias altas y medias, además de que con la altura a la que se encuentran los altavoces superiores se podrá dirigir el sonido radiado por estos a zonas mas lejanas.

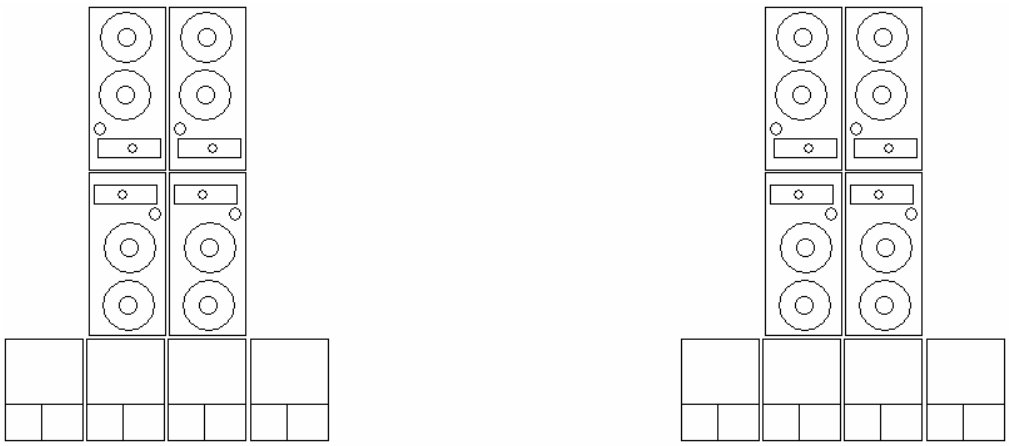


Figura 84. Cluster tipo 2.

Ventajas.

- Gran SPL en baja frecuencia a lo largo de todo el recinto.
- Mayor alcance en distancia (en frecuencias altas y medias).
- Relación aceptable entre SPL de baja frecuencia con el SPL de frecuencias altas y medias en distancias largas y medias.
- Muy buen acoplamiento en graves, medios y agudos.
- Menor interacción acústica con paredes laterales.

Desventajas.

- Gran nivel en bajas frecuencias respecto a medias y altas a distancias cortas.
- Cobertura horizontal limitada.
- Surgimiento de valle acústico en la parte central cercana, lo cual haría necesario el uso de un front fill.

CLUSTER TIPO 3.

Este tipo de arreglo está basado en una combinación de los dos anteriores tratando de aprovechar al máximo las ventajas de ellos y minimizar las desventajas.

De manera general está conformado por los 4 subwoofers por lado colocados en paralelo sobre el piso. Encima y al centro de ellos dos altavoces de medias y altas frecuencias, y como gran diferencia el empleo de dos pequeños arreglos de delay colocados a 22 metros del cluster de P.A, cada uno conformado por dos altavoces de frecuencias medias y altas (como se muestra en la figura 85), dicho arreglo complementario tendrá la finalidad de compensar las perdidas de presión sonora debido a la ley de inverso cuadrado y con esto lograr un buen equilibrio con el SPL de subwoofers en las zonas mas lejanas.

Obviamente se empleará un procesador de delay para retrasar la señal del nuevo arreglo con respecto a la señal del P.A para evitar cancelaciones acústicas debido a la diferencia en tiempo entre ellas y con esto lograr mejor acoplamiento.

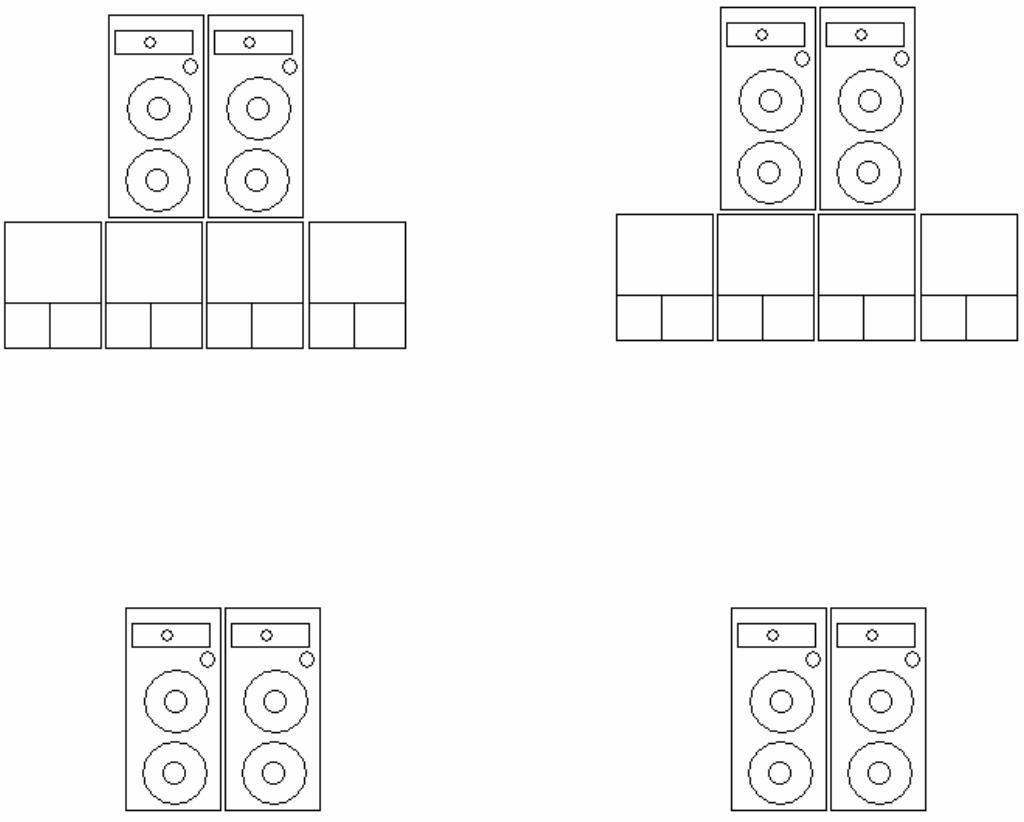


Figura 85. Arreglo tipo 3.

Ventajas.

- Buen SPL en baja frecuencia a lo largo de todo el recinto.
- Baja interacción acústica con muros laterales.
- Cancelaciones acústicas limitadas.
- SPL más uniforme dentro del recinto.
- Mayor alcance en distancia (en frecuencias altas y medias).
- Relación muy aceptable entre SPL de baja frecuencia con el SPL de frecuencias altas y medias en todo el recinto
- Muy buen acoplamiento en graves, medios y agudos.

Desventajas.

- Se necesitará un procesador de delay.
- Menor SPL en medias y altas frecuencias en zona central cercana.

(CLUSTER TIPO 4) ARREGLO QUE SE DECIDIÓ IMPLEMENTAR

El arreglo que se decidió implementar es básicamente el cluster tipo 3, solo que cuenta con algunos cambios que nos permitirán tener un mejor desempeño.

Las tres variaciones básicas son las siguientes:

1. **Colocación de un andamio de 1.8 metros de alto para colocar los altavoces de frecuencias medias y altas del P.A.**
   Esto tiene como finalidad radiar el sonido desde la parte superior hacia el publico sin que se interpongan objetos o personas (lo cual provocaría absorción del sonido principalmente en frecuencias cuya longitud de onda son pequeñas), además de que gracias al ángulo de dispersión vertical y la distancia a la primer y última fila de la zona del público se cubrirá de mejor manera.

2. **Colocación de los altavoces de frecuencias medias y altas a partir de donde comienza el arreglo de subwoofers del escenario hacia fuera.**
   Esta variación se hizo considerando la existencia de un subsistema de delay para cubrir la parte posterior del recinto (Zona de comida y Stands), con lo que la colocación del P.A en altavoces de frecuencias altas y medias será considerando únicamente la zona del publico. Esta variación también nos permite minimizar la zona de valle acústico en las primeras filas al centro del escenario, ya que la distancia entre arreglo izquierdo y derecho es menor y el ángulo de cobertura horizontal es el mismo (60º).

3. Colocación de un andamio de 0.9 metros de alto para colocar el arreglo de delay.

   Esta variación es básicamente con la intención de dar una altura al arreglo del delay aproximada a la de los stands y zona de comida que permita al publico de esta zona escuchar de manera agradable el sonido emitido por dicho arreglo (con un su retraso de tiempo pertinente) acoplado a las bajas frecuencias provenientes desde los subwoofers del P.A.

   Dichas variantes se ilustran en la figura 86.

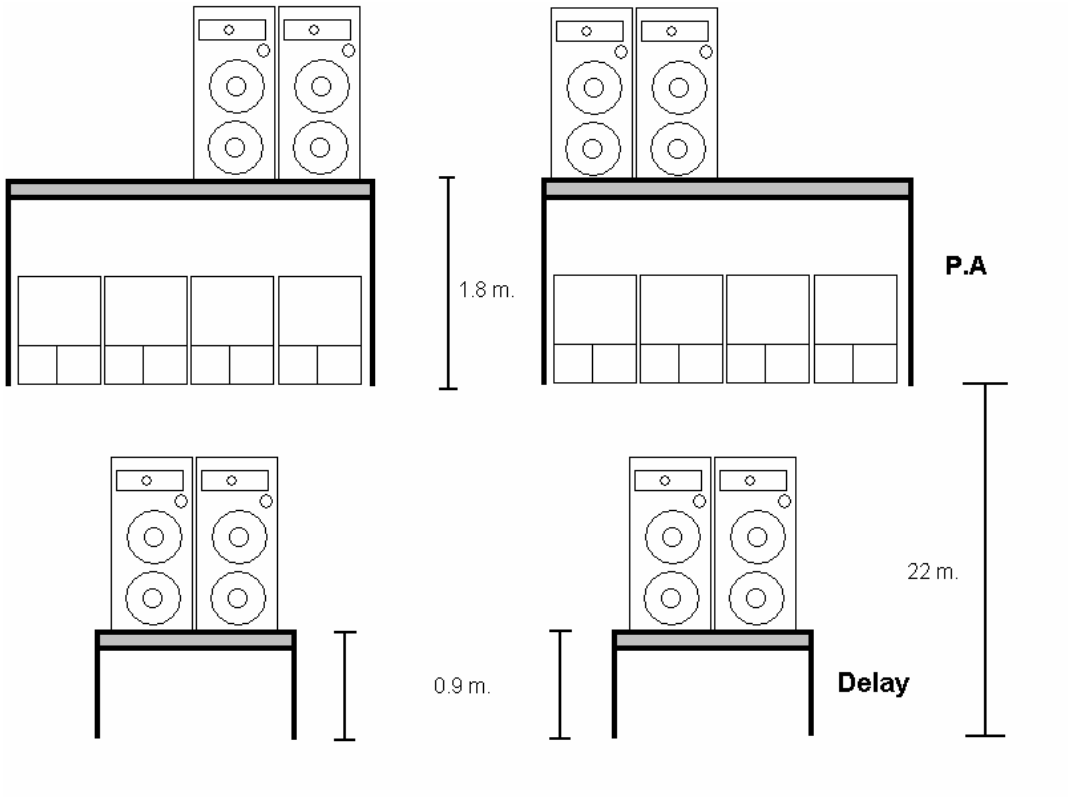


Figura 86. Arreglo a implementar (CLUSTER TIPO 4).

La figura 87 muestra la ubicación que tendrá el equipo dentro del recinto a sonorizar.

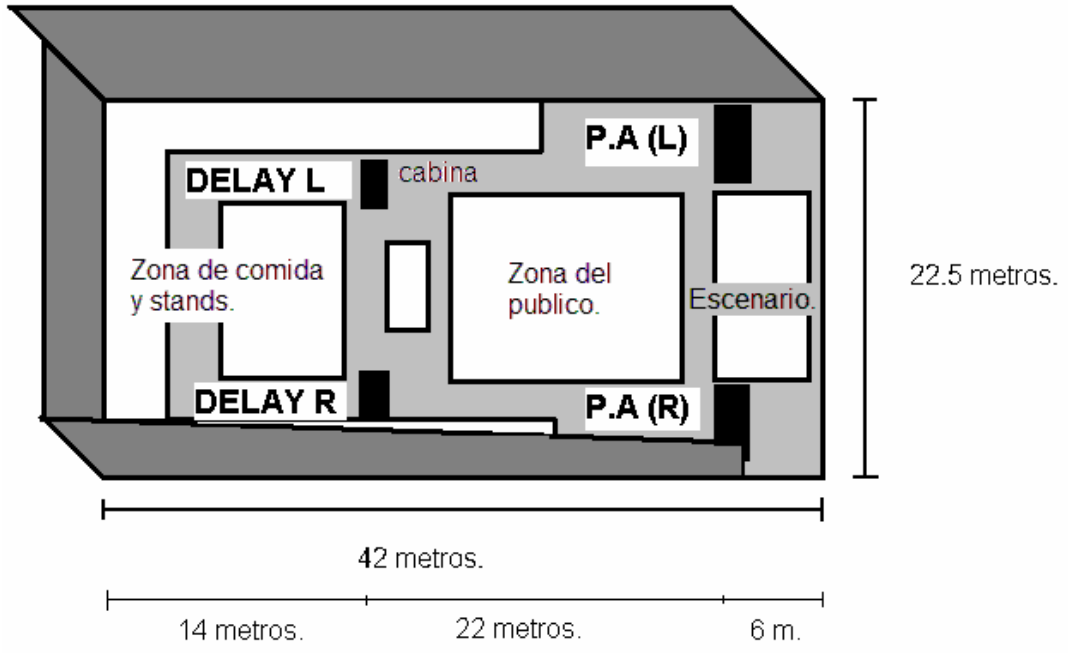


Figura 87. Distribución de arreglos.

6.1.5. Cuantificación del consumo de corriente del sistema a implementar.

(Únicamente equipo de audio).
Dichas especificaciones se encuentran en el anexo IV “especificaciones técnicas” contenido en el CD adjunto.

	C/U	Total.
1 Consola **YAMAHA Mod. GF24/12.**	70W	70W
2 Ecualizadores **BEHRINGER Mod. GEQ 3102.**	10W	20W
1 Maximizador **BBE Mod. 882.**	8W	8W
1 Crossover **ASHLY Mod. XR – 1001.**	15W	15W
2 Amplificadores de audio **Crown Mod. XLS 602.**	1680W	3360W
2 Amplificador de audio **Crest audio Mod. Vs 1600.**	2286W	4572W
1 Compresor/compuerta **dbx Mod. 266XL.**	15W	15W
1 Procesador de efectos **Digitech Mod. S100.**	5W	5W
1 Reproductor de C.D **TASCAM Mod. CDX1500.**	27W	27W
1 Procesador digital delay **Yamaha D5000.**	11W	11W
1 Lap Top **Sony Vaio Mod. PCG- FXA 678.**	20W	20W
1 Interface **TASCAM US 122.**	2.5W	2.5W
		8125.5 **W**

Los siguientes elementos de nuestro sistema de sonorización no demandan corriente de nuestro suministro de AC por si solos:

20 Micrófonos.
16 Altavoces.

Para obtener el valor equivalente en amperes que cada elemento consume consideraremos 127 v como referencia.

Sabemos que:

Potencia (W) = Voltaje (V) x Corriente (A).

P = (V) (I).

Entonces: I (amperes) = (P) / (V).

y si V = 127 V

I (A) = P (W) / 127(V).

	C/U	Total.
1 Consola **YAMAHA Mod. GF24/12.**	0.55 A	0.55A
2 Ecualizadores **BEHRINGER Mod. GEQ 3102.**	0.08 A	0.16A
1 Maximizador **BBE Mod. 882.**	0.06 A	0.06A
1 Crossover **ASHLY Mod. XR – 1001.**	0.12 A	0.12A
2 Amplificadores de audio **Crown Mod. XLS 602.**	13.23 A	26.46A
2 Amplificador de audio **Crest audio Mod. Vs 1600.**	18 A	36A
1 Compresor/compuerta **dbx Mod. 266XL.**	0.12 A	0.12A
1 Procesador de efectos **Digitech Mod. S100.**	0.04 A	0.04A
1 Reproductor de C.D **TASCAM Mod. CDX1500.**	0.21 A	0.21A
1 Procesador digital delay **Yamaha D5000.**	0.09 A	0.09A
1 Lap Top **Sony Vaio Mod. PCG- FXA 678.**	0.16 A	0.16A
1 Interface **TASCAM US 122.**	0.02 A	0.02A
		63.99A

Así que nuestro sistema tiene un consumo máximo aproximado de 64 Amperes, y se decide utilizar una de las tres fases con las que cuenta la UCI únicamente para conectar los equipos del sistema de sonorización, dejando la fase numero dos para el equipo de iluminación, y la fase numero tres para el resto de la escuela y stands.

6.2 Diagnostico y verificación del equipo a utilizar.

A continuación se indican las acciones realizadas para determinar las fallas, averías o mal funcionamiento de los elementos de nuestro sistema sonoro, así como la forma en que se realizaron las correcciones pertinentes para asegurar el buen funcionamiento del sistema completo.

La gran mayoría del equipo tiene muy poco tiempo de uso y aunque por ese hecho se podría pensar que el sistema completo no tendría problemas se encontraron algunos muy serios que impedían un funcionamiento ideal.

Diagnostico.

Equipo electrónico.

1 Consola de 24 canales **YAMAHA Mod. GF24/12.**
Funcionando perfectamente sin ningún problema.
Correcto funcionamiento en salidas, entradas, funciones y conexiones, además los faders y controles no originan ningún ruido eléctrico.

2 Ecualizadores estereo de 1/3 de octava (31 bandas por canal) **BEHRINGER Mod. GEQ 3102.**
En perfectas condiciones.

1 Maximizador **BBE Mod. 882.**
Sin ningún problema.

1 Crossover **ASHLY Mod. XR – 1001.**
En perfectas condiciones.

1 Compresor/compuerta (doble) **dbx Mod. 266XL.**
En perfectas condiciones.

1 Procesador de efectos **Digitech Mod. S100.**
Únicamente se fijo su fuente de alimentación externa de D.C al mismo chasis para evitar que de manera accidental se desconectara.

1 Reproductor doble de C.D TASCAM Mod. CDX1500.
Equipo completamente nuevo (funcionando perfectamente).

1 Lap Top **Sony Vaio Mod. PCG- FXA 678.**
Software y hardware en perfectas condiciones.

2 Amplificadores de audio **Crown Mod. XLS 602.**
Uno de los dos amplificadores se había reportado que de vez en cuando aunque indicaba señal de entrada no enviaba señal de salida.
Se revisó y se encontró que la tarjeta principal en la sección de salida tenía soldaduras parcialmente rotas. Se resoldó dicha sección y se corrigió el problema.

2 Amplificadores de audio **Crest audio Mod. Vs 1600.**
Trabajando sin ningún problema, pero se observo exceso de polvo en su interior y se decidió dar servicio preventivo (limpieza de tarjetas electrónicas y cambio de potenciómetros de nivel de salida).

1 Interface **TASCAM US 122.**
Equipo completamente nuevo.

Micrófonos.

KID de micrófonos para batería (4 micrófonos) Shure serie PG.
Los cuatro micrófonos en excelentes condiciones. Se compararon mediante el software Smaartlive los tres iguales (para percusiones) dando prácticamente las mismas lecturas y el micrófono para bajas frecuencias mostró una lectura muy similar a la de las especificaciones del fabricante.

4 Micrófonos Shure PG 48.
Micrófonos totalmente nuevos.

1 Micrófono Shure Mod. SM 58.
Aunque ya tiene varios años de uso, debido a su alta calidad se encuentra en excelentes condiciones eléctricas y mecánicas.

6 Micrófonos Sennheiser Mod. e825.
Uno de los seis micrófonos trabajaba de manera intermitente y el resto de ellos en perfectas condiciones. Se revisó y se encontró que el switch de encendido internamente estaba desgastado, se cambio y se corrigió la falla.

8 Micrófonos Pro Am.
Se encontraron 2 micrófonos dañados, uno de ellos totalmente roto en su diafragma y el otro provee muy mal sonido debido a la baja calidad de manufactura.

Debido a la pésima calidad de estos micrófonos prácticamente nunca son utilizados, lo cual permitió que simplemente fueran desechados sin tener que reponerlos. Esto nos dio la seguridad de no emplearlos en un evento por error.

Altavoces.

8 Altavoces **Yorkville Mod. Y253BA.**

De los 8 altavoces se tenia identificado uno el cual tenia dañado el driver de frecuencias medias, además se realizaron mediciones de su respuesta en frecuencia aplicándoles ruido rosa teniendo como resultado que uno de ellos (adicional al ya detectado) tenia un comportamiento muy distinto a los demás en el rango de frecuencias medias – altas, inclusive era muy fácil de percibir. Aunque el driver estaba funcionando se decidió inspeccionarlo de manera individual. El resultado fue que el diafragma tenia rupturas en su parte flexible, dicho daño se atribuye a sobrepasar sus límites mecánicos de operación.

Así que se decidió comprar ambos diafragmas con el fabricante y con esto se aseguro y se comprobó que el funcionamiento de estos dos altavoces fuera el mismo que al de los otros seis.
Finalmente los ocho altavoces mostraron una respuesta en frecuencia muy parecida y no se encontró ningún problema de polaridades.

8 Subwoofers Fane Mod 18XB.

Uno de los ocho altavoces nos presentó una falla sorprendente: las terminales positiva (en color rojo) y la Terminal negativa (en color negro) estaban intercambiadas. Es decir dicho altavoz se encontraba defasado 180 º con respecto a los demás, lo cual nos estaba ocasionando cancelaciones radicales en bajas frecuencias. Se intercambiaron terminales y se corrigió el problema.

Posteriormente los ocho altavoces fueron revisados y se les midió su respuesta en frecuencia la cual fue muy parecida en todos los casos, pero se noto que varios de los conectores de entrada de señal y de salida (para interconectar en paralelo con otro altavoz) presentaban fallas.
Esta falla consistía en que la conexión entre los plugs de los cables y jacks de los altavoces presentaban falsos contactos, lo cual se traducía en inconsistencia en su funcionamiento. En este caso se decidió cambiar todos los jacks de los altavoces (8 de entrada y 8 de salida) y a partir de esto se corrigió por completo la falla.

Los ocho altavoces en general se encuentran en excelentes condiciones.

Cables y conexiones.

Cables y conexiones de AC.

Se inspeccionaron todos los cables, conexiones, centro de carga, etc. y se encontraron en perfectas condiciones.

Cables y conexiones de audio.

En general se diagnosticaron los siguientes elementos.

Snake de 30m de largo y 24 puntas.
Se encontró daño en dos de las líneas (7 y 13) simplemente no conducía las señales de un lado al otro, en todas las demás no se encontró ningún problema, y no inducían ruidos. Se corrigió cortando unos centímetros al cable y volviendo a soldar a los conectores.

Aproximadamente 35 líneas.
Se encontraron 4 líneas dañadas, dos de las cuales no conducía las señales y dos presentaban inconsistencia. Se decidió cortar aproximadamente 15 cm de cada lado de los cables, se colocaron nuevamente los conectores y con esto se corrigió el problema.

Cables de interconexión entre equipos electrónicos.
En el diagnostico de estos elementos se dieron resultados totalmente inesperados; parte de los cables de interconexión fueron comprados específicamente para una función determinada y conforme se adquiría mas equipo se decidió utilizar líneas que se incluían en la compra de diversos micrófonos debido a su corta longitud.

Anteriormente se había notado que el sistema se comportaba con ciertas deficiencias (niveles desiguales entre canales, atenuación de señales y presencia de algunos ruidos inducidos.

Se descubrió que parte de las líneas de micrófonos utilizadas venían en configuración desbalanceada y otras en balanceadas, y aunque estos elementos no presentaban falla por si solos, provocaban un desempeño del sistema inferior al que se podía aspirar. La causa de este problema se considera totalmente humana ya que nosotros debimos comprobar la compatibilidad y buen estado de cables y conexiones antes de utilizarlos.
Para corregir dicha deficiencia se decidió hacer todos los cables nuevos asegurándonos de su buen estado y empleando conexión balanceada en todo nuestro sistema.

Después de haber verificado y corregido todos los posibles problemas en los elementos mencionados, se siguió la recomendación hecha en la metodología propuesta en el capítulo anterior (estudiar los elementos del sistema).

Esto se hizo mediante los manuales de usuario y especificaciones, formando un criterio que nos permita mayores posibilidades de obtener un rendimiento óptimo.

Esto fue de gran importancia ya que debido a la gran complejidad del evento “noche colonial” y a las limitaciones técnicas, se requería aprovechar al máximo todos los recursos existentes.

6.3 Montaje.

A continuación se mencionan algunos de los aspectos básicos considerados para obtener seguridad y confiabilidad en el montaje y conexión del sistema que se decidió implementar.

6.3.1 Confiabilidad en el montaje.

Como se describió anteriormente; los sistemas de altavoces del P.A se instalaron sobre andamios a una altura de aproximadamente 1.8 m con lo que se evita que en el caso de que se encuentren personas de pie enfrente de ellas impidan la libre radiación del sonido, además de que con el ángulo de radiación vertical en alta frecuencia (30˚) se logra cubrir de manera correcta a partir de la primera fila del publico, además nos da la ventaja de que no exista la posibilidad de contacto físico con el publico que podría ocasionar un accidente, falla o interrupción del sistema.

Además se decidió asegurar entre si las cajas acústicas y a su vez con respecto a la estructura del andamio para evitar el desplazamiento de estas debido a las vibraciones o cualquier situación no esperada que también podría ocasionar un accidente o falla (ver figura 88).

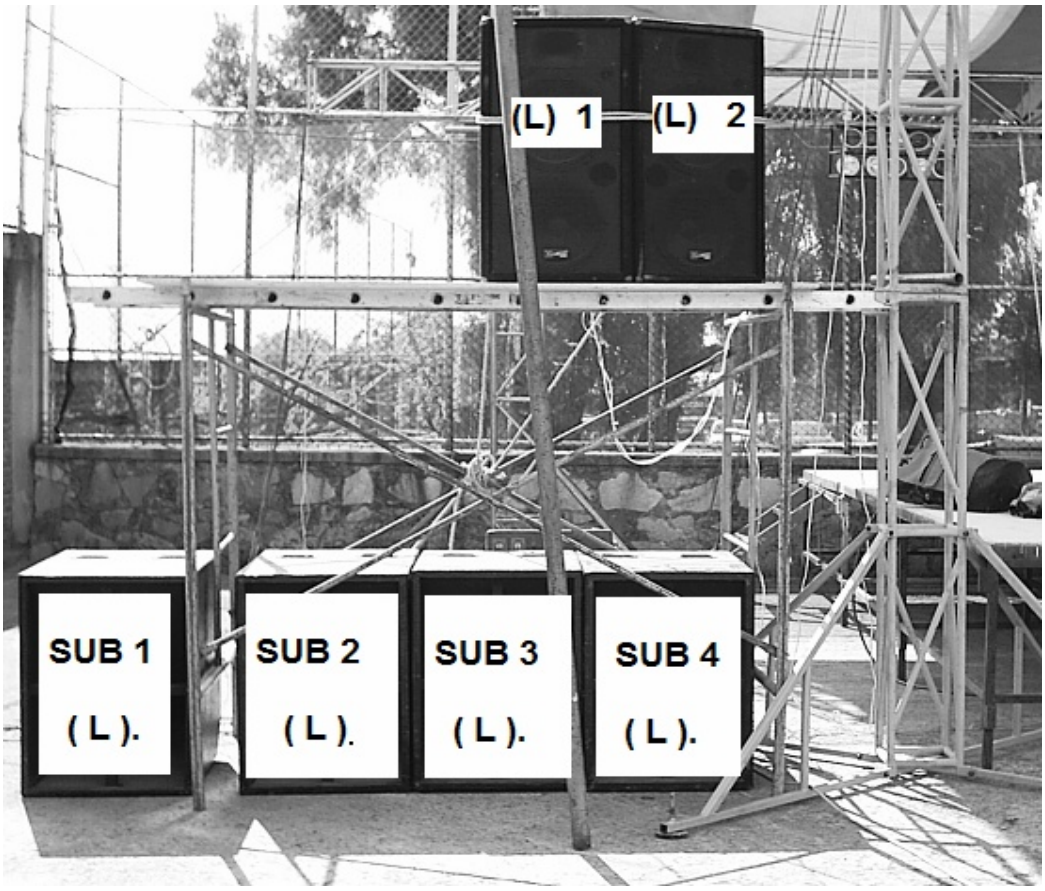


Figura 88. Montaje de altavoces del P.A.

También se dio gran importancia al hecho de colocar los cables de corriente y señales (snake, cables entre altavoces y amplificadores, líneas, etc.) de tal forma que hubiera mínima posibilidad de que el publico, organizadores o músicos pudieran tropezar, pisar, romper u ocasionar algún daño en dichos elementos, lo que podría comprometer el rendimiento del sistema.

También se consideró el hecho de tender de manera independiente el cableado de suministro de energía y/o alguna otra aplicación respecto a cableado de audio, ya que en el caso de estar colocados cercanamente y/o de manera paralela, se podrían inducir ruidos electromagnéticos en nuestro sistema.

Debido a las necesidades de algunos stands, filmaciones y efectos especiales de suministro eléctrico se hizo necesario la interacción con el cableado de audio, y en esos casos se tendió el cable de tal forma que en los puntos de cruce entre ambos se diera de manera perpendicular (ver figura 89), logrando con esto minimizar el riesgo de inducción de ruidos a nuestro sistema.

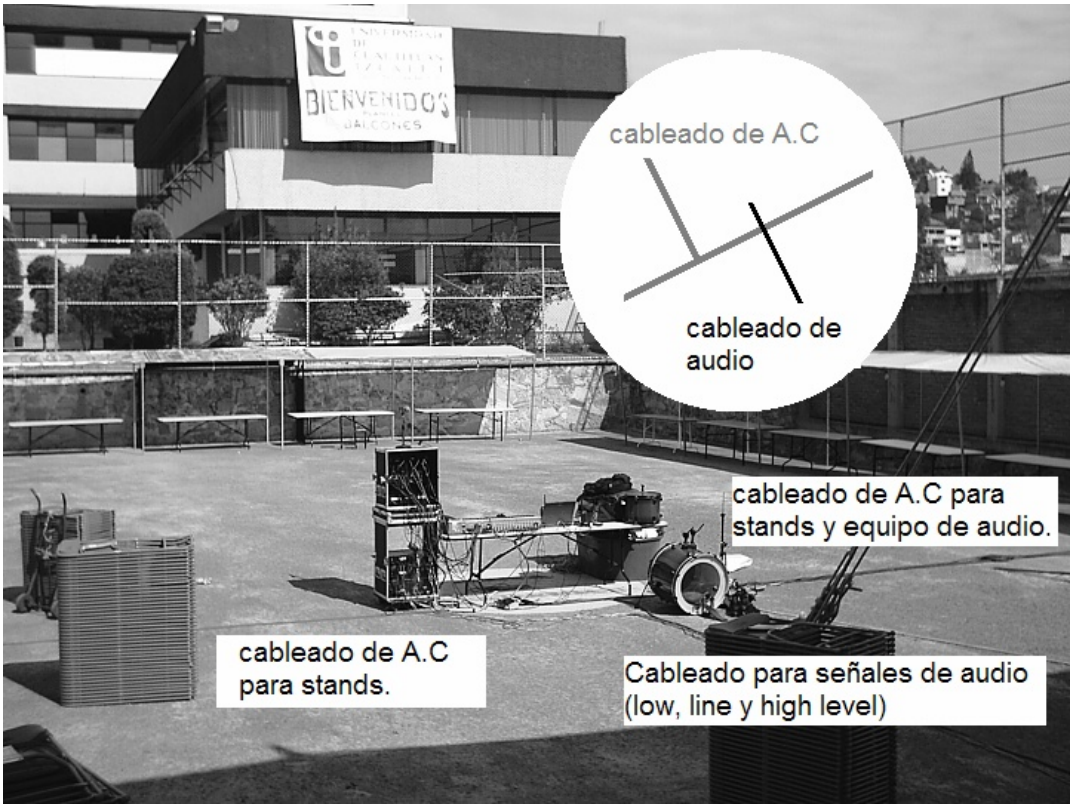


Figura 89. Ejemplo de interacción entre el cableado de A.C y cableado de audio.

En cuanto a nuestros elementos electrónicos (consola de audio, periféricos y amplificación) fueron instalados sobre racks y bases, todo esto para brindarles una buena ventilación y mantenerlos a temperaturas de trabajo ideales, además de dar mayor seguridad a dichos equipos (como se muestra en la figura 90).



Figura 90. Instalación de parte del equipo electrónico de audio.

Posteriormente se puso el equipo de audio fuera de condiciones atmosféricas no deseadas (lluvia, radiación de la luz del sol directamente, exceso de polvo, etc.) colocando una carpa proporcionada por uno de los patrocinadores del evento (ver figura 91).



Figura 91. Colocación de carpa para evitar que el equipo electrónico se pudiera encontrar trabajando bajo condiciones indeseables.

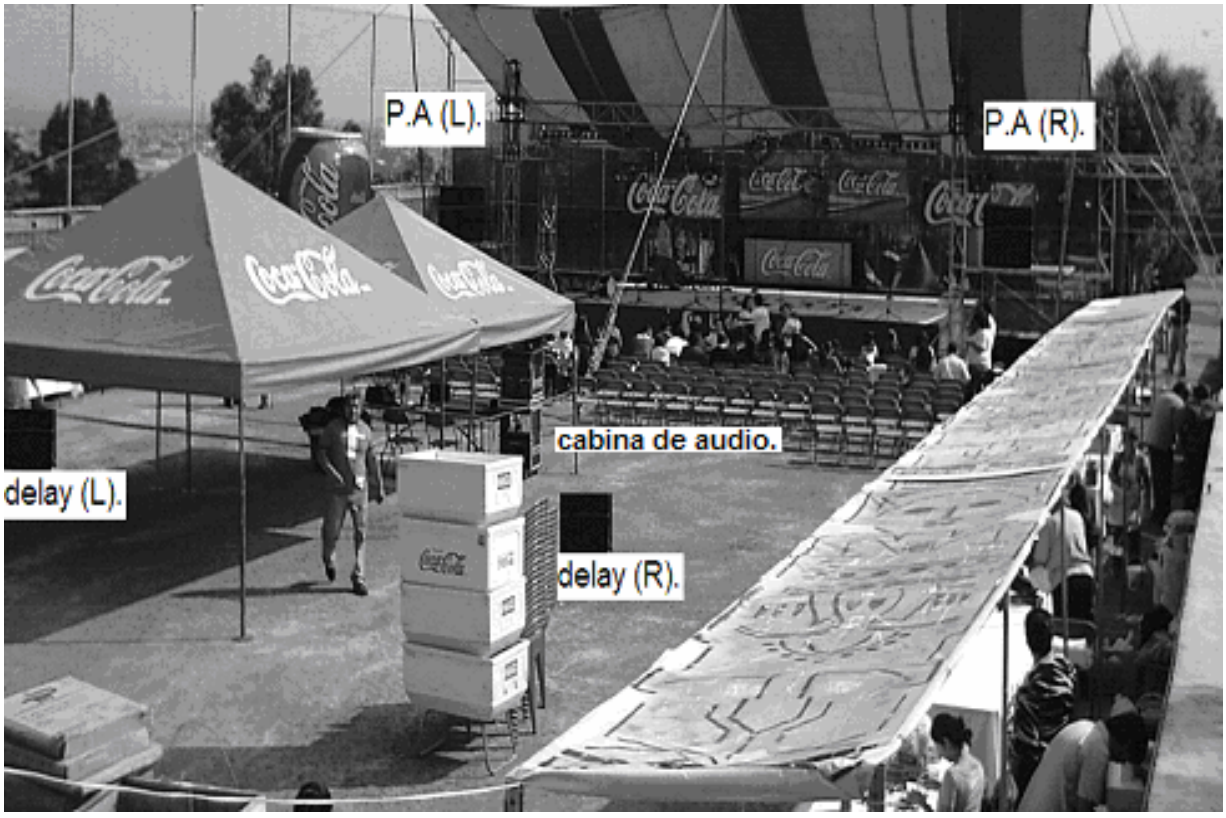


Figura 92. Sistema de sonorización implementado.

6.3.2 Confiabilidad en conexiones y configuraciones.

6.3.2.1 Confiabilidad en conexiones.

Como se mencionó al principio de esta tesis “la calidad de un sistema de sonorización es la del peor de sus elementos” por esto es de vital importancia tener en la conexión del equipo seguridad y confiabilidad, lo que lograremos empleando conectores y cableado de calidad profesional.

Para todos los conectores de audio se decidió emplear la marca NEUTRIK debido a su excelente calidad y reconocimiento a nivel mundial en audio profesional. Ofrecen por ejemplo; alto grado de confiabilidad en conexiones, materiales de fabricación que permiten aplicaciones de uso rudo, diseños para trabajar en condiciones extremas y gran variedad.
Aunque presenta un costo superior a la mayoría de los fabricantes en el mercado, es una inversión que vale mucho la pena ya que es realmente difícil que alguno de estos elementos presente problema o falla, lo cual nos permite minimizar el riesgo de problemas o mal funcionamiento de nuestro sistema durante los eventos.

En cuanto a los cables existe una gran cantidad de marcas de gran calidad, pero se dio gran énfasis a determinar el tipo de conductores necesarios para cada aplicación, por ejemplo; numero de hilos, blindaje, capacidad y propiedades mecánicas.

En nuestro caso la mayoría de los cables de audio para señales de low level, y line level requirieron la característica de blindaje trenzado, con capacidad para señales balanceadas y buena resistencia mecánica.

Para los cables de high level se emplearon cables duplex de calibre 8 AWG debido a que es el calibre recomendado por el fabricante de nuestros amplificadores para distancias de aproximadamente 40 metros (que es lo que requeriremos en nuestro evento).

A demás se realizaron las conexiones y el tendido de los cables de tal forma que existiera el mínimo riesgo de incidentes (con público, técnicos, músicos e instrumentos) lo cual podría comprometer la continuidad y el buen funcionamiento de nuestro sistema.

6.3.2.2 Confiabilidad en configuraciones.

Se puso gran atención en tener buena comunicación con los técnicos encargados en el montaje, conexión, microfoneo y soporte antes y durante el evento musical.
Se les explicó la configuración y forma en que se tenían que realizar las conexiones según el diseño que se había decidido implementar, evitando con esto que se presentaran cambios en valores de impedancia, inducción de ruidos y atenuación de señales por no respetar el diseño original, lo que provocaría que nuestro sistema tuviera un desempeño diferente al esperado.

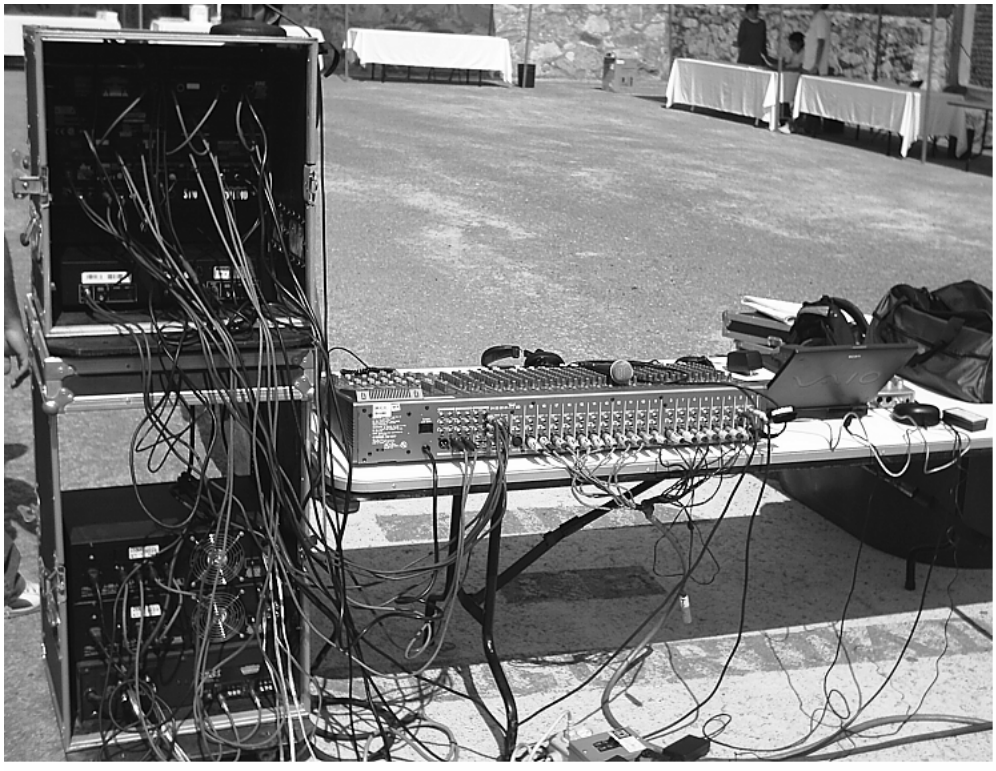


Figura 93. Proceso de conexión del sistema de audio.

En la figura 94 se muestra el diagrama básico de la configuración e interconexión del sistema de sonorización implementado.

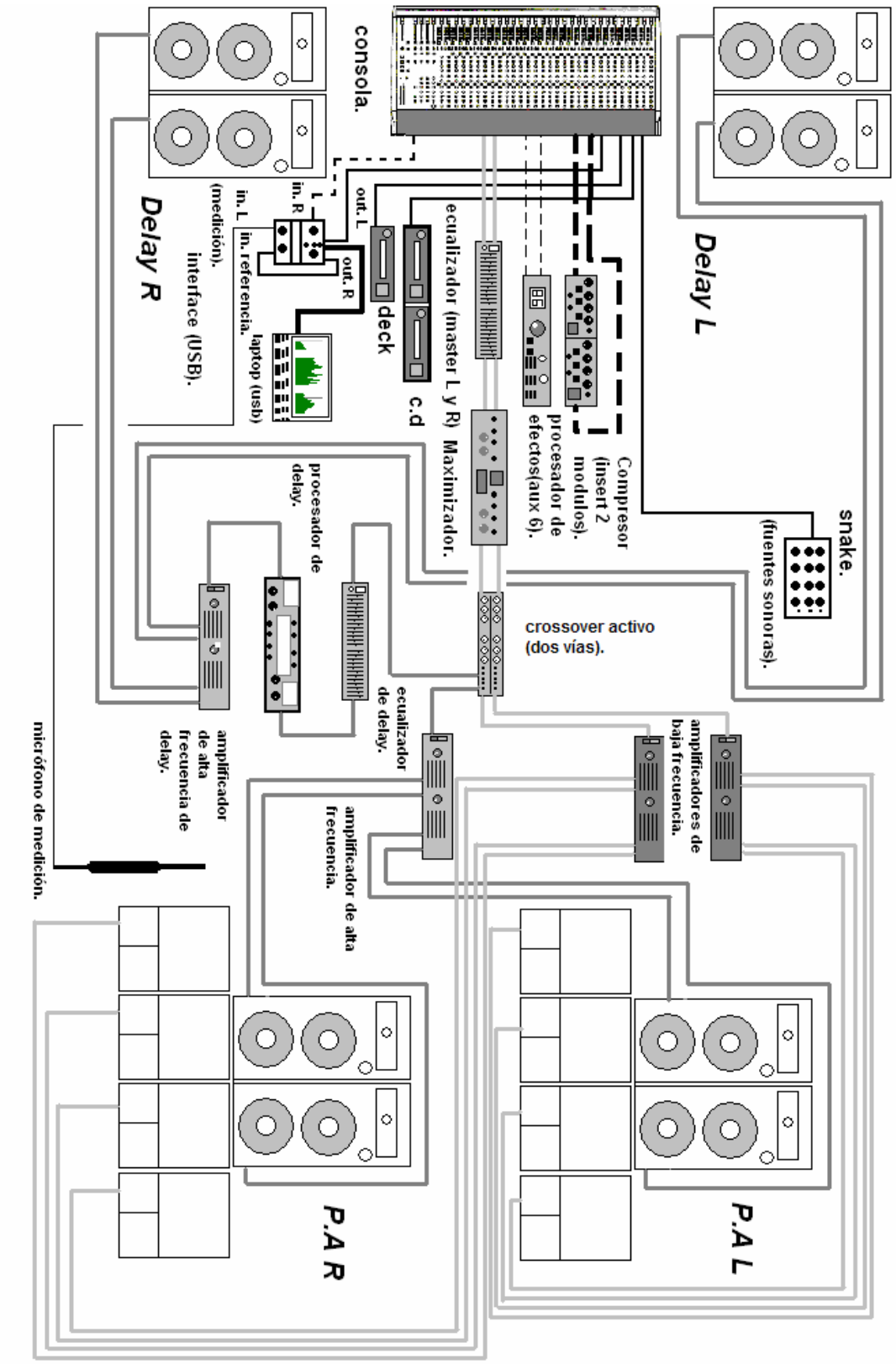


Figura 94. Diagrama de conexión del sistema de sonorización.

6.3.3 Polarización del sistema.

Una vez que se estudió, analizó, diseñó, montó, y conectó nuestro sistema seguía hacerlo funcionar, y para esto fue necesario polarizarlo.

Antes que nada cabe recordar que polarizar consiste en proporcionar las condiciones eléctricas para que la totalidad del equipo electrónico pueda trabajar, y debido a que una interrupción, falla, o variación en el suministro de energía nos podría provocar consecuencias fatales a continuación se indican las consideraciones y acciones que realizamos para obtener buenos resultados.

Distribución.
Se distribuyó la carga de todos los servicios (iluminación, stands, escuela, efectos especiales, equipo de video, aire acondicionado, etc.) entre dos de las fases para dejar completamente libre la ultima para el equipo de audio, minimizando con esto el riesgo de falla, mal funcionamiento, inducción de ruidos, interrupción de suministro, sobrecargas o corto circuito. Es decir; se consiguió un mayor grado de protección y confiabilidad.

Orden de encendido y apagado.

Para evitar cualquier daño debido a picos de señal se indicó al personal encender el equipo conforme es el flujo de audio; es decir primero las fuentes sonoras, después la consola de audio, luego todos los procesadores de audio y periféricos, y por ultimo los amplificadores de audio (teniendo mucho cuidado de que al encenderlos el nivel de salida esté al mínimo y posteriormente ajustar al nivel de trabajo).
Para apagar el equipo se indico hacerlo de manera inversa teniendo cuidado de poner al mínimo el nivel de salida de los amplificadores antes de apagarlos.

Esta secuencia fue establecida entre otras cosas considerando que al encender o apagar cada uno de los elementos genera cierta señal eléctrica, la cual si estuvieran encendidos los amplificadores y listos para trabajar sería amplificada y enviada a los altavoces como pulsos eléctricos muy grandes, que comúnmente se traduce en daños.

Aunque el elemento mas susceptible a daños por el inadecuado orden de encendido o apagado de un sistema de audio son los altavoces, también lo puede ser otro de los elementos.

6.3.4 Aplicación de adecuadas técnicas de microfoneo.

De este punto se puede decir que el personal técnico que colabora para el evento “noche colonial” está altamente capacitado, contando con los conocimientos necesarios para formar un criterio que le permita decidir la forma adecuada de microfonear instrumentos y voces para obtener un sonido óptimo de las fuentes sonoras, además de minimizar el riesgo de algunos de los fenómenos y dificultades comunes dentro de los sistemas sonoros (retroalimentación, “contaminación “ de fuentes sonoras e inadecuadas propiedades de micrófonos para las necesidades particulares.

Esto nos permitió contar a la entrada de la consola de audio con señales que mantengan las propiedades originales de las fuentes, además de gran margen de trabajo para obtener resultados notables en la mezcla final.



Figura 95. Proceso de colocación de pedestales y micrófonos.

6.4 AJUSTE DEL SISTEMA.

A continuación se muestra la metodología particular propuesta para el ajuste de nuestro sistema de sonorización para las condiciones y necesidades que se presentan, indicando las acciones y mediciones que nos permitieron obtener resultados satisfactorios.

1. Ajustar cada uno de los equipos del sistema en condiciones de trabajo.

Una vez que la totalidad del equipo se encuentra polarizado, se procedió a encenderlo como se estableció anteriormente, y se realizaron las siguientes acciones:

Se ajustaron los parámetros en condiciones de trabajo o nominales, así como nos aseguramos que no estuvieran activadas funciones o procesos en los equipos (por ejemplo: ecualización, paneo, atenuaciones, efectos, compresión, etc.), así como también se comprobó que dichos parámetros y funciones fueran exactamente los mismos para el canal derecho e izquierdo para el arreglo de P.A y el arreglo Delay.

Cabe mencionar que es muy recomendable ajustar en nominal los valores de entrada y salida de señal de los equipos que tengan dichos controles, lo cual nos permite minimizar el riesgo de saturación.

2. Ajuste de vías.

En este punto nos dedicamos a configurar de manera correcta las vías a trabajar asignándolas a los altavoces pertinentes, así como también se procedió a realizar el ajuste de frecuencias de corte y parámetros considerando los valores recomendados por los fabricantes del equipo y mediante un criterio personal.

Durante la configuración y el ajuste se manejaron niveles de audio muy bajos hasta asegurarnos de que el sistema corresponda a la configuración preestablecida, logrando con esto minimizar el riesgo de daños a los equipos (muy comúnmente a altavoces de frecuencias altas y medias).

En nuestro caso debido a que utilizamos los altavoces YORVILLE mod. Y253 (que cuentan internamente con un crossover pasivo de 3 vías) y subwoofers (para baja frecuencia) independientes se decidió tener como frecuencia de corte 1.6 khz. Es decir; los Y253 estarían encargados de reproducir únicamente los rangos de frecuencias medias y altas (que es precisamente el rango que por nuestra experiencia el desempeño de dichos altavoces es el óptimo). Ver figura 96.

fc = 1.6 Khz.

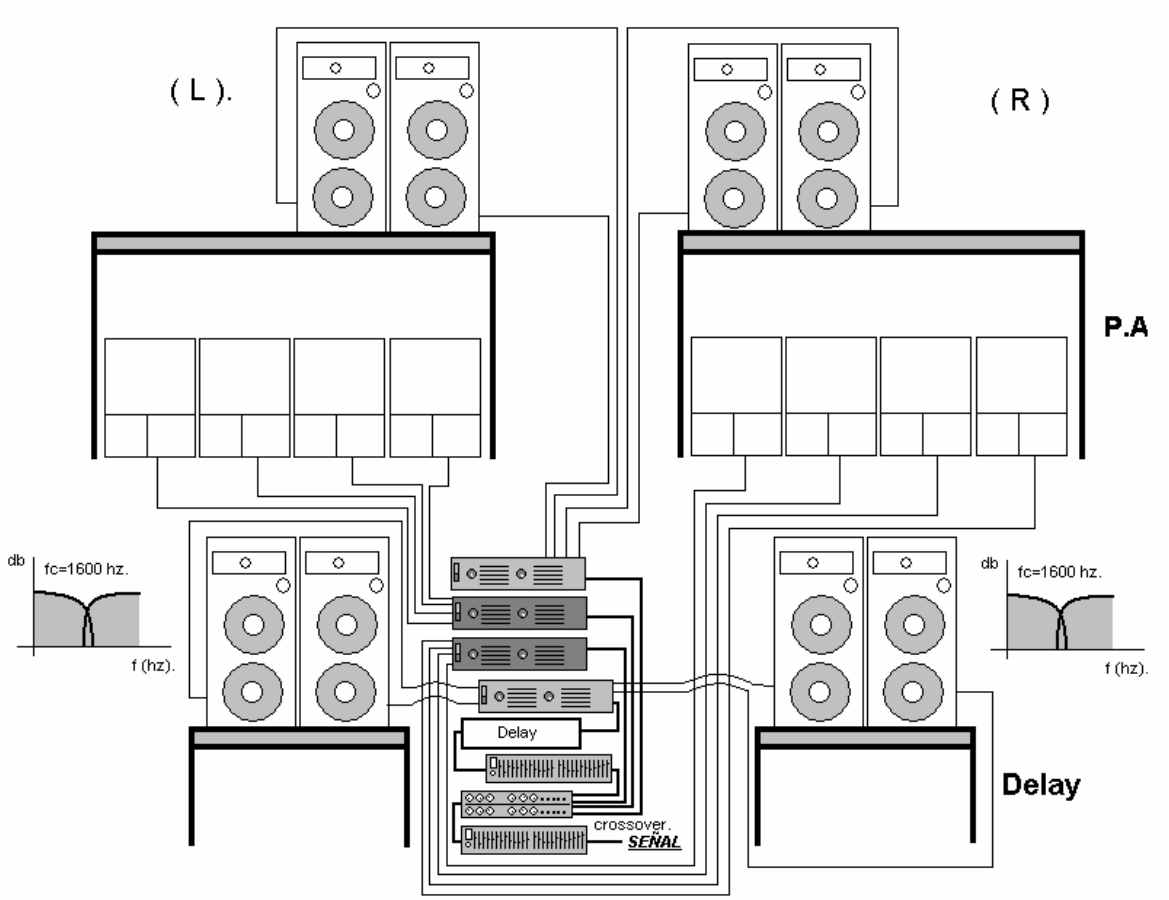


Figura 96. Esquema de conexión y ajuste de vías del sistema de sonorización.

3. Ajuste de tiempo de retraso entre arreglo P.A y arreglo Delay.

Debido a que en nuestro sistema de sonorización utilizamos un arreglo o cluster principal en estereo (P.A) y un arreglo complementario de retraso (Delay), se requirió provocar un tiempo de retardo en la señal del arreglo complementario respecto al principal para lograr con esto una concordancia en tiempo entre ambas, lo que nos aseguró una suma máxima en la parte posterior del recinto.

Determinación del tiempo de retraso:

Como se vio en el capítulo 3 la expresión que nos permite calcular el tiempo de retraso pertinente debido a una distancia entre arreglos es la siguiente:

$$t\,[s] = d\,[m] \;/\; v\,[m/s].$$

$$\mathbf{t\,[s] = (\,d\,[m] \,/\, 343\,[m/s]\,).}$$

Donde:
t = Tiempo de retraso.
d = Distancia entre P.A y delay.
v = Velocidad del sonido. 343 [m/s].

Nuestro diseño nos indica una distancia de 22 m entre P.A y arreglo de Delay, así que a continuación realizamos el cálculo:

Distancia entre P.A y Delay = 22 metros.

Entonces:

$$t = (\,22\,(m) \;/\; 343\,(m/s)\,) = 0.06 \text{ seg.}$$

t (delay) = 0.06 segundos.

Dicho valor fue ajustado en nuestro procesador digital delay Yamaha D5000, lo que nos aseguró poner en fase la señal proveniente del P.A con la proveniente de la torre de delay, lo que nos permitió obtener una suma máxima de SPL en la parte posterior del recinto como se ilustra en la figura 97.

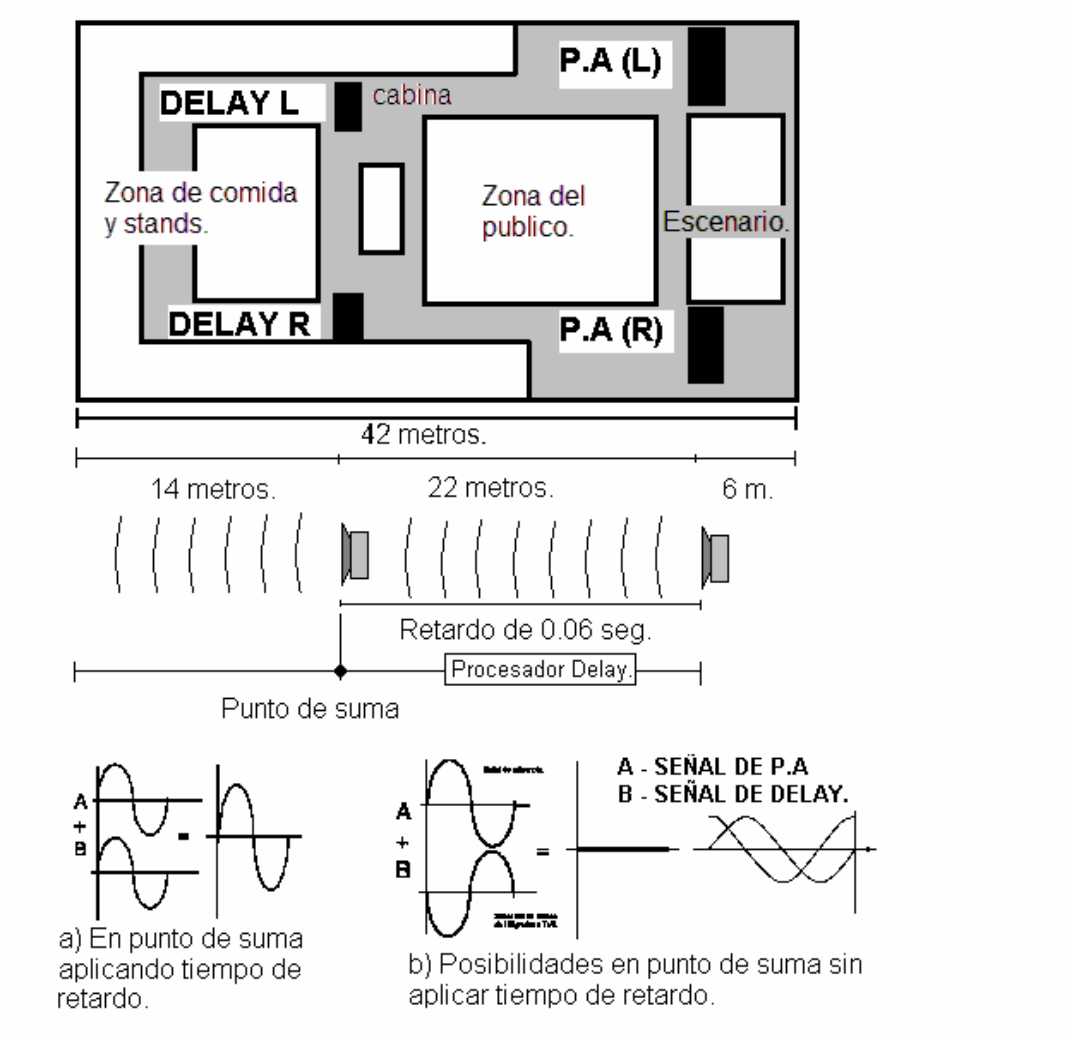


Figura 97. Esquema de ajuste de tiempo de retraso.

4. Determinación de puntos de interés para realizar ajustes y mediciones.

Antes de comenzar a realizar ajustes y mediciones para optimizar nuestro sistema sonoro fue necesario establecer una serie de ubicaciones físicas representativas o de interés del recinto para colocar equipos de medición (sonómetro y micrófonos) y en base a dichas lecturas realizar las acciones que nos permitan lograr que nuestro sistema tenga el comportamiento, propiedades y características que necesitamos.

El criterio para establecer los puntos de medición se basó en considerar las diferentes zonas dentro del recinto:

Zona de distancias cortas (aprox. 5 m).
Esta zona comprende las primeras filas del auditorio y está designada para los directivos e invitados especiales de las diversas escuelas que participan.
Para esta zona se establecieron tres puntos de medición:

Punto 1. Ubicado a la derecha del escenario a una distancia corta.
Punto 2. Ubicado al centro del escenario a una distancia corta.
Punto 3. Ubicado a la izquierda del escenario a una distancia corta.

Dicha zona es cubierta únicamente por el P.A principal.

Zona de distancias medias (aprox. 14 m).
Esta zona comprende la mayoría del área principal, y es ahí donde gran parte del público será ubicado.
También se establecieron tres puntos de medición:

Punto 4. Ubicado a la derecha del escenario a una distancia media.
Punto 5. Ubicado al centro del escenario a una distancia media.
Punto 6. Ubicado a la izquierda del escenario a una distancia media.

Dicha zona es cubierta únicamente por el P.A principal.

Zona de la consola de audio (aprox. 21m).
Esta zona es desde donde se realizarán los ajustes y la operación general, y es por eso que se consideró como punto de referencia para evaluar el comportamiento de nuestro sistema.

Punto 7. Ubicación al centro del escenario a una distancia media – larga.

Zona de distancias largas (aprox. 26 m).
Esta zona está ubicada detrás de la consola de audio y es básicamente la zona de comida y stands, por lo cual se requiere una presión sonora menor pero con buena calidad de audio e inteligibilidad.
En esta zona se establecieron tres puntos de medición.

Punto 8. Ubicado a la derecha del escenario a una distancia larga.
Punto 9. Ubicado al centro del escenario a una distancia larga.
Punto 10. Ubicado a la izquierda del escenario a una distancia larga.

Dicha zona es cubierta tanto por el arreglo principal P.A como también por el arreglo de retraso (Delay).

La figura 98 muestra la ubicación física de las diferentes zonas y sus puntos.

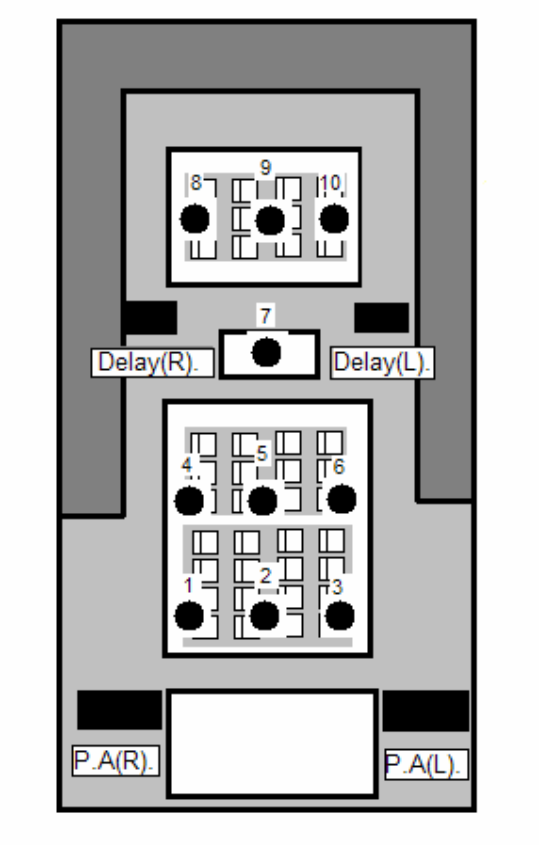


Figura 98. Ubicación de los puntos de interés para realizar ajustes y mediciones.

5. Ajuste del SPL.

Este punto se refiere a ajustar el sistema de tal forma que las zonas de interés tengan un nivel de presión sonora perecido al que se espera trabajar durante la mayor parte del evento.

Dicho ajuste se realizó de manera independiente para cada arreglo de bocinas (P.A derecho, P.A izquierdo, delay derecho y delay izquierdo), y posteriormente se hizo un último ajuste encendiendo la totalidad del sistema.
Con esto logramos que el sistema fuera capaz de cubrir las diversas zonas con el SPL anteriormente establecido.

Aunque en la tabla “Consecuencias debido al tiempo de exposición a niveles de audio” contenida en el anexo I, las principales organizaciones de salud nos recomiendan para este evento en particular (de 9.5 hrs.) mantener un nivel de presión sonora de aproximadamente 90 db en realidad será mayor, esto debido a que al ser un evento predominantemente musical se requieren características que están relacionadas con niveles sonoros mayores, además de que el publico no estará las 9.5 hrs en el lugar, pero siempre se mantendrá en un rango que nos asegure no causar molestia ni daños auditivos al publico.

Se estableció como nivel máximo de trabajo una presión sonora de 110 db, y dicho nivel fue ajustado reproduciendo ruido rosa por nuestro sistema, haciendo las mediciones con la ayuda de un sonómetro digital y el software Smaartlive con un micrófono de medición previamente calibrado.

Como se notó que las primeras lecturas de ambos equipos de medición eran sumamente parecidas se decidió realizarlas únicamente con el sonómetro digital, evitando tener que estar moviendo continuamente un micrófono con su pedestal y cableado de un punto a otro.

Así que se procedió de la siguiente manera:

Cabe mencionar que para realizar dichos ajustes se empleo un C.D titulado **"The Professional Audio Test Disc",** creado especialmente para realizar pruebas y ajuste de sistemas sonoros profesionales y cuenta entre otras cosas con tonos, barrido de rangos de frecuencias, tracks de alta calidad de diversos instrumentos, melodías, paneos, etc. pero nosotros utilizaremos el track que contiene ruido rosa (pink noise).

El ruido rosa es creado intencionalmente para ser empleado para experimentación, calibración y medición de diversos elementos o sistemas completos de sonorización. El ruido rosa tiene igual contenido de energía por octava, y es por eso que es muy útil para pruebas de altavoces como señal de calibración.
Por lo anterior es más fácil observar un comportamiento plano en un analizador de 1/3 de octava (cuya resolución será establecida en nuestro software Smaartlive), ya que el nivel puede ser uniforme con respecto a la escala de octavas.

1. Ajuste del P.A derecho.

Se hizo reproducir ruido rosa por nuestro cluster principal derecho (P.A (R)).
Considerando que ya se realizaron los puntos anteriores de manera correcta, se ajusto el nivel del modulo de la consola que contenía el C.D en nominal y posteriormente se ajusto la salida de la consola (MASTER) del lado derecho de tal forma que nuestro sonómetro digital registrara lecturas aproximadas a 110 db en la zona compuesta por los puntos de medición 1, 2, 4 y 5 (como se ilustra en la figura 99).

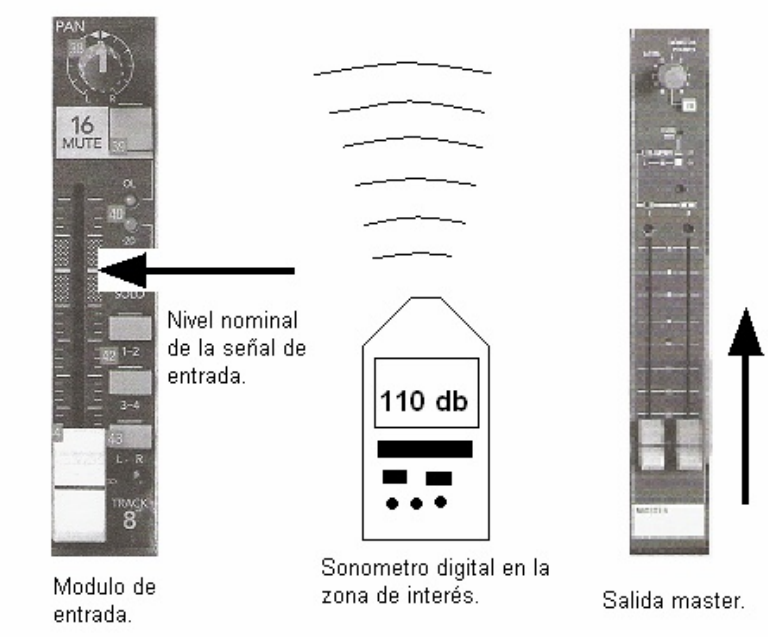


Figura 99. Ajuste de SPL en los diversos clusters.

2. Ajuste del P.A izquierdo.

Se hizo reproducir ruido rosa por nuestro cluster principal izquierdo (P.A (L)), se ajusto el nivel del modulo de la consola que contenía el C.D en nominal y posteriormente se ajusto la salida de la consola (MASTER) del lado izquierdo de tal forma que nuestro sonómetro digital registrara lecturas aproximadas a 110 db en la zona compuesta por los puntos de medición 2, 3, 5 y 6.

Aunque el equipo se encuentra en perfectas condiciones las mediciones mostradas por el sonómetro mostraban un nivel ligeramente mayor a las del lado derecho; esto es resultado de las reflexiones de las ondas sonoras provocadas por la pared lateral. Para realizar el ajuste que nos asegurara mayor similitud entre el SPL del lado izquierdo y derecho se procedió a atenuar ligeramente el nivel de salida del ecualizador del lado izquierdo. Con esto se consiguió que los niveles de presión sonora fueran realmente similares en ambos lados.

3. Ajuste del Delay derecho.

Para realizar el ajuste de los clusters de delay hay que considerar lo siguiente:

- Debido a que dichos clusters están compuestos únicamente por altavoces YORVILLE Mod. Y253 no tendremos control en baja frecuencia.

- Como se vio en la figura 97 dichos arreglos cuentan con un retraso provocado por el procesador DELAY y cuenta con un ecualizador por canal independiente.

Se reproduce ruido rosa por el canal derecho del cluster delay y mediante el control de nivel de salida del ecualizador ajustamos el nivel de SPL en aproximadamente 110 db en la zona cercana a los puntos de medición 8 y 9 sin mover el nivel de la consola master anteriormente preestablecido para lograr el nivel en las zonas para el P.A.

Para que los arreglos del P.A no funcionen mientras lo hacen los del delay basta con poner al mínimo los controles de salida de los amplificadores de dicho arreglo.

4. Ajuste del Delay izquierdo.

Se reproduce ruido rosa por el canal izquierdo del cluster delay y mediante el control de nivel de salida del ecualizador ajustamos el nivel de SPL en aproximadamente 110 db en la zona cercana a los puntos de medición 9 y 10 sin mover el nivel de la consola master anteriormente preestablecido para lograr el nivel en las zonas para el P.A.
A diferencia del arreglo de P.A en este caso no hubo necesidad de atenuar el nivel del lado izquierdo debido a reflexiones (esto porque había una mayor distancia respecto a la pared lateral, además de que los stads cercanos estaban formados principalmente con elementos absorbentes y no reflexivos).

5. Ajuste con el sistema completo funcionando.

Finalmente se realizó el ultimo ajuste de SPL funcionando los cuatro arreglos (P.A L, P.A R, delay L y delay R).

Se realizaron las mediciones para los puntos anteriormente preestablecidos y los resultados fueron los siguientes:

Punto 1. 111 db.
Punto 2. 113 db.
Punto 3. 111 db.

Punto 4. 107 db.
Punto 5. 108 db.
Punto 6. 107 db.

Punto 7. 106 db.

Punto 8. 114 db.
Punto 9. 117 db.
Punto 10 114 db.

Deducciones:

1) Se observa que para la **zona principal del publico** (puntos 1, 2 ,3 ,4, 5, y 6) existe una máxima diferencia de presión sonora de 6 db, lo cual se considera muy aceptable; con picos máximos de 113 db y mínimos de 107 db.

2) En la **zona de la cabina de audio** se presenta un nivel de 106 db suficiente y adecuado para formar un buen criterio de mezcla y operación.

3) En la **zona de comida y stands** (puntos 8, 9 y 10), se notan niveles sonoros muy altos debido al acoplamiento entre P.A con delay.

En este caso se recurrió a atenuar la señal de los arreglos del delay de tal forma que en el punto 9 se tuvieran solo 110 db y como consecuencia en los puntos 8 y 10 se tuvieron 106 db (esto se decidió debido a que en dicha zona no se requiere el mismo nivel que en la zona del publico).

Finalmente después de todas las correcciones y ajustes las mediciones finales fueron las siguientes:

Punto 1. 111 db.
Punto 2. 113 db.
Punto 3. 111 db.
Punto 4. 107 db.
Punto 5. 108 db.
Punto 6. 107 db.
Punto 7. 106 db.
Punto 8. 106 db.
Punto 9. 110 db.
Punto 10 106 db.

6. Obtención de la respuesta en frecuencia de nuestro sistema en los 10 puntos de medición.

Como se mencionó anteriormente; para obtener la respuesta en frecuencia del sistema y otras mediciones se hará uso del software Smaartlive.

A continuación se muestra la respuesta en frecuencia de cada punto de medición, lo cual nos permitió comprender y mejorar el comportamiento del sistema mediante acciones y ajustes pertinentes.

Para cada punto será necesario determinar y ajustar el retraso producido por el tiempo en que tarda la referencia en ser radiada y hasta llegar al micrófono de medición.
Con esto se evita que exista un defasamiento entre la señal de referencia y la señal medida, y como resultado se obtenga una respuesta en frecuencia irreal.

Respuesta en frecuencia en el punto 7 (zona de la cabina de audio).

Primeramente se obtuvo la respuesta en frecuencia en el punto 7 (consola de audio; debido a que es aquí desde donde se realizarán las correcciones y la operación del sistema.)

Únicamente se encendió el P.A, se determinó que existía una distancia de 23.08m y automáticamente se nos dio su tiempo equivalente de retraso (67.18ms) que posteriormente se aplicó mediante Smaartlive.
Dicha respuesta en frecuencia presentó anomalías y deficiencias respecto a lo que se esperaba, y mediante el cursor determinamos los rangos de frecuencias donde posteriormente se realizaron ajustes mediante el ecualizador general para el sistema del P.A.

En la figura 100 por ejemplo; el cursor nos indica una atenuación de 4.3 decibeles respecto al valor nominal en 387.6 hz.

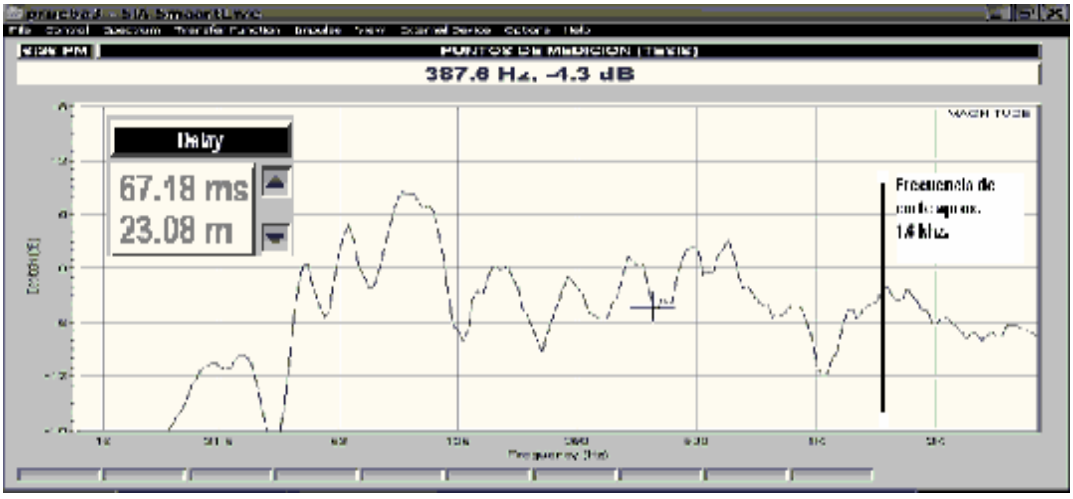


Figura 100. Respuesta en frecuencia del sistema P.A en el rango inferior a la frecuencia de corte del crossover electrónico (20 hz – 1.6 khz).

Considerando la medición anterior se realizaron ajustes en ecualización para compensar y atenuar rangos de frecuencias, así como también se realizaron pequeños ajustes en el nivel en las dos vías en que se divide (mediante el crossover activo) nuestro espectro.

Así que la respuesta en frecuencia corregida de nuestro sistema en el punto 7 (consola) se muestra en la figura 101.

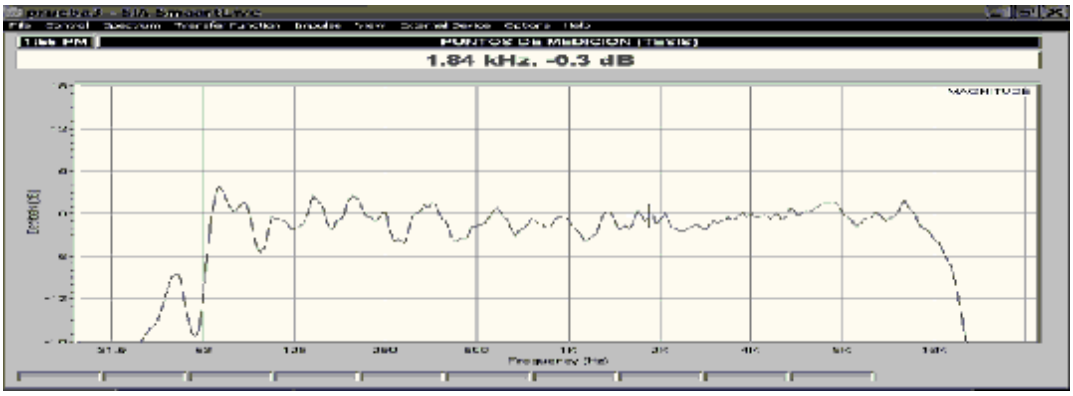


Figura 101. Respuesta en frecuencia del P.A en el punto 7 (consola de audio).

La respuesta en frecuencia de la figura 101 muestra pequeñas anomalías y diferencias con lo que se considera una respuesta en frecuencia ideal, pero debido a las condiciones, limitaciones del equipo y requerimientos se considera que se logro obtener un sistema eficiente (esto considerando que la mayoría del espectro muestra un incremento o atenuación no mayor a 2 decibeles respecto al valor nominal).

Después de haber hecho dichas correcciones se procedió a determinar la respuesta en frecuencia de los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

En cada uno de los puntos se determinó de manera independiente el tiempo de retraso debido a las diferentes distancias entre los altavoces y el micrófono de medición.

Respuesta en frecuencia en los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 (zona del público).

Punto 1.



Figura 102. Respuesta en frecuencia en el punto 1.

Punto 2.

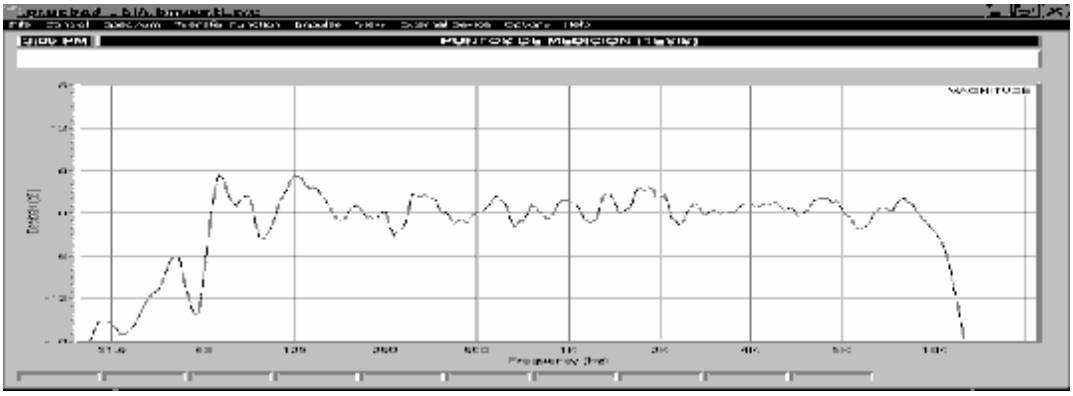


Figura 103. Respuesta en frecuencia en el punto 2.

Punto 3.

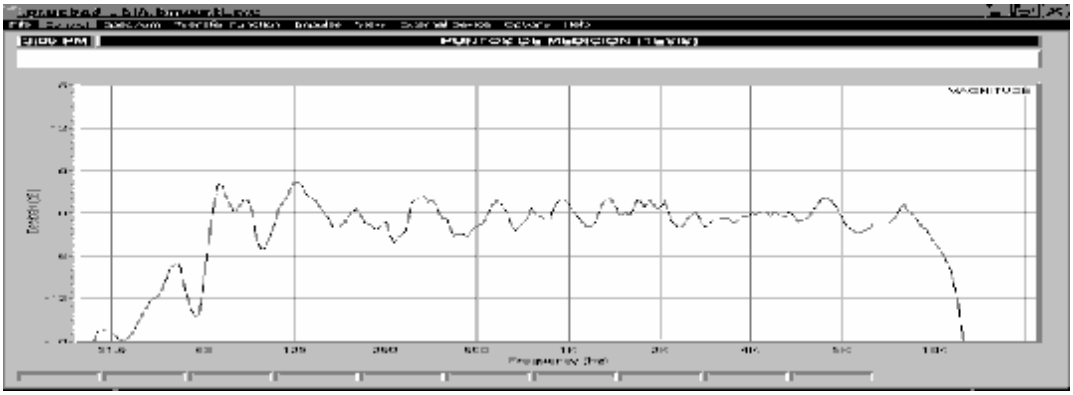


Figura 104. Respuesta en frecuencia en el punto 3.

Punto 4.

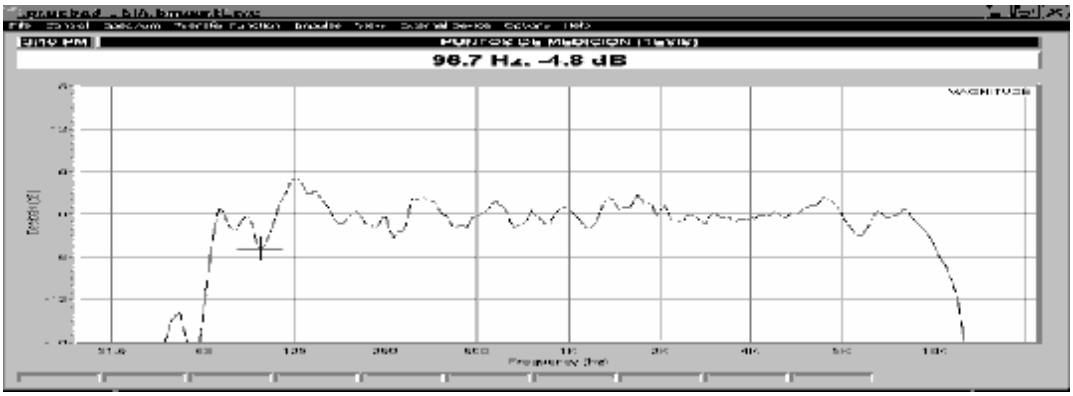


Figura 105. Respuesta en frecuencia en el punto 4.

Punto 5.

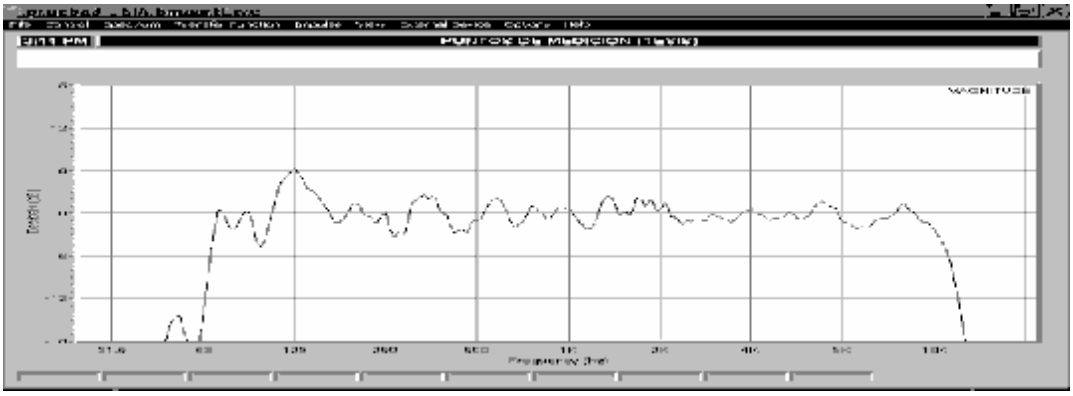


Figura 106. Respuesta en frecuencia en el punto 5.

Punto 6.



Figura 107. Respuesta en frecuencia en el punto 6.

Aunque se observan pequeñas diferencias entre las respuestas de cada punto, existe gran similitud entre ellas, lo que nos permitirá tener uniformidad a lo largo y ancho de la zona (característica anteriormente establecida para lograr un sistema óptimo).

Respuesta en frecuencia de los puntos 8, 9 y 10. (zona de comida y stands).

En esta zona se requiere encender el sistema delay junto al sistema principal P.A.
Se realizó el mismo método de ajuste que para los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 y la respuesta en frecuencia de los tres puntos faltantes se muestran a continuación:

Punto 8.

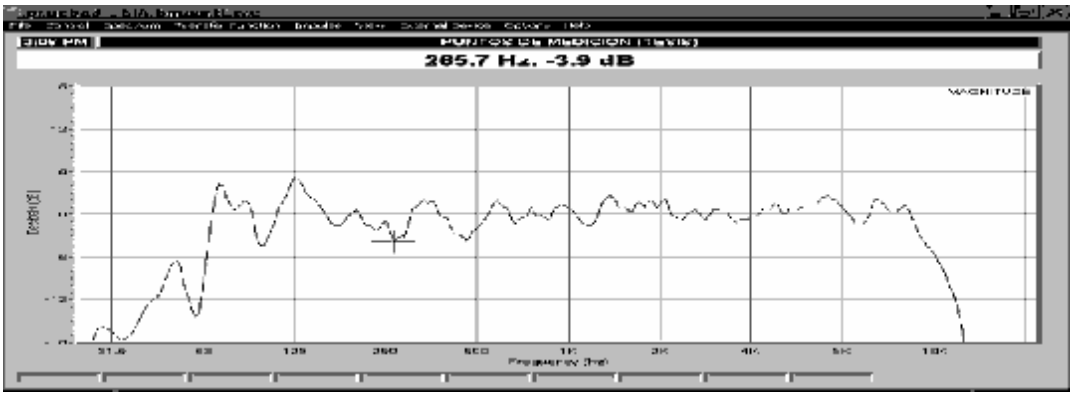


Figura 108. Respuesta en frecuencia en el punto 8.

Punto 9.



Figura 109.Respuesta en frecuencia en el punto 9.

Punto 10.



Figura 110. Respuesta en frecuencia en el punto 10.

Como se puede observar la respuesta en frecuencia en estos tres puntos muestra una pequeña ineficiencia en el rango de baja frecuencia, esto debido a la distancia con respecto a los subwoofers.

Se observa que en los puntos 8,9 y 10 existe una atenuación considerable en las frecuencias próximas a 95 kz, aunque el en punto 9 la atenuación es menos considerable debido a que se encuentra situado al centro del arreglo de subwoofers (a la misma distancia tanto de arreglo derecho e izquierdo), es decir sobre el eje de suma máxima).

A pesar de esto se considera una respuesta en frecuencia muy buena, que nos permitirá cumplir con los requerimientos en dicha zona.

7. Realizar correcciones de ecualización del P.A y Delay mediante un criterio personal.

En este punto de la metodología se realizaron acciones basadas en la experiencia y en gusto personal.

Considerando que la respuesta en frecuencia del oído humano no es plana (debido a que la habilidad de audición del oído es mucho mejor en el intervalo medio-alto, y es menor en los extremos) propongo una pendiente que provoque una atenuación total de entre 6 y 10 db en el rango audible (20hz – 20,000hz) respecto a la referencia (ruido rosa) logrando con esto que el comportamiento del sistema no sea percibido con mayor energía en rango de agudos y erróneamente se piense tener que aumentar el nivel del rango de baja frecuencia.

Esto se hizo con la ayuda del software Smaartlive en el modo de Spectrum el cual nos permite visualizar simultáneamente la señal de referencia y la señal medida.

En este caso la referencia es una señal constante entre el rango de 20hz y hasta 20,000 hz la cual servirá para establecer una pendiente decreciente en la señal medida por nuestro micrófono (las mediciones hechas en cada punto se muestran de la figura 111 a la 130).

Será necesario determinar y ajustar el retraso producido por el tiempo en que tarda la referencia en ser reproducida por el sistema y hasta llegar al micrófono de medición.
Con esto se logra que exista coherencia al momento de comparar ambas señales.

Para dicha medición se considera como referencia ruido rosa con un nivel de -40 db.

Punto 1.

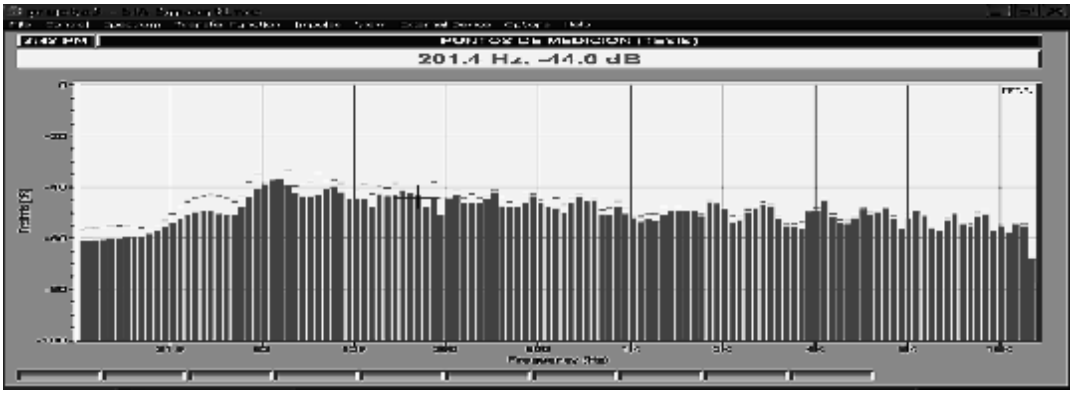


Figura 111. Análisis del espectro con una pendiente decreciente (punto1).



Figura 112. Respuesta en frecuencia en el punto 1.

Punto 2.

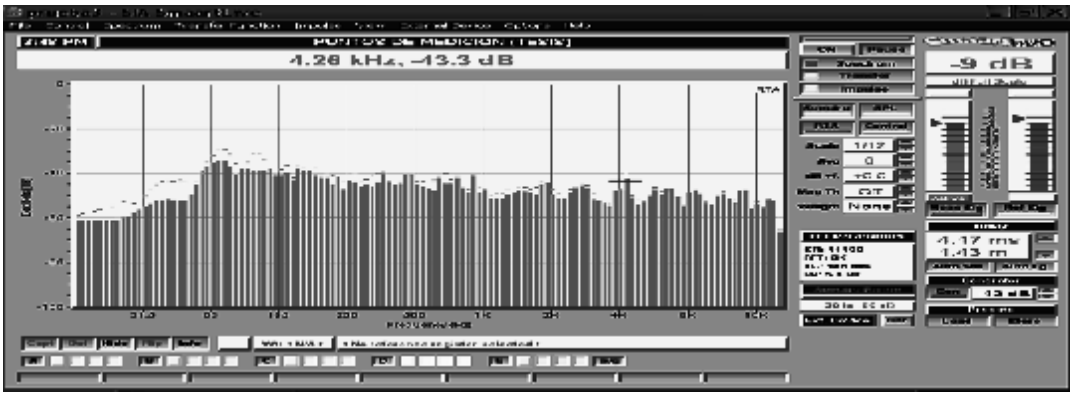


Figura 113. Análisis del espectro con una pendiente decreciente (punto 2).

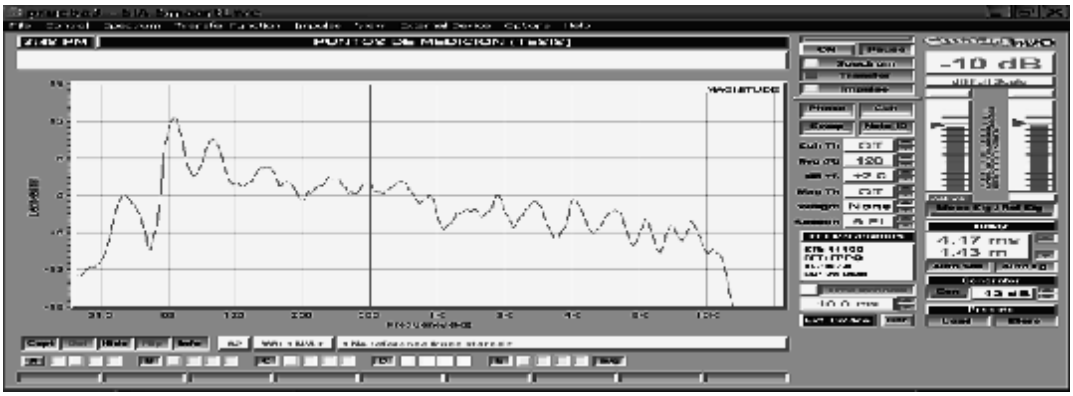


Figura 114. Respuesta en frecuencia en el punto 2.

Punto 3.

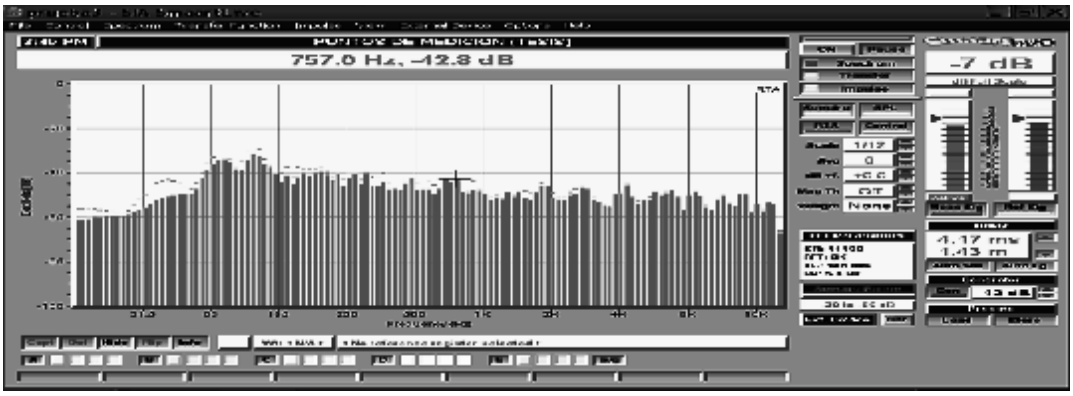


Figura 115. Análisis del espectro con una pendiente decreciente (punto 3).

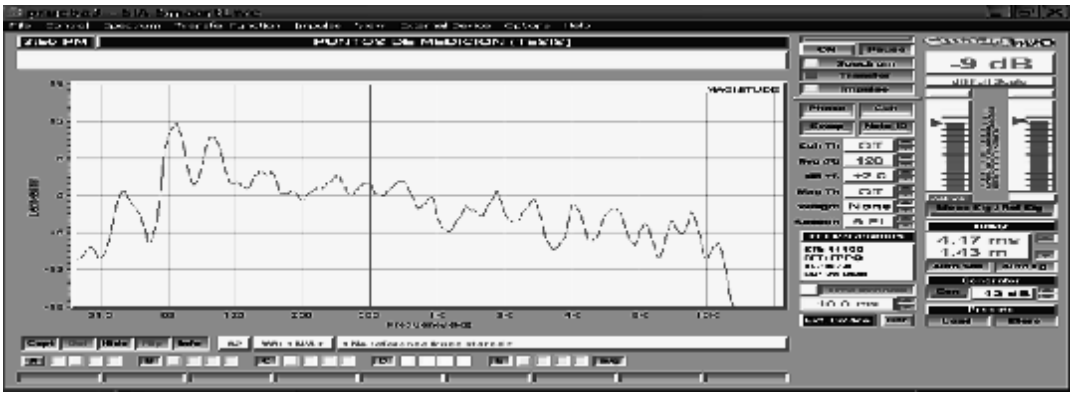


Figura 116. Respuesta en frecuencia en el punto 3.

Punto 4.

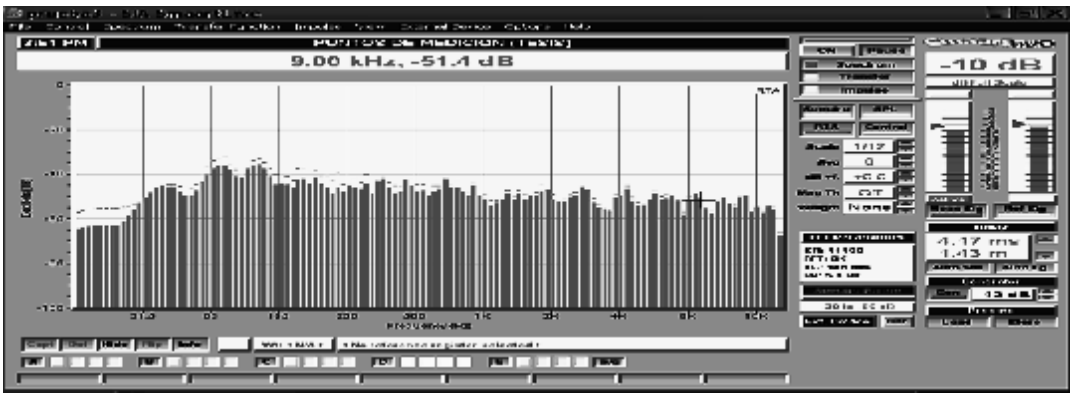


Figura 117. Análisis del espectro con una pendiente decreciente (punto 4).

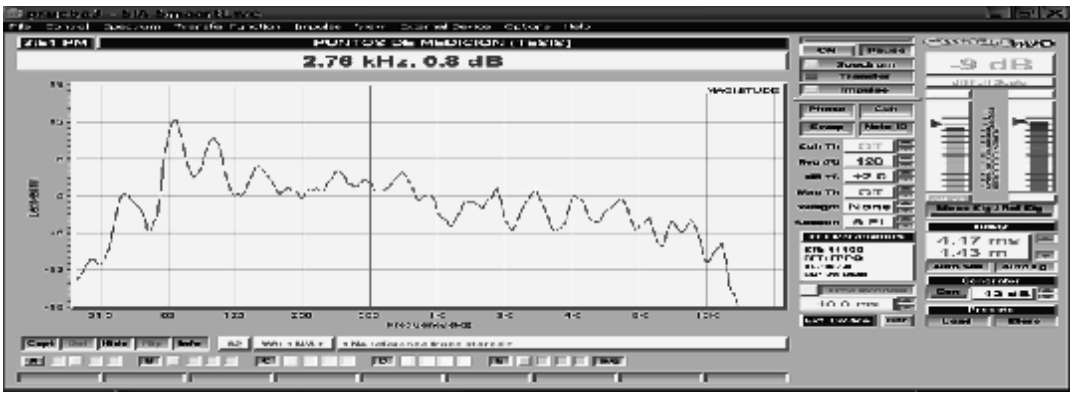


Figura 118. Respuesta en frecuencia en el punto 4.

Punto 5.

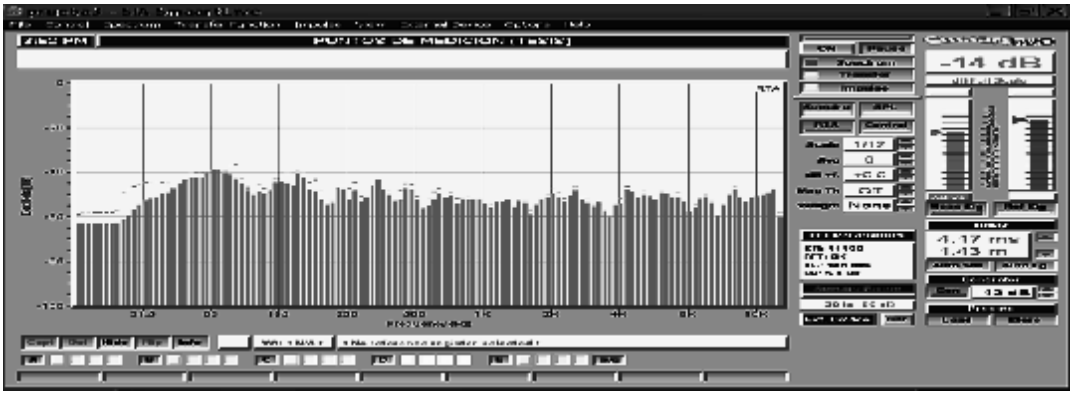


Figura 119. Análisis del espectro con una pendiente decreciente (punto 5).

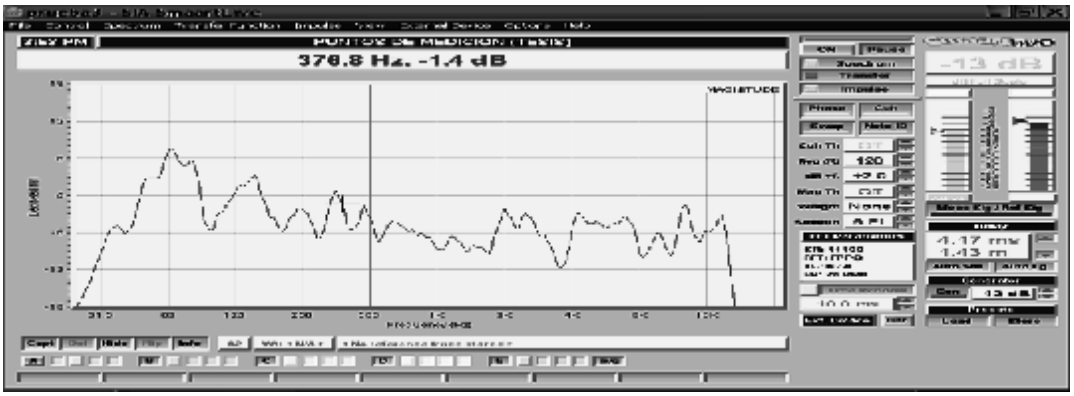


Figura 120. Respuesta en frecuencia en el punto 5.

Punto 6.

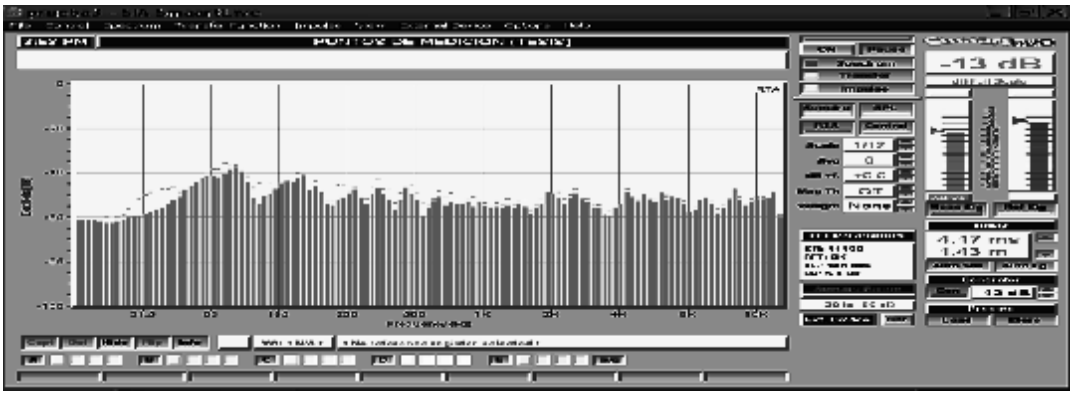


Figura 121. Análisis del espectro con una pendiente decreciente (punto 6).

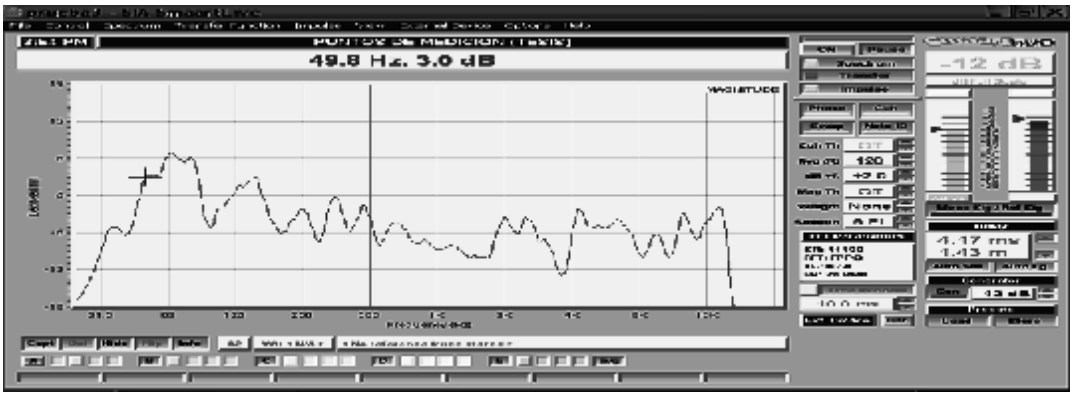


Figura 122. Respuesta en frecuencia en el punto 6.

Punto 7.

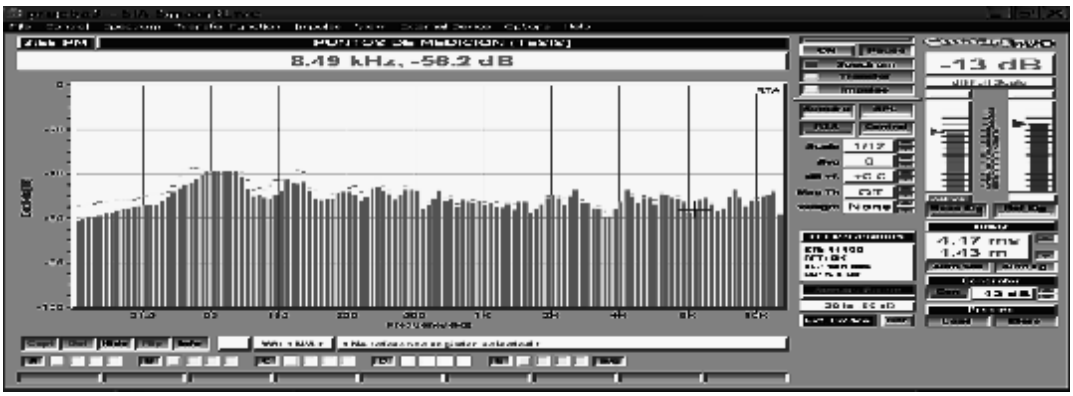


Figura 123. Análisis del espectro con una pendiente decreciente (punto 7).

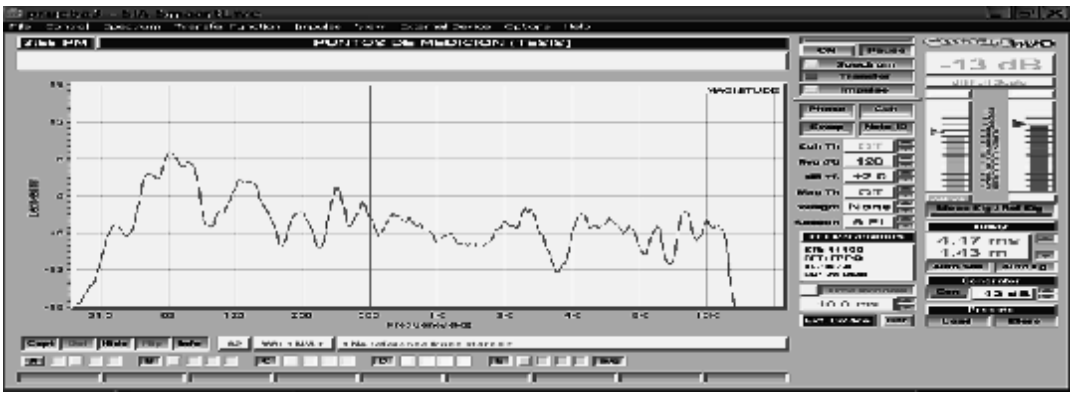


Figura 124. Respuesta en frecuencia en el punto 7.

Punto 8.

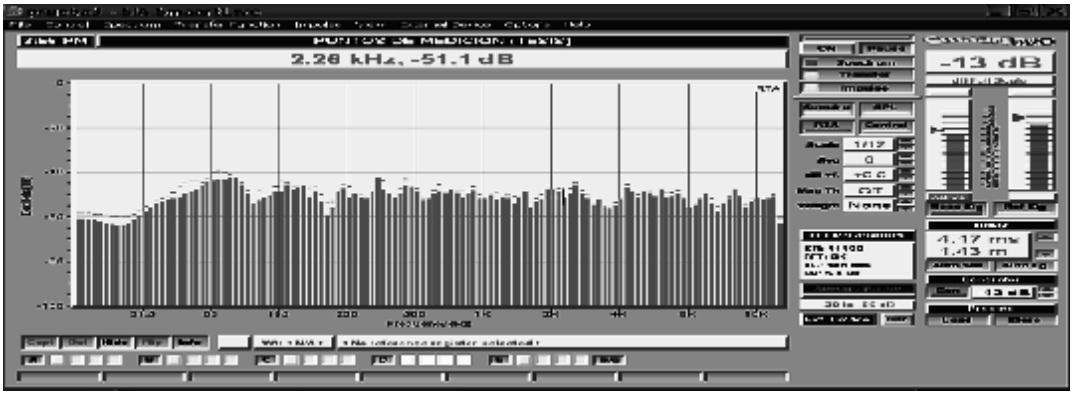


Figura 125. Análisis del espectro con una pendiente decreciente (punto 8).

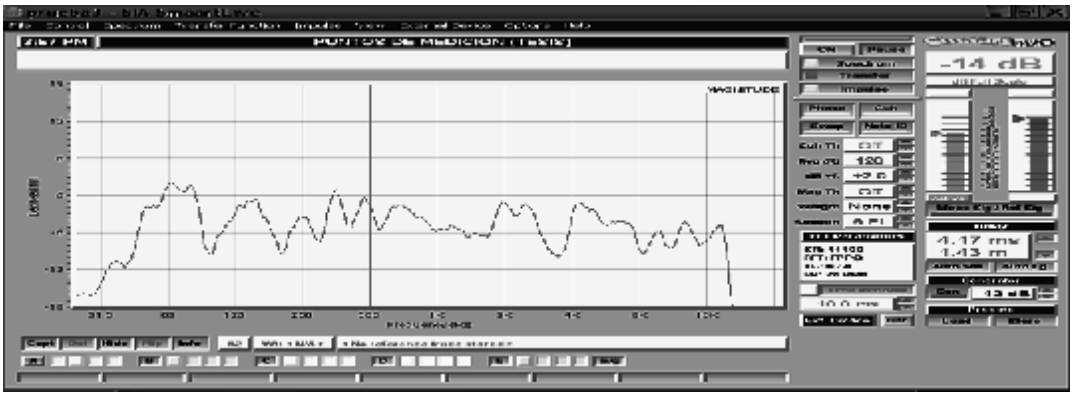


Figura 126. Respuesta en frecuencia en el punto 8.

Punto 9.

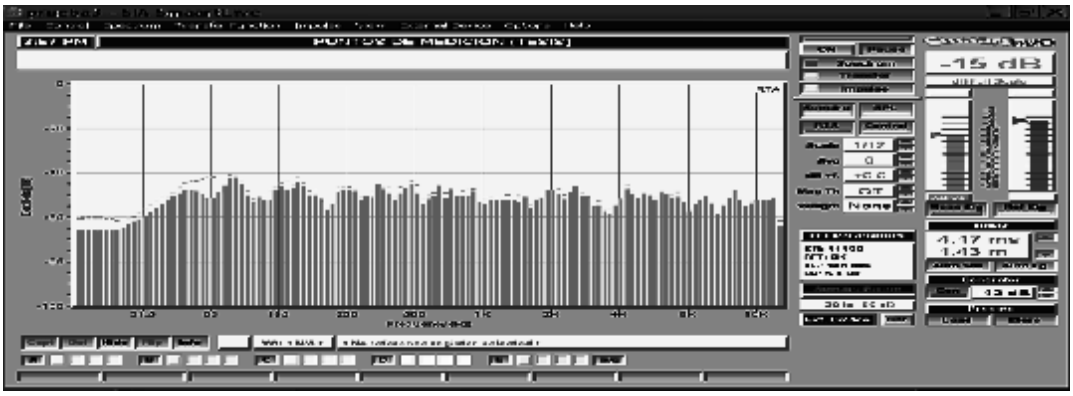


Figura 127. Análisis del espectro con una pendiente decreciente (punto 9).

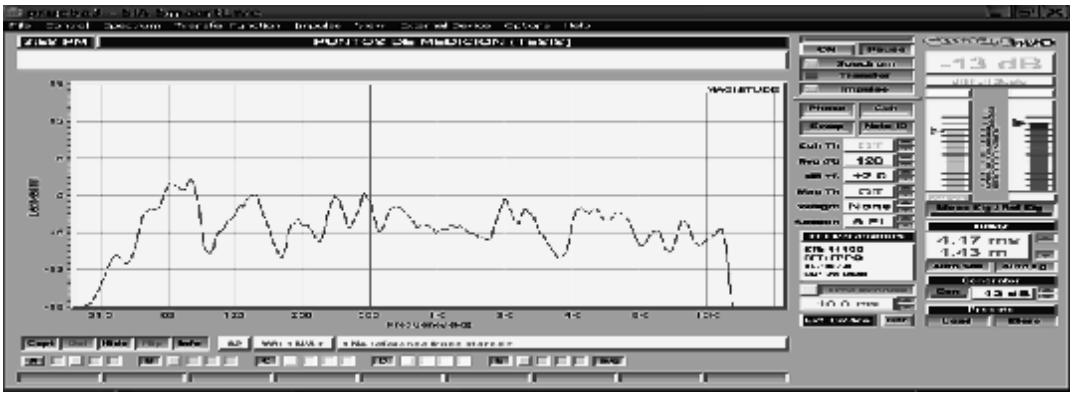


Figura 128. Respuesta en frecuencia en el punto 9.

Punto 10.

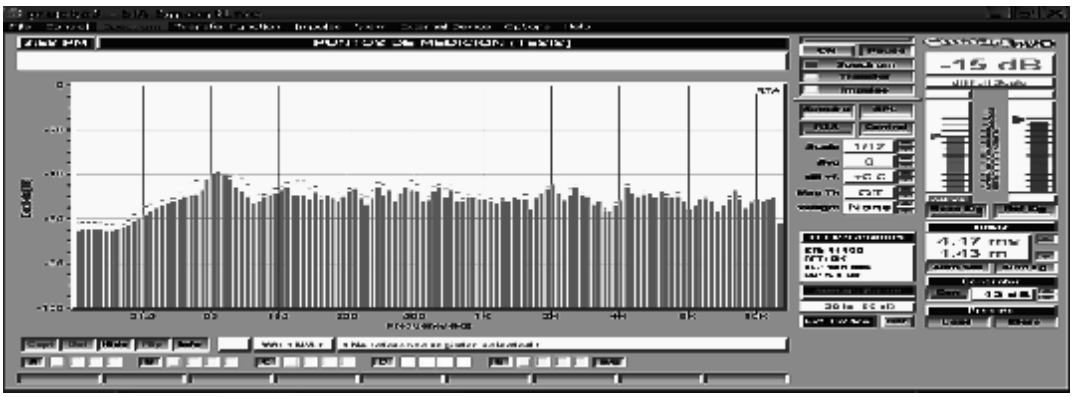


Figura 129. Análisis del espectro con una pendiente decreciente (punto 10).

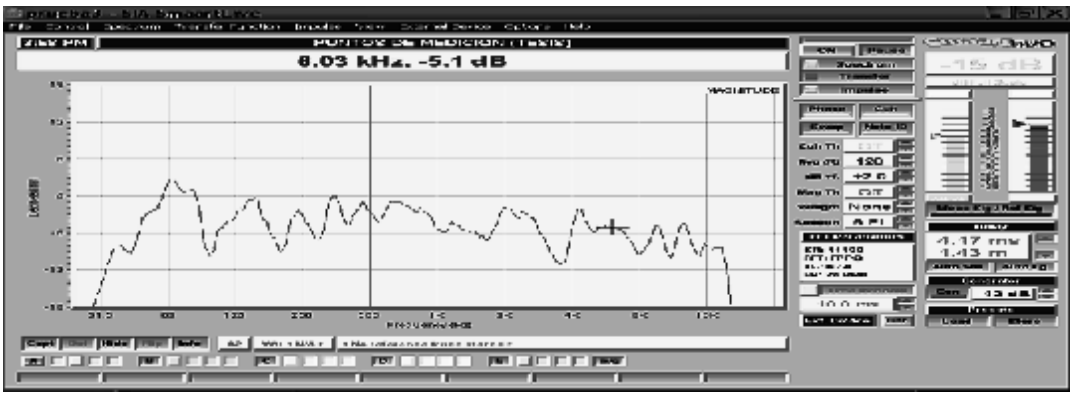


Figura 130. Respuesta en frecuencia en el punto 10.

Resultados: Con las acciones anteriores logramos un sistema pensado para la forma en que percibimos el sonido, se evitó tener que aumentar el nivel en el rango de baja frecuencia para "balancear" nuestro espectro sonoro, también se minimizó el riesgo de fatiga auditiva en el publico (comúnmente producido por frecuencias medias y altas), así como también disminuyó el riesgo de retroalimentación en frecuencias medias y altas (rangos mas comunes de retroalimentación trabajando con una respuesta en frecuencia plana).

8. Ajustes del sonido reproducido por nuestro sistema tomando como referencia nuestra voz y música grabada.

Finalmente el sistema fue diseñado, implementado, corregido, y optimizado; y después de reproducir música y hablar mediante un micrófono se realizaron pequeñas acciones en la ecualización que de manera personal considero provocaron resultados notables. Dichas acciones se describen a continuación:

1. Se atenuó la frecuencia de 160 hz (aprox. 6db) y las frecuencias laterales (125 hz y 200hz) en menor grado (aprox. 3db). (ver figura 131).

Al atenuar este rango se logró eliminar un sonido de baja frecuencia con poco contenido musical que en ocasiones es molesto y provoca la sensación de poca claridad e inteligibilidad. Este ajuste se hizo únicamente para el arreglo P.A debido a que el arreglo de delay únicamente reproduce señales a partir de 1.6 khz.

2. Se atenuó la frecuencia de 500 hz. (aprox. 6db) y las frecuencias laterales (400hz y 630 hz.) en menor grado (aprox. 3db). (ver figura 131).

Este rango de frecuencias provocaba un sonido "nasal"; esto era muy evidente en las voces de cantantes y conductores. (Únicamente en arreglo P.A).

3. Se atenuaron de la misma forma las frecuencias de 2,000 hz. y 2,500 hz. (aprox. 3 db). (ver figura 131).

Con este ajuste se evitó que algunos instrumentos y voces alcanzaran picos que suelen ser muy molestos al oído. Ajuste tanto para el arreglo P.A como para el arreglo Delay.

4. Se atenuaron de la misma forma las frecuencias de 8 Khz. y 10 Khz. (aprox. 2db). (ver figura 131).

Este pequeño ajuste fue debido a que es precisamente en ese rango donde comúnmente se presentan problemas de retroalimentación, logrando con esto minimizar el riesgo (sin alterar el contenido musical). Este ajuste se hizo únicamente para el arreglo principal P.A ya que debido a la distancia en que se ubica el arreglo delay no existe riesgo de retroalimentación.

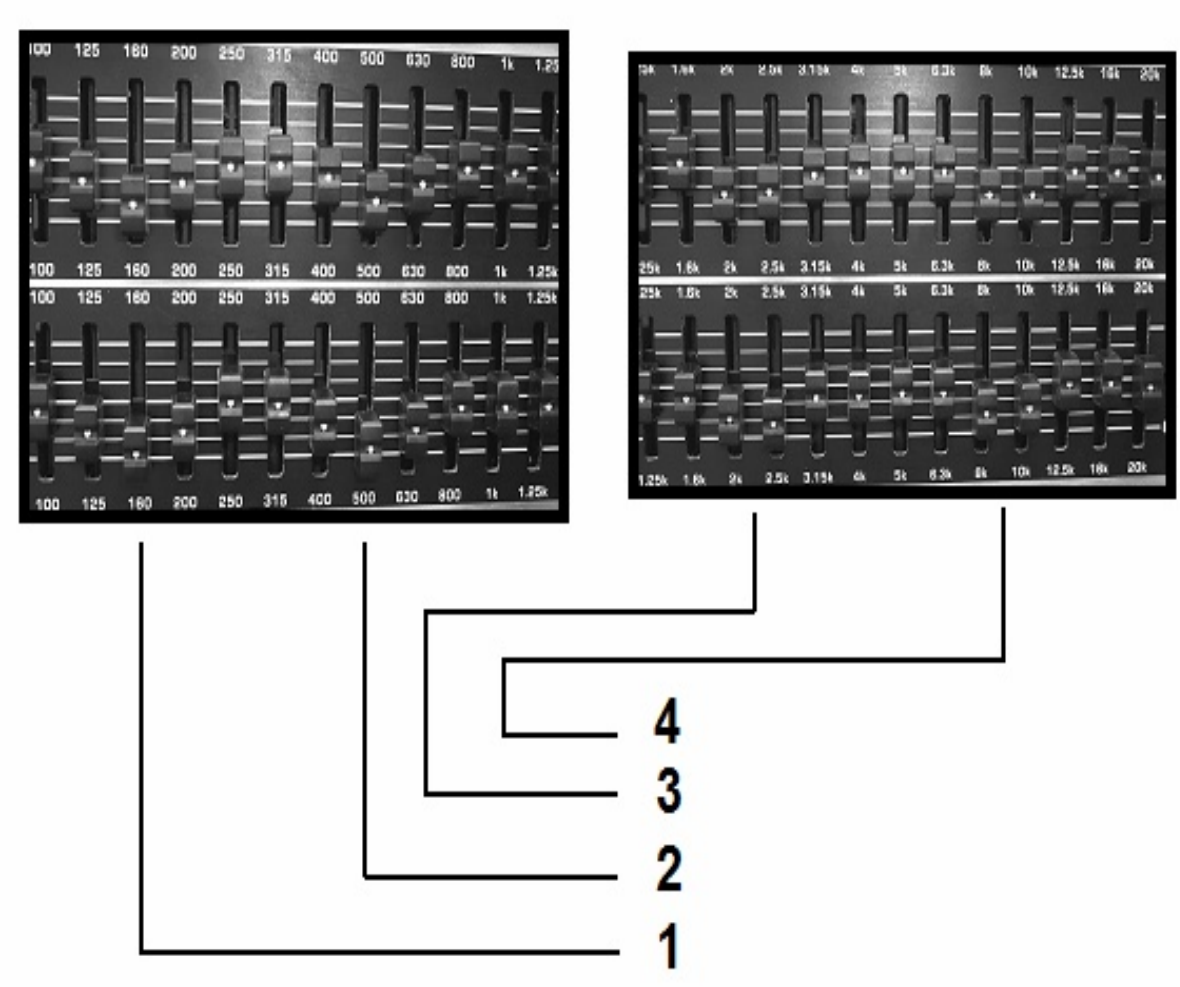


Figura 131. Últimos ajustes del sistema en ecualización (criterio personal).

9. Corrección de problemas suscitados.

En este punto se debieron considerar, analizar y dar solución a los problemas más comunes como son: reverberación, falta de uniformidad, ruidos, mala respuesta en frecuencia, inteligibilidad deficiente, inadecuado SPL y feedback, pero afortunadamente gracias al buen diseño, análisis e implementación dichos problemas no se presentaron de manera significativa en nuestro sistema.

A continuación se muestra el informe:

Resultados obtenidos.

Reverberación.
Debido a la adecuada colocación de altavoces y poca interacción con estructuras la reverberación fue prácticamente nula.

Falta de uniformidad.
Como se muestra en las gráficas de respuesta en frecuencia, existen pequeñas diferencias entre ellas, pero en general se considera un arreglo altamente uniforme en todo el rango, lo que nos permitió que el sonido en cualquier punto del recinto fuera prácticamente el mismo.

Ruidos.
Gracias a la determinación del cableado adecuado para cada aplicación, la forma de tenderlo, el tipo de conexiones, las configuraciones, y la calidad del equipo; la presencia de ruidos fue completamente inexistente.

Mala respuesta en frecuencia.
Como se vio anteriormente había cierta ineficiencia en las respuestas en frecuencia particulares, pero gracias a la metodología propuesta para nuestro sistema se realizaron acciones con las que se logró que se comportara lo mas plana posible.

Posteriormente decidí que era más adecuada una respuesta en frecuencia con una pendiente en decaimiento lo cual fue logrado exitosamente (como se explico en el punto 7 de esta metodología). Dicha respuesta en frecuencia se considera ideal para cumplir con nuestros objetivos.

Inteligibilidad deficiente.
Sabiendo que la respuesta en frecuencia final fue la que buscábamos y después de hacer las ultimas correcciones de ecualización teniendo como referencia música grabada y la voz, se aseguró una muy buena inteligibilidad.

Nivel sonoro (Adecuado SPL).
Como se vio en las mediciones mostrada en el punto 7 de esta metodología “ajuste del SPL” se logró un sistema capaz de cumplir con los requerimientos de presión sonora; tanto en nivel (con picos de 113db) así como también de uniformidad (diferencias máximas de 7 db entre zonas remotas).

Feedback.
El sistema se comporto con un bajo nivel de riesgo de retroalimentación.

A pesar de la poca posibilidad de feedback se decidió provocar de manera intencional dos de ellos para determinar los rangos más susceptibles y realizar posteriormente las acciones pertinentes para minimizar el riesgo.

Corrección de frecuencias susceptibles a feedback.

1. Se encendió la totalidad del sistema con ajustes y niveles nominales de trabajo.
2. Se encendió la totalidad de los micrófonos a utilizar con niveles nominales de trabajo.
3. Como no ocurrieron retroalimentaciones se fue aumentando el nivel de la salida master gradualmente hasta llegar al máximo.
4. Como no se presentaron retroalimentaciones se aumentaron también niveles de los módulos independientes, pero como se presentaron retroalimentaciones en niveles realmente extremos no se consideraron.
5. Se decidió provocar el feedback acercando un micrófono tan cerca como fuera necesario a los altavoces y finalmente se manifestó.

Mediante el micrófono de medición nuestro programa Smaartlive (en el modo de Spectrum) registró el primer feedback y mediante el cursor se determinó que la frecuencia en que se presentaba era 120 hz. (Ver figura 132).

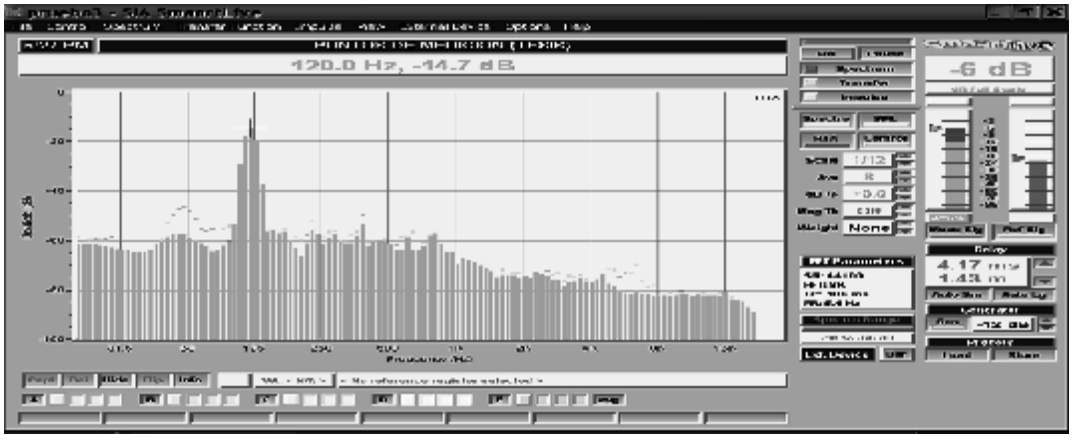


Figura 132. Primer retroalimentación forzada (120 hz.).

6. Se procedió a atenuar dicha frecuencia aproximadamente 2 db en el ecualizador del P.A con lo que prácticamente desapareció el riesgo de retroalimentación en ese rango del espectro.

7. De la misma manera se provocó otra retroalimentación llegando a condiciones de trabajo extremas, y se presento ahora en 2.13 khz. (ver figura 133).

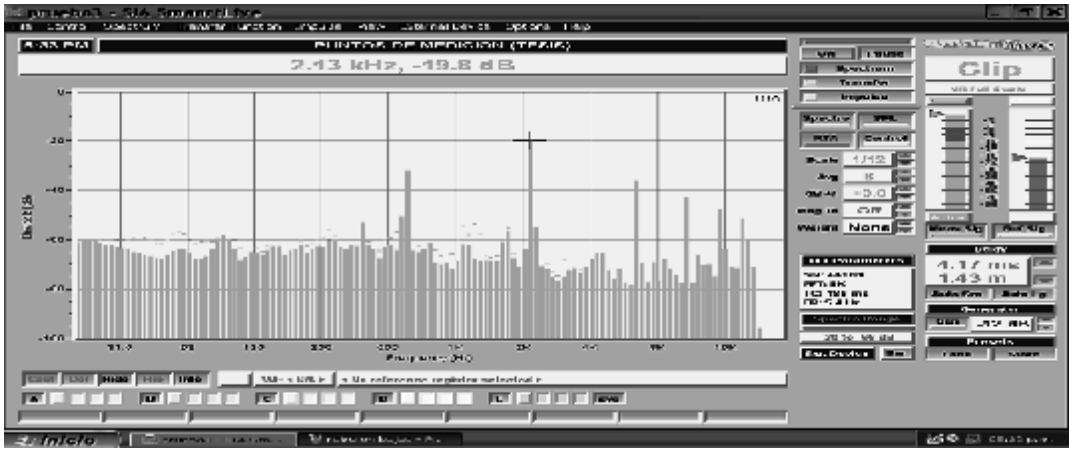


Figura 133. Segunda retroalimentación forzada (2.13khz).

8. De la misma manera se atenuó dicha frecuencia aproximadamente 2 db en el ecualizador del P.A con lo que también se minimizó el riesgo en dicho rango.

Finalmente con las acciones anteriores se logro un sistema con muy poca susceptibilidad a la retroalimentación en todo el espectro, lo que nos permitió operarlo con la confianza de poder manejar los niveles y rangos de frecuencias que decidamos.

6.5. LINE CHECK.

Mediante el line check comprobamos que cada una de las fuentes sonoras (instrumentos musicales conectados por línea, instrumentos musicales microfoneados, voces microfoneadas, reproductores de C.D, etc.) llegaran hasta nuestra consola de audio de manera correcta (en nivel, características y orden), y con esto poder filtrarlas, asignarlas, y manipularlas conforme nuestras necesidades para posteriormente reproducirlas por nuestro sistema sonoro.

Debido a las acciones realizadas para determinar tipos de cables, configuraciones y conexiones, además de dedicar un tiempo para la corrección de fallas y mantenimiento preventivo (como lo estipula nuestra metodología) no se presentaron problemas en este punto.

Con esta última acción se termina el proceso de ajuste y optimización de nuestro sistema de sonorización para música en vivo que anteriormente se había diseñado e implementado teniendo satisfactoriamente como resultado un sistema eficaz que cumple con todas nuestras necesidades pre-establecidas.

6.6. SOUND CHECK Y OPERACIÓN.

A partir de este punto se realizaron una infinidad de acciones particulares e instantáneas basadas en un criterio formado por todos los antecedentes, conocimientos y experiencias; que junto al empleo de herramientas tecnológicas y herramientas de medición nos permitió obtener resultados notables.

7. CONCLUSIONES.

Conclusiones generales.

Durante el desarrollo de esta tesis se aprovecharon los conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería eléctrica–electrónica con la finalidad de comprender, evaluar, y mejorar el comportamiento de los sistemas de sonorización.

Como todos sabemos; gran parte de la función del ingeniero en el medio laboral es aprovechar recursos, resolver problemas y optimizar sistemas, y debido a que esas tres acciones son las esenciales para la realización de esta tesis se considera que fue un tema ideal para desarrollo profesional, además de dar cierta especialización en un tema específico.

Se hizo evidente la importancia del ingeniero y el técnico profesional para desempeñar funciones dentro de las empresas de renta, venta, mantenimiento y soporte técnico de sistemas de sonorización, ya que tendrá que contar con un respaldo en conocimientos y un criterio que le permita tomar decisiones a cada momento ante las más variadas condiciones y necesidades, además requerirá actualizarse y capacitarse conforme evoluciona la tecnología en equipos y sistemas.

Se estudiaron los conceptos básicos del sonido, audición y acústica; lo que nos permitió formar una base sólida para comprender los fenómenos y el comportamiento de nuestro sistema en cada momento, lugar y condiciones, así como también para posteriormente continuar con el desarrollo de nuestra tesis en temas más específicos.

Definimos claramente lo que es un sistema de sonorización básico y un sistema de sonorización para música en vivo. Con lo anterior se establecieron las diferencias, así como los recursos y necesidades en este tipo de sistema sonoro particular.

Se definió un sistema sonoro ideal y se comparó con un sistema real, lo que nos permitió establecer los principales problemas y dificultades que posteriormente sirvieron como factor o parámetro en la realización de diseños, ajuste, optimización y operación. Además se plantearon algunas soluciones prácticas y objetivas a los problemas detectados para minimizar cualquier influencia negativa en nuestros sistemas.

Se estudiaron las principales herramientas con que se cuenta en el medio (software, equipo de medición y simuladores) indicando en cada caso características, ventajas y desventajas para que con un criterio propio podamos aprovechar estos recursos. Además se plantearon algunos procedimientos básicos para el ajuste de sistemas y solución de problemas típicos mediante estas herramientas.

Analizamos el funcionamiento de cada uno de los elementos de la cadena de audio e interpretamos sus especificaciones técnicas para lograr un mejor aprovechamiento de dichos recursos.

Establecimos una metodología de referencia para lograr sistemas de sonorización optimizados formada por cinco bloques: diseño, diagnóstico y verificación, montaje, ajuste y operación. Dicha metodología sirve como referencia (mas no es una serie de pasos a seguir) para logar sistemas sonoros eficaces a partir de los recursos, condiciones y necesidades que se tengan.

Por último; se diseñó e implementó un sistema de sonorización para música en vivo (real) haciendo uso de todo lo estudiado a la largo de esta tesis (incluyendo la metodología propuesta).

Los resultados obtenidos en dicho sistema se describen a continuación.

Conclusiones particulares. (Sistema real).

Se requirió un sistema apropiado para cubrir un área total de aproximadamente 945 m^2, por lo que decidimos seccionar el recinto en diferentes zonas según sus necesidades. Se propusieron cuatro sistemas diferentes que fueron evaluados en ventajas como en desventajas y se decidió implementar la mejor opción (en este caso el tipo 4).

Después se procedió a calcular el consumo total de dicho sistema y resultó de 63.99 amperes máximos y se decidió utilizar una de las tres fases con que se contaba para conectar exclusivamente el equipo de audio, logrando minimizar el riesgo de falla, mal funcionamiento o interrupción.

Posteriormente se estableció una rutina de diagnóstico y verificación de la totalidad del equipo a utilizar, con lo que logramos corregir fallas en elementos individuales y por consiguiente en el sistema completo.

Verificamos que el montaje y configuración del sistema se realizara tal como se había preestablecido en el diseño original para evitar cualquier inconsistencia o falla.

Se decidió hacer el corte de frecuencias del espectro sonoro de la siguiente manera:

Altavoces de bajas frecuencias (subwoofer) 20hz – 1.6 khz
Altavoces de frecuencias medias y altas (con crosssover pasivo) 1.6 khz – 20khz.
Esto, basado en las especificaciones técnicas de los fabricantes.

Se determinó el tiempo de retraso que se debía provocar al arreglo delay, resultando 0.06 segundos debido a la diferencia de 22 metros entre arreglos (P.A y delay).
Dicho retraso fue ajustado en nuestro procesador digital, con lo que evitamos en buen grado las cancelaciones en la zona posterior y logramos máximo aprovechamiento de energía acústica.

Establecimos una serie de ubicaciones físicas representativas (formada por 10 puntos) para realizar mediciones que nos permitieran evaluar el comportamiento general de nuestro sistema.

Se estableció 110 db como la presión sonora de referencia, ya que al ser un evento musical se requiere contar con un SPL suficiente para hacer destacar el mensaje sobre cualquier otro sonido ajeno.

Después del ajuste y calibración del sistema, las lecturas de presión sonora mostraron que entre los puntos 1,2,3,4,5 y 6 se dió una diferencia máxima de 6 db (teniendo como valor mínimo 107 db y un máximo de 113db), lo que representa un muy buen grado de uniformidad.
En la zona de stands y área de comida (puntos 8, 9 y 10) se obtuvo un SPL entre 106 y 110 decibeles, debido a que se necesitaba una presión sonora ligeramente menor que en el resto del recinto.

Se obtuvo la respuesta en frecuencia en cada uno de los puntos de medición y después de realizar las correcciones con los ecualizadores pertinentes se lograron respuestas mas planas.

Posteriormente propuse provocar una pendiente que generara una atenuación total de entre 6 y 10 db en el rango audible (20hz – 20,000hz) respecto a la referencia (ruido rosa) logrando con esto que el comportamiento del sistema no sea percibido con mayor energía en rango de agudos y erróneamente se tenga que aumentar el nivel del rango de baja frecuencia (esto considerando que la respuesta en frecuencia del oído humano no es plana). Además esta acción minimizó el riesgo de feedback en frecuencias medias y altas (las más comunes), y de provocar fatiga auditiva en el espectador.

Se provocaron y determinaron las dos frecuencias más susceptibles a retroalimentación, estas resultaron ser: 120hz y 2.13khz que con tan sólo atenuarlas 2 db en el ecualizador correspondiente dio un mayor grado de seguridad.

Debido al buen diseño, implementación y ajuste del sistema no se presentaron fallas ni problemas a corregir.

De esta manera aprovechando todos los recursos con los que se contaba se logró un sistema altamente eficaz para la aplicación, y condiciones de este evento particular.

Podemos concluir de manera global que el trabajo realizado durante dicha tesis nos permite reducir sensiblemente los costos de nuestros sistemas, ya que con un criterio correcto podemos optimizar y aprovechar al máximo los recursos que generalmente son limitados dentro de la industria de la sonorización.

Anexos: **(NO IMPRESO; INCLUIDO EN CD ADJUNTO).**

I. Conceptos, parámetros y propiedades básicas en sonorización **p.2**

II. Principios acústicos y fenómenos sonoros. **p.24**

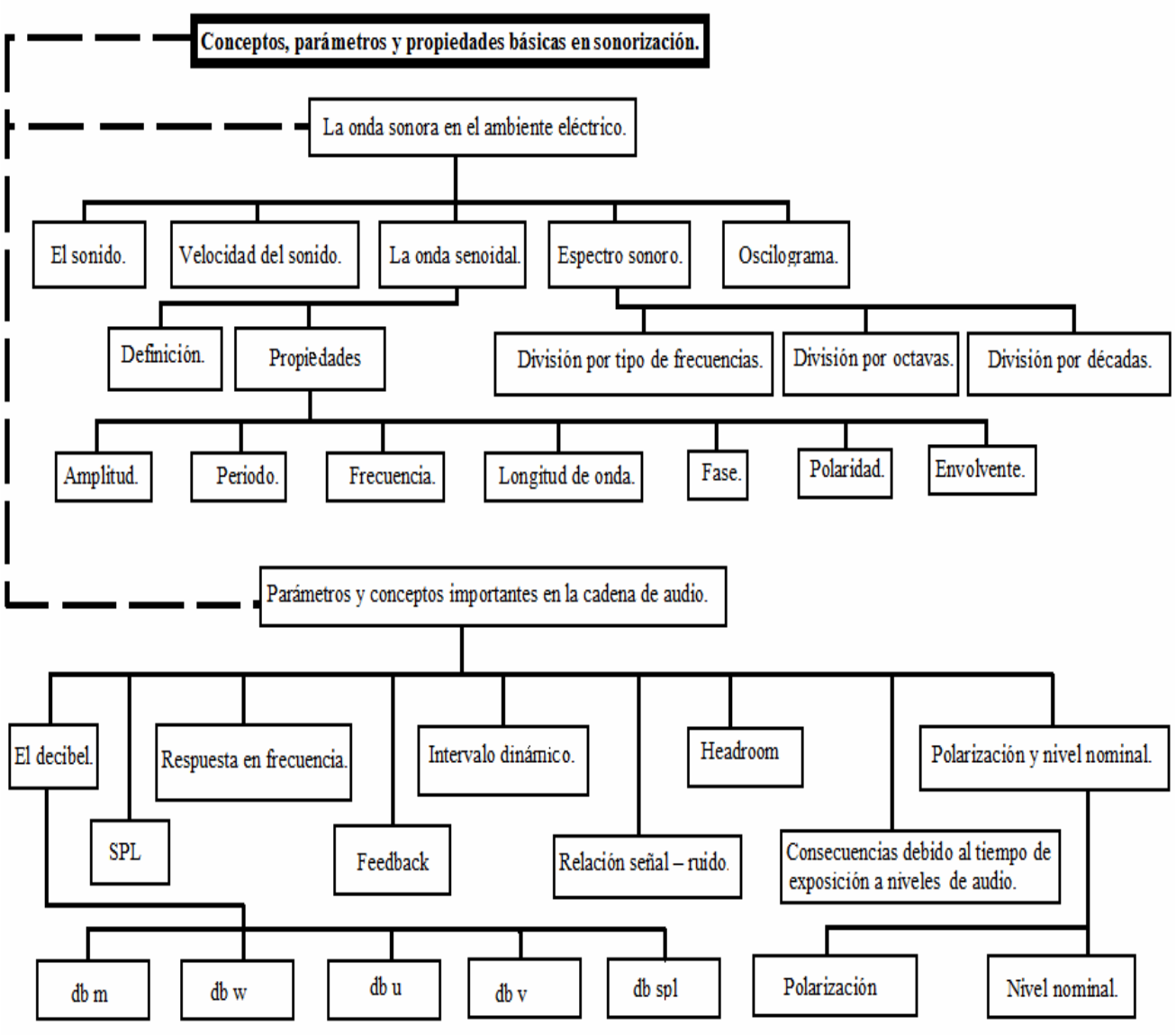
III. Elementos del sistema de sonorización para música en vivo. **p.40**

IV. Anexo de especificaciones técnicas. **p.119**

V. Anexo de fórmulas. **p.151**

1. Conceptos, parámetros y propiedades básicas en sonorización.

Organigrama de los temas a tratar durante el anexo I "Conceptos, parámetros y propiedades básicas en sonorización".



1.1 LA ONDA SONORA EN EL AMBIENTE ELÉCTRICO.

1.1.1 El sonido.

El sonido es definido como una perturbación de compresión que viaja a través de un material de forma tal, que es capaz de poner en movimiento el tímpano humano y por tanto, produce la sensación de la audición. Nótese que las ondas de sonido, debido a que son ondas de compresión en un material, requieren de una sustancia en la cual puedan viajar, por lo tanto las ondas del sonido no pueden viajar en el vacío.

La fuente de ondas sonoras debe ser capaz de enviar una onda de compresión a la sustancia próxima a la fuente.

Para entender la naturaleza de las ondas del sonido, se hace referencia a la figura 1, la cual muestra un pistón en movimiento que envía ondas de sonido a través de un tubo lleno de aire. Conforme el pistón se mueve hacia la derecha comprime el aire y envía una compresión a lo largo del tubo. Después, cuando el pistón se mueve hacia atrás, es decir, hacia la izquierda, el aire que esta a la derecha de el se expande; en ese momento se envía a lo largo del tubo una rarefacción. El resultado es una onda longitudinal que consiste en compresiones y rarefacciones alternadas a lo largo del tubo.

Si se toma la coordenada x a lo largo del eje del tubo, la ecuación de la onda viajera del sonido es:

$$S = so\ sen\ [\omega (t - (x / v))].$$

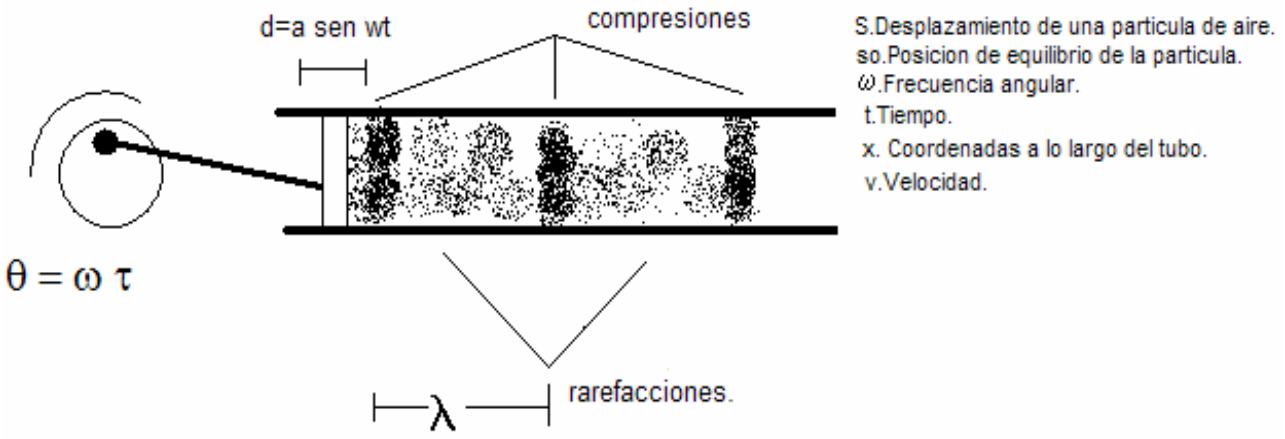


figura1. Pistón en movimiento.

Aplicando esta analogía a nuestros intereses, el pistón deberá reemplazarse por un altavoz o algún otro medio para producir el movimiento de las moléculas del aire.

Un altavoz consiste en un diafragma flexible pegado en un electroimán que se excita por medio de una corriente alterna. Conforme el diafragma oscila hacia delante y hacia atrás envía una onda de sonido al aire.

Todas las fuentes de sonido tienen una característica en común: generan en forma alternada ondas de compresión y de refracción en el aire.

1.1.2 Velocidad del sonido.

La velocidad del sonido depende en mayor parte de la sustancia en que se transmite (aire, agua, acero, etc), por ejemplo la velocidad del sonido sobre el acero o hierro llega a ser de aproximadamente 17.150 m/s a 20 grados centígrados.

Una forma de comprobar las tremendas diferencias de la velocidad del sonido debido al medio en que se transporta es mediante el siguiente ejemplo:

Suponga dos personas, una en cada extremo de una vía y/o barandal a una distancia considerable. Si una de la personas golpea con un martillo uno de los extremos, la otra persona escuchará dos sonidos; el sonido que viajo muy rápidamente a través del acero y posteriormente el sonido que viajo a través del aire, teniendo como resultado una diferencia de tiempo debido a la diferencia de velocidades de propagación.

Cabe mencionar que la velocidad del sonido es completamente independiente de la intensidad (nivel) y el tono (frecuencia).

Otros de los factores que hacen variar la velocidad del sonido son, la temperatura, la humedad, y la presión atmosférica (aunque no varia de manera considerable). Dentro de la música se llega a manifestar principalmente en los instrumentos de viento.

En caso de que necesitemos considerar el efecto de la temperatura, la velocidad del sonido se puede determinar mediante la siguiente formula.

$$C = 331.6 + 0.6 * Te \quad [m/s].$$

Donde:
C – velocidad del sonido a cierta temperatura.
Te – es la temperatura a considerar en grados centígrados.

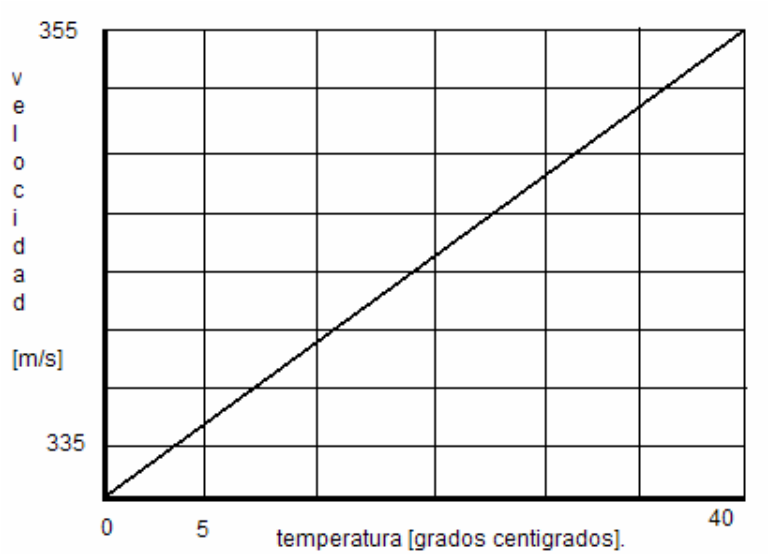


Figura 2. Comportamiento lineal de la variación de la velocidad del sonido respecto a la temperatura.

Nota: La velocidad del sonido varía en razón de 0.6 m/s por cada grado centígrado.

En sonorización consideraremos el aire como la sustancia en la que viaja el sonido y tomando como base una temperatura ambiente de 20 grados centígrados la velocidad del sonido a considerar será de 343 m/s.

1.1.3 La onda senoidal.

Definición.

La onda senoidal es la onda mas elemental de todas y por fortuna a partir de ella se componen todas las ondas sonoras, inclusive cualquier forma de onda puede ser matemáticamente, electrónicamente y acústicamente descompuesta en sus componentes senoidales (Fourier).

La siguiente expresión representa a la onda senoidal.

$$f(t) = Ap \cos(\omega o\, t + Ø).$$

Ap Amplitud de la señal (0 – pico).
ωo Frecuencia angular.
Ø ángulo de fase.

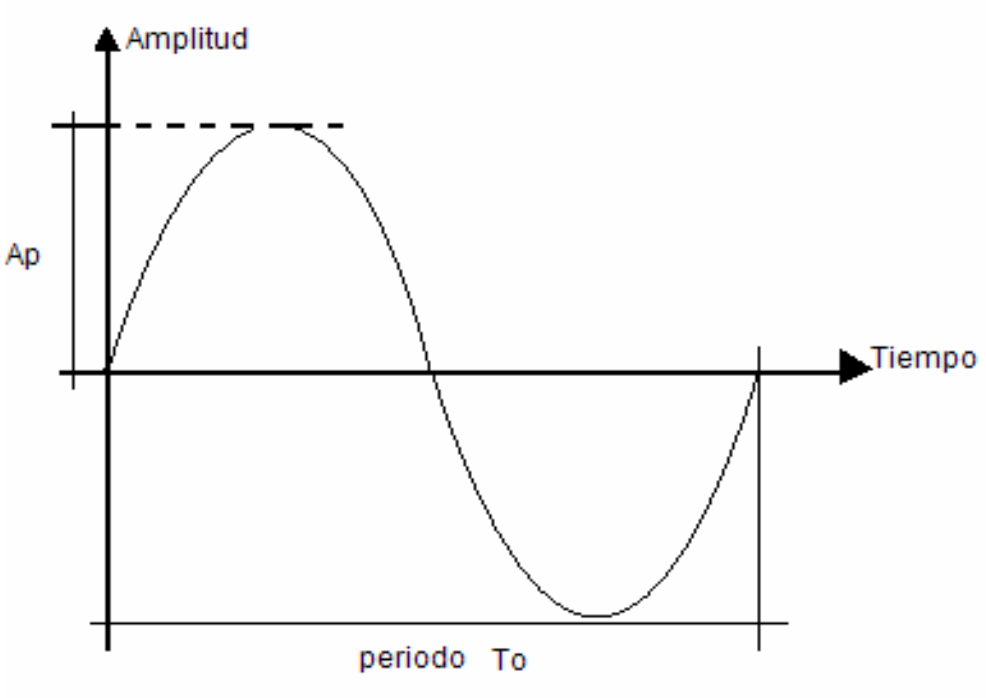


Figura 3. Onda senoidal.

Principales propiedades de las ondas para audio.

Amplitud:
La amplitud (Ap) se define en general como la intensidad de la señal en un momento especifico (ver figura 3).

La amplitud nos representa el cambio de presión en el aire provocado por las ondas sonoras; nos indica compresión cuando la grafica es arriba de la línea central y es expansión debajo de la línea central (lo cuantificamos en volts o decibeles).

Periodo:
El periodo (To) se define como el tiempo que transcurre para que una señal de cierta frecuencia (f) realice un ciclo completo (ver figura); y se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$To = 1 / f. \quad \text{(Segundos / ciclo)}.$$

Por ejemplo si tenemos cierta señal con una frecuencia de 100 hz.

$$To = 1 / 100 = \mathbf{0.01\ [seg/ciclo]}$$

Frecuencia.
Tomando en cuenta una señal periódica, la frecuencia se define como la cantidad de ciclos que ocurren durante un segundo y sus unidades son los hertz (ciclos /segundo).

Es decir cuando un altavoz reproduce una frecuencia de 100 hz, dicho altavoz realiza 100 veces el movimiento completo cada segundo de tiempo transcurrido.

Longitud de onda.
La longitud de onda (λ) se define como la distancia que debe recorrer una onda sonora de cierta frecuencia para completar un ciclo completo, y considerando la velocidad del sonido (343 m/s), ya anteriormente determinada se puede calcular con la siguiente formula:

Longitud de onda (λ) = c (vel del sonido) / f (frecuencia).

Por ejemplo:

Para la señal de 100 hz.

Longitud de onda = 343 [m/s] / 100 [hz]. = 3.45 m/ciclo.

nota dicha propiedad (longitud de onda) es muy útil para minimizar efectos negativos dentro de la sonorización.

Fase.

La fase es una característica muy importante de las ondas sonoras. El estudio de las relaciones de fase entre ondas sonoras es de gran complejidad, pero a continuación se dará un ejemplo que permitirá su comprensión.

Si consideramos dos señales idénticas y sabiendo que un ciclo completo de una señal senoidal es de 2π; un defasamiento de π / 2 o 90 grados de una señal respecto a la otra, se muestra en la siguiente figura (figura 4).

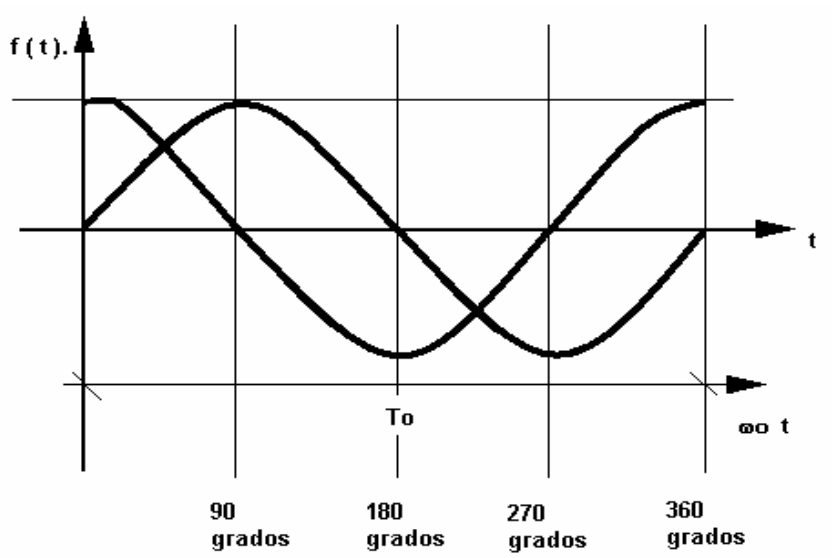


Figura 4. Defasamiento de 90 grados entre dos ondas senoidales

*La gráfica anterior nos permite visualizar el defasamiento de dos ondas senoidales para distintos valores.

Polaridad.

Al comparar dos ondas senoidales y existiendo entre ellas un defasamiento de 180 grados, una de la otra estarán siempre con polaridad inversa.

Es decir la polaridad es un caso particular del defasamiento, donde éste es el más destructivo (180 grados) ya que la suma algebraica en cada punto debe dar como resultado cero.

Envolvente.

La envolvente es una gráfica que relaciona la amplitud del sonido con respecto al tiempo, desde que inicia dicho sonido hasta que se extingue.

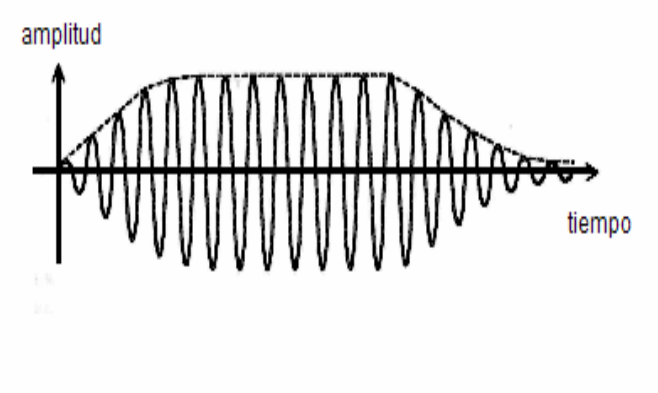


Figura 5. Envolvente de un sonido.

1.1.4 Espectro sonoro.

Como sabemos cada persona tiene la capacidad de escuchar un determinado rango de frecuencias, pero podemos considerar que el espectro sonoro representativo del hombre es de 20 hz (frecuencia baja) hasta 20,000 hz (frecuencia alta).

Con fines de análisis y estudio es necesario dividir dicho rango.
Algunas de las principales formas son las siguientes:

Por tipo de frecuencias.

- Frecuencias muy bajas. (rango desde los 16 hz hasta los 60 hz).

Dicho rango suele no encontrarse en el espectro audible, pero dentro de la sonorización es de vital importancia ya que aunque tiene poco contenido musical este rango de frecuencias se manifiesta dando la sensación de potencia a dicho sistema pero si se emplea de manera exagerada produce enmascaramiento (propiedad del oído humano que no permite interpretar un mensaje fiel al original, debido a la existencia de otro).

- Frecuencias bajas. (rango desde los 60 hz hasta los 250 hz).

Este es un rango de gran importancia ya que muchos instrumentos musicales generan sonidos dentro de el.
La ecualización de dicha banda puede provocar que nuestro sistema genere resultados notorios.

- Frecuencias medias bajas. (rango de 250 hz hasta 2,000 HZ).

Esta banda de frecuencias entrega cuerpo y riqueza a los sonidos, pero tiene como desventaja que un mal manejo llega a producir fatiga auditiva y sonidos con efectos nasales.

- Frecuencias medias. (rango de 2 khz a 4 khz).

Esta banda provee intensidad, presencia y definición.
Contiene gran porcentaje de la voz humana pero también puede provocar fatiga auditiva.

- Frecuencia medias altas (rango de 4 khz a 6 khz).

Estas frecuencias son las encargadas de dar claridad y transparencia a la voz y a muchos de los instrumentos.

El incremento en la ecualización en algunas frecuencias produce la sensación de un incremento de 3 db en nuestro sistema, mientras que la atenuación en esta banda produce la sensación de lejanía.

- Frecuencias altas (6 khz a 16 khz).

Este rango de frecuencias provee el brillo del sonido pero su utilización de manera exagerada puede producir siseos en las vocales y en las “s”.

- Frecuencias muy altas (16 khz a 20 khz).

Esta banda tiene poco contenido musical y puede llegar a generar y /o atenuar el “hiss”.

Por octavas.

El concepto “octava” es muy importante en el estudio del sonido en general.

La octava representa una proporción de 2:1, es esta proporción entre frecuencias lo que el proceso de audición reconoce, y no la cantidad numérica entre 20Hz y 20kHz; como un ejemplo, la mitad del espectro audible no es numéricamente la mitad entre 20Hz y 20,000 Hz (el cual sería 10 010 Hz). Más bien, es la mitad del número de octavas de 20 Hz a 20 000 Hz, que es aproximadamente 640 Hz.
Es decir, para nuestro rango audible tenemos que las octavas se conforman de la siguiente forma:

20 hz - 40 hz - 80hz - 160hz - 320hz – 640 (mitad del numero de octavas) - 1.25khz - 2.5khz - 5hz - 10 khz - 20khz.

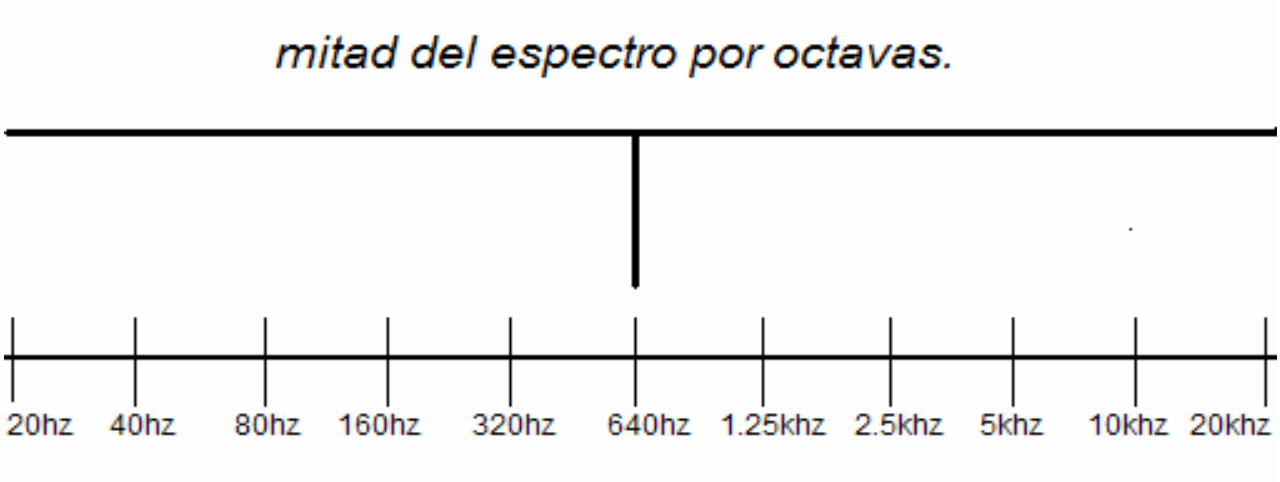


Figura 6. Espectro sonoro dividido por octavas.

Por décadas.

También el espectro de audio puede estar dividido en décadas, cuya razón es 10:1.
El espectro audible tiene una extensión de tres décadas:

de 20 Hz a 200 Hz.
de 200 Hz a 2000 Hz.
y de 2000 a 20 000Hz.

Las décadas son útiles para dividir el espectro audible, debido a que los altavoces en muchas aplicaciones de refuerzo sonoro están limitados a operar correctamente en un intervalo cercano a una década.

Es decir:

- frecuencias bajas de 20 Hz a 200 Hz.
- frecuencias medias de 200 Hz a 2,000 Hz.
- frecuencias altas de 2,000 Hz a 20,000 Hz.

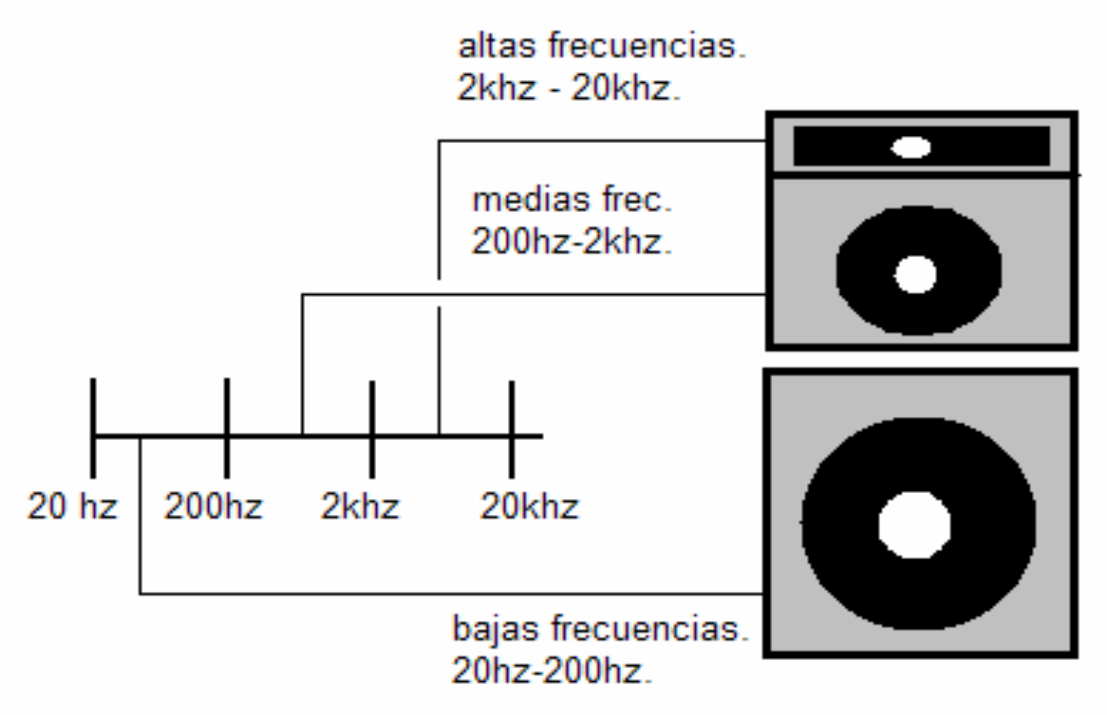


Figura 7. Espectro sonoro dividido por décadas.

1.1.5 Oscilograma.

El oscilograma es una gráfica que muestra la evolución de una perturbación con respecto al tiempo; el eje horizontal representa el tiempo [s] y el vertical representa la magnitud de la presión sonora [v].

El significado de este gráfico es que para un instante de tiempo t, representado por un punto en el eje del tiempo le corresponde una presión sonora, representada por la altura medida en la escala del eje vertical.

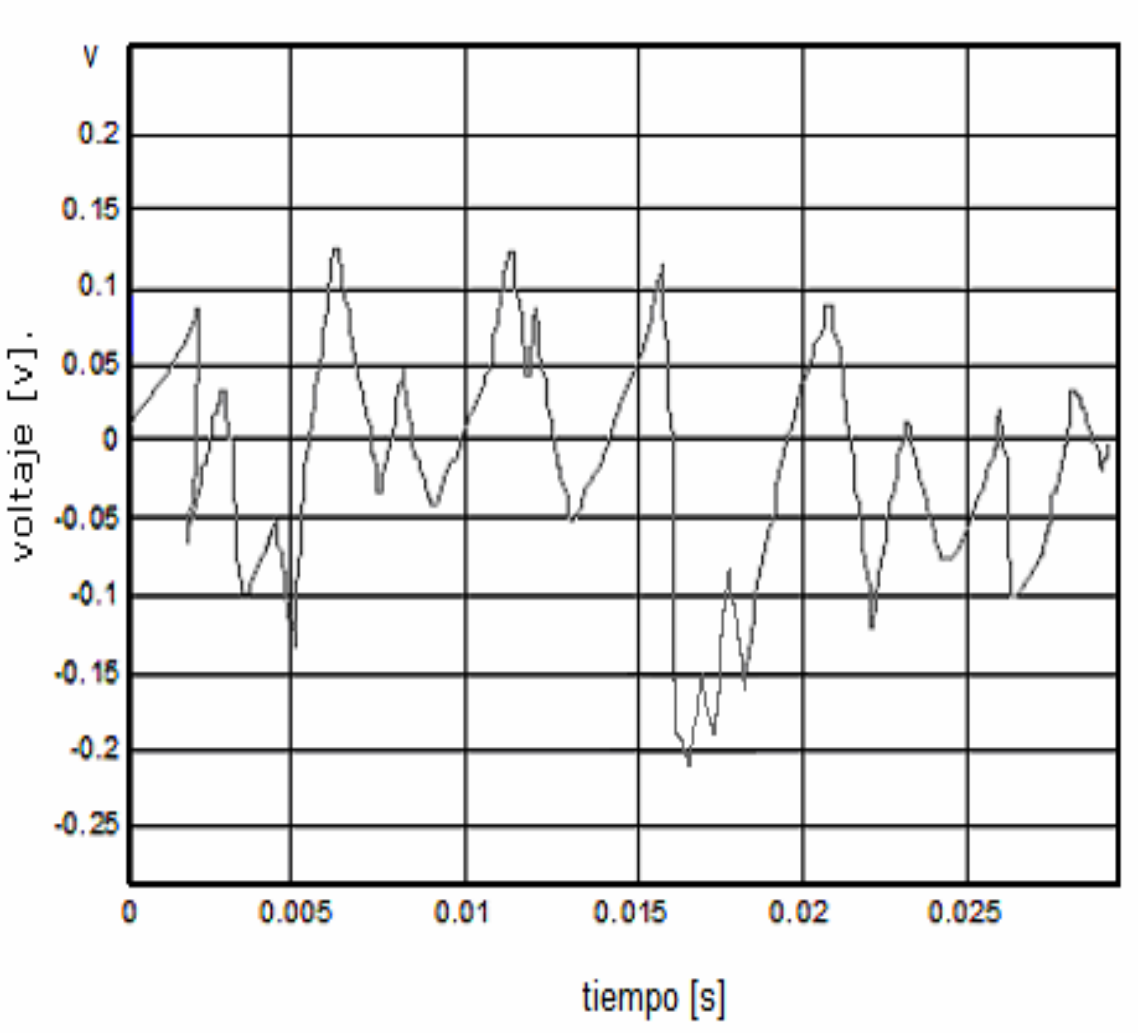


Figura 8. Oscilograma de un sonido cualquiera.

1.2 PARAMETROS Y CONCEPTOS IMPORTANTES EN LA CADENA DE AUDIO.

El decibel es la unidad más empleada a lo largo de la cadena de audio, y debido a esto es importante definir de una manera precisa dicha unidad, además se determinará la relación que existe entre potencias, voltajes y presiones con su valor correspondiente en decibeles. Y finalmente se definirán las distintas escalas que han sido creadas con la intención de facilitar el manejo de cuantificaciones.

1.2.1. El decibel.

El Bel fue creado por Alejandro Bel y una décima de este se denomina decibel [db], que es la unidad utilizada para lograr cuantificar una gran cantidad de parámetros dentro de la cadena de audio.

En general el decibel es el resultado de la comparación de dos cantidades sobre una escala logarítmica la cual nos permite reducir valores numéricos muy grandes en otros mucho más pequeños. (Las cantidades que suelen compararse dentro del audio son potencias, presiones y voltajes).

A continuación se muestra la fórmula con la que podemos obtener la relación entre dos cantidades de potencia en [db].

$$dB\ [watts] = 10 \times \log\ (\text{potencia } 1\ /\ \text{potencia } 2).$$

*cada vez que se tenga una relación 2 a 1 la relación en dB es de 3.

Por ejemplo:

Si tenemos:

Potencia $_1$ = 8 watts. y

Potencia $_2$ = 4 watts.

$dB = 10 \times \log\ (8 / 4)$.

$= 10 \times \log(2)$

$= 10 \times 0.301$

= 3 [decibeles].

En el caso de unidades de voltaje y de presión la relación de dos cantidades en [db] se puede calcular mediante las siguientes expresiones.

$$dB[volts] = 20 \times \log (\text{voltaje 1} / \text{voltaje 2})$$

$$dB_{presión} = 20 \times \log (\text{presión 1} / \text{presión 2})$$

Podemos observar que se trata de la misma expresión, pero a diferencia de la de potencia el logaritmo se multiplica por 20 y no por 10, y de esta manera concluimos que en este caso una relación de 2 a 1 es de 6 db.

Esto se puede demostrar con el siguiente ejemplo:

Si el voltaje o presión 1 es 6 y el voltaje o presión 2 es 3:

$dB = 20 \times \log (6/3)$

$= 20 \times \log(2)$

$= 20 \times 0.301$

= 6 [decibeles].

Escalas en decibeles

Con la finalidad de hacer más sencillo el manejo de las cuantificaciones en audio se crearon distintas escalas en decibeles.

El manejo de los dB en cualquiera de sus escalas nos asegura un cierto valor en watts, volts o SPL *nivel de presión sonora* (posteriormente definido) cuando la lectura de dicha escala sea 0.

Las escalas más utilizadas son las siguientes:

- **dBm.** El dBm está relacionado con unidades eléctricas con 1 miliwatt como referencia, es decir:

0 dBm = 1 miliwatt (0.001 watt) rms.

En la escala dBm, cuando el medidor indica 0, significa que el aparato produce 0.001 watt de potencia.

La formula para calcular los dBm es la siguiente:

$$dBm = 10 \times \log (potencia / 0.001)$$

Si recordamos lo visto anteriormente podemos concluir que cuando el medidor llegue a + 3 dBm la potencia producida por el aparato será el doble de 0.001 watt o sea 0.002 watts, y por otro lado, cuando el medidor indique –3 dBm la potencia producida por el aparato será de 0.0005.

La escala dBm es muy utilizada en medidores de los diferentes equipos electrónicos que componen el sistema de audio.

- ***dBw.*** El dBw está relacionado con unidades eléctricas con 1 watt como referencia, es decir:

$$0\ dBw = 1\ watt\ rms.$$

El dBw se implementa para reducir valores en especificaciones de alta potencia, en esta escala cuando el medidor indica 0, significa que el aparato produce 1 watt de potencia. La formula para calcular los dBW es la siguiente:

$$dBw = 10 \times \log (potencia / 1).$$

- ***dBu*** El dBu está relacionado con unidades eléctricas con 0.775 volts como referencia, es decir:

$$0\ dBu = 0.775\ volts\ rms.$$

* V rms = 0.707 (del valor pico de la señal senoidal) = -3db.

La escala dBu es utilizada en medidores de voltaje, cuando el medidor indica 0, significa que el aparato produce 0.775 volts de salida. La formula para calcular los dBu es la siguiente:

$$dBu = 20 \times \log (voltaje / 0.775)$$

La escala dBu al igual que la escala dBm es utilizada en medidores de componentes electrónicos (como mezcladoras, ecualizadores, crossovers, etcétera).

- ***dBv*** El dBv está relacionado con unidades eléctricas con 1 volt como referencia, es decir:

$$0\ dBv = 1\ volt\ rms.$$

En la escala dBv, cuando el medidor indica 0, significa que el aparato produce 1 volt de salida. La fórmula para calcular los dbv es la siguiente:

$$dBv = 20 \times \log (\text{voltaje} /1)$$

- ***dB spl.*** A diferencia de las escalas anteriores (que miden señales eléctricas), la escala dB spl mide el nivel de presión de las ondas sonoras. La presión de las ondas sonoras se mide en Pascales o en Dinas, la presión de referencia es de 20 μPa , es decir:

$$0\ dBSPL = 20\ \mu Pa\ rms.$$

Esta escala es utilizada por los sonómetros para identificar el nivel de presión de un sonido. Esta escala también tiene que ver con la percepción del sistema auditivo, el cual tiene un una percepción que va de 0 dB spl a los 120 dB spl. La fórmula para obtener los dB spl es:

$$dBSPL = 20 \times \log (\text{presión}/20\mu)$$

1.2.2 SPL (Nivel de presión sonora).

PRESIÓN SONORA.

En primer lugar tenemos la presión atmosférica, es decir la presión del aire ambiental en ausencia de sonido. Se mide en una unidad del Sistema Internacional denominada Pascal (1 Pascal es igual a una fuerza de 1 newton actuando sobre una superficie de 1 metro cuadrado, y se abrevia 1[Pa]). Esta presión es de alrededor de 100,000 Pa (el valor normalizado es de 101,325 Pa).

A partir de lo anterior podemos definir la presión sonora como la diferencia entre la presión instantánea debida al sonido y la presión atmosférica, y naturalmente, también se mide en [Pa]. Sin embargo, la presión sonora tiene en general valores muchísimo menores que el correspondiente a la presión atmosférica. Por ejemplo, los sonidos más intensos que pueden soportarse sin experimentar un dolor auditivo agudo corresponden a unos 20 Pa, mientras que los apenas audibles están cerca de 20 µPa (micropascales), es decir una millonésima parte de un pascal

Otra diferencia importante es que la presión atmosférica cambia muy lentamente, mientras que la presión sonora lo hace muy rápido, alternando entre valores positivos (presión instantánea mayor que la atmosférica) y negativos (presión instantánea menor que la atmosférica) a razón de entre 20 y 20,000 veces por segundo (Hz).

NIVEL DE PRESIÓN SONORA

El hecho de que la relación entre la presión sonora del sonido más intenso (cuando la sensación de sonido pasa a ser de dolor auditivo) y la del sonido más débil sea de alrededor de 1,000,000 ha llevado a adoptar una escala comprimida denominada escala logarítmica. Llamando P ref (presión de referencia a la presión de un tono apenas audible (es decir 20 µPa) y P a la presión sonora, podemos definir el nivel de presión sonora (SPL ó NPS) Lp como

$$Lp = 20 \log (P / P_{ref})$$

Donde log significa el logaritmo (en base 10). La unidad utilizada para expresar el nivel de presión sonora es el decibel. El nivel de presión sonora de los sonidos audibles varía entre 0 dB y 120 dB. Los sonidos de más de 120 dB pueden causar daños auditivos inmediatos e irreversibles, además de ser bastante dolorosos para la mayoría de las personas.

1.2.3 Respuesta en frecuencia.

Las gráficas de respuesta en frecuencia (también llamadas respuesta de amplitud) son utilizadas para localizar variaciones en amplitud a lo largo de todo el espectro audible.

La correcta interpretación de estas graficas es de gran importancia ya que mediante ellas podemos determinar que tan “plano” es el comportamiento de un elemento de la cadena de audio, es decir la respuesta en frecuencia nos indica la relación que hay entre la señal de salida y la señal de entrada de un elemento del sistema o del sistema completo de sonorización en magnitud dentro del espectro de frecuencias.

Dentro del equipo de sonorización los amplificadores y algunos tipos de micrófonos de condensador son los que idealmente se busca que tengan una respuesta en frecuencia plana, en cambio los altavoces casi nunca tienen respuesta en frecuencia plana, mas bien tienen tolerancias dentro del rango de reproducción.

Cuando algunos equipos de procesamiento cambian el tono de la señal de entrada aún cuando los controles de ecualización se encuentran sin cambios, se dice que su respuesta en frecuencia no es “plana”.

Nota: Un sistema de sonorización conectado en cascada tiene la propiedad de que su respuesta en frecuencia es igual al producto de las respuestas individuales de los elementos en que viaja la señal.

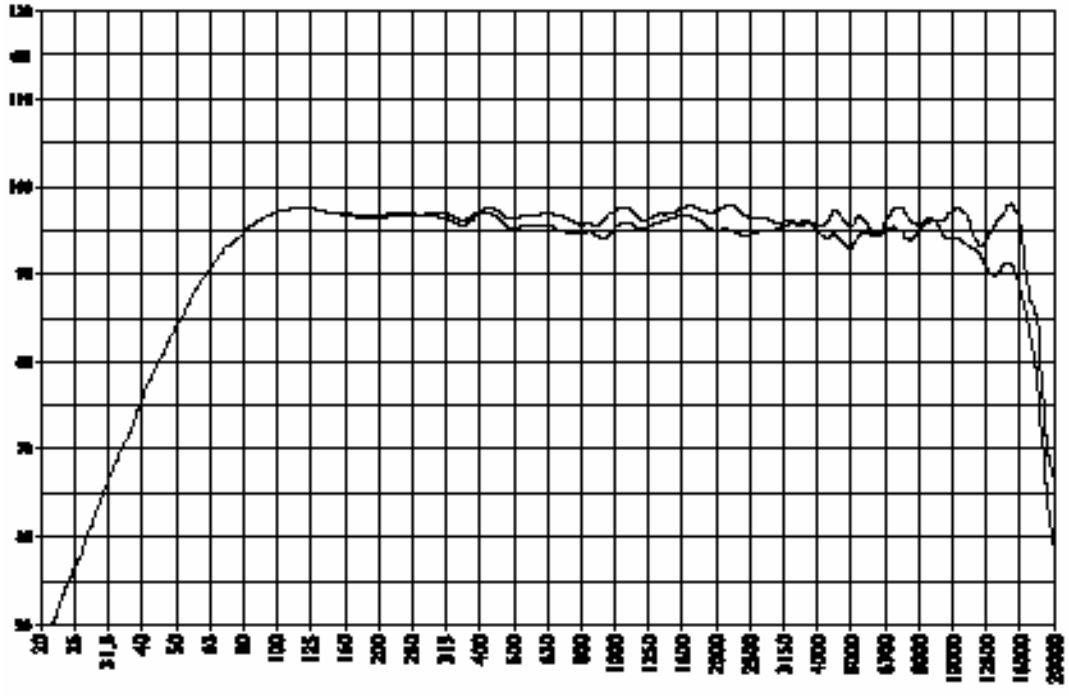


Figura 9. Respuesta en frecuencia de dos bocinas de la misma marca y modelo.

1.2.4 Feedback. (Retroalimentación).

El feedback es uno de los problemas mas importantes dentro de la industria de la sonorización ya que debido a su existencia, nos puede obligar a limitar en frecuencia y/o intensidad el audio reproducido por nuestro sistema sonoro.

El feedback, acople o la retroalimentación en sonorización en su forma mas básica ocurre cuando un sonido es captado por un micrófono, es amplificado, y emitido por un altavoz y este sonido nuevamente es captado por el micrófono, lo cual crea un sistema en lazo cerrado que nunca termina y se manifiesta emitiendo un sonido muy molesto al oído (ver figura 10).

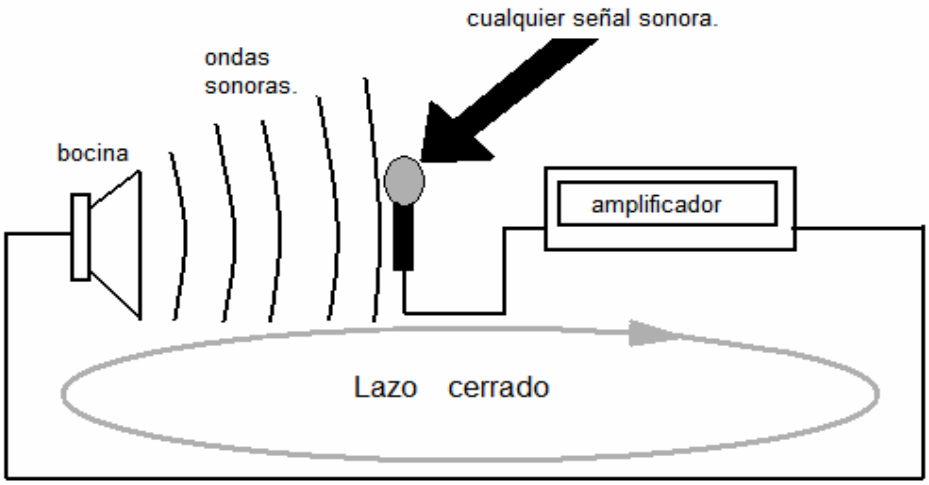


Figura 10. Feedback básico.

Se han dado muchas explicaciones y soluciones a dicho fenómeno, pero después de todo se puede concluir que el feedback es únicamente un problema de distancia, ni los micrófonos, ni los amplificadores, ni el altavoz, ni ningún elemento de la cadena de audio es el responsable de la retroalimentación.

Pero se podría pensar que si empleamos un altavoz direccional, el punto donde antes se presentaba un feedback ahora ya no lo hay y no es porque el altavoz lo haya corregido sino mas bien aumentamos una distancia (la de el micrófono al altavoz).

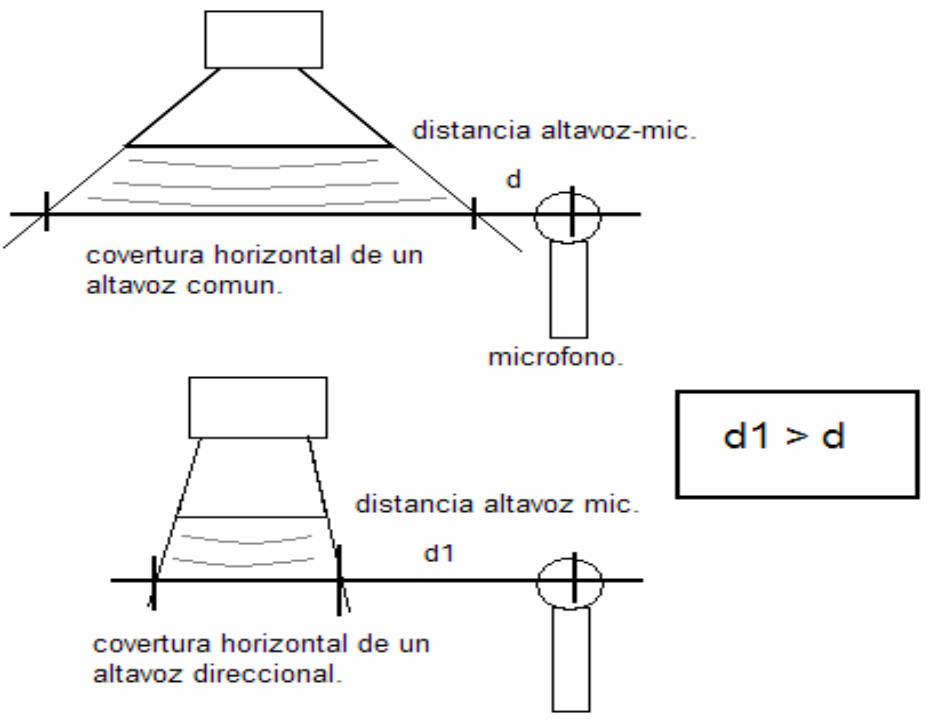


Figura 11. Distancia altavoz-micrófono.

1.2.5 Intervalo dinámico.

El intervalo dinámico es la diferencia en decibeles entre el nivel máximo y el nivel mínimo producido por un sistema de audio en un lapso de tiempo.

Por ejemplo si consideramos que nuestro sistema sonoro en un lapso de tiempo reproduce una señal cuyo valor máximo es de 122 db y un mínimo de 38 db (ver figura 12), tenemos como resultado:

Intervalo dinámico = nivel máximo – nivel mínimo

I.D = [122 db (spl)] – [38 db (spl)] = 84 **db**.

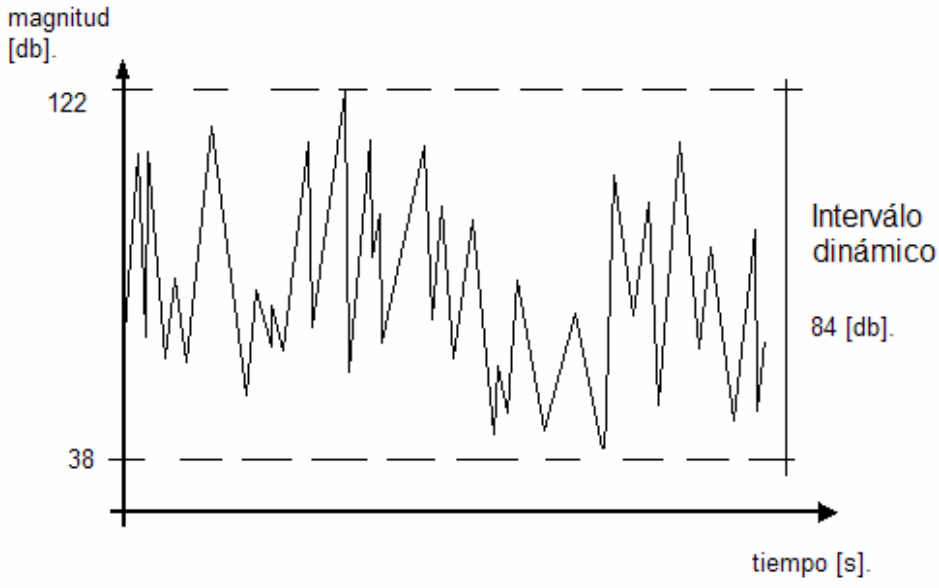


Figura 12. Señal con un intervalo dinámico de 84 [db].

1.2.6 Relación señal / ruido.

Se define como relación señal / ruido a la relación numérica que existe entre el nivel nominal (valor de operación óptimo de un equipo 20 decibeles antes de valor máximo de trabajo), y el ruido que contiene (señal no deseada que afecta y/o altera las cualidades de las señales tratadas).

1.2.7 HEADROOM (Reserva).

El headroom o reserva se define como la diferencia en db entre el nivel máximo de operación de un dispositivo del sistema de audio y el nivel en que se encuentra operando en un momento especifico.

Si asumimos que el ruido dentro del sistema se mantiene constante podemos concluir que cuando tenemos un sistema con poca reserva (trabajando muy cerca del limite de operación) tendremos un menor ruido de fondo, pero existe la posibilidad de distorsión en nuestro sistema sonoro. Mientras que en un sistema operando con gran reserva hay pocos posibilidades de distorsión pero existirá un mayor nivel de ruido.

Sabemos que las señales de audio no son constantes, mas bien cambian a cada momento por lo tanto el headroom se mantiene variable, pero en general se recomienda mantener 20 db de reserva.

Para asegurar un headroom adecuado en sonorizaciones es muy importante considerar las lecturas que muestran los medidores del equipo electrónico de nuestro sistema sonoro.

1.2.8 Consecuencias debido al tiempo de exposición a niveles de audio.

La exposición a altos niveles sonoros provoca daños al oído humano los cuales se pueden manifestar de manera temporal y en algunas ocasiones también de manera permanente.

Algunos de los daños más comunes son los siguientes:

- Otoscleorosis. Los huesos del oído interno se encuentra trabajando de manera incorrecta, este daño se puede corregir con cirugía.
- Tinnitus. Es cuando tenemos la sensación de escuchar altas frecuencias cuando en realidad no existen. Esto suele ocurrir al terminar un concierto y es indicador de que el oído a sido expuesto a niveles sonoros inapropiados. Dicho daño se puede presentar de manera temporal y permanente.
- Cholesteatoma. Se presenta cuando algunos de los huesos del oído interno crecen de manera anormal, pero si dicho problema es atendido de manera oportuna se puede corregir mediante cirugía.
- Recruitment. Se manifiesta de tal forma que nos parece percibir todos los sonidos con una intensidad mucho mayor a la que en realidad tiene.

Las principales organizaciones de salud recomiendan un nivel sonoro de 100 decibeles en los conciertos, pero esto difícilmente es respetado ya que dicho nivel es muy vulnerable a cualquier sonido exterior (aplausos, charla, estornudos etc), además de que dentro de un recinto; la atenuación del nivel sonoro en una zona especifica debido a la distancia y/o por cancelaciones acústicas provocaría insuficiencia sonora para el espectador.

A continuación se presenta la relación entre el nivel de presión sonora y el tiempo de exposición que se recomienda.

Nivel de Presión sonora [db]	Exposición máxima diaria. [hr]
85	16
90	8
92	6
95	4
97	3
100	2
102	1.5

105	1
110	0.5
115	0.25 o menos

1.2.9 Polarización y Nivel nominal.

- Polarización.

La polarización se refiere a tener en las condiciones eléctricas necesarias el equipo electrónico de la cadena de audio, para que éste funcione en el momento en que se le requiera. (Conectar a la toma de corriente, encender la fuente phantom en consolas para micrófonos de condensador, alimentar con baterías los micrófonos o sonómetros)

- Nivel nominal.

El nivel nominal de un equipo electrónico es el nivel en que tenemos 20 dB de reserva o headroom (20 decibeles de tolerancia antes de valor máximo de operación).

El valor nominal es el nivel en que nuestro equipo responde de manera óptima, minimizando la posible presencia de ruido y de saturación.

Se dice que un equipo está saturado cuando este sobrepasa su margen eléctrico de trabajo.

Por lo anterior, el nivel nominal es el que recomienda el fabricante para la operación de su equipo. En la mayoría del equipo de audio se identifica con el símbolo de 0db o con la letra U (ver figura 13).

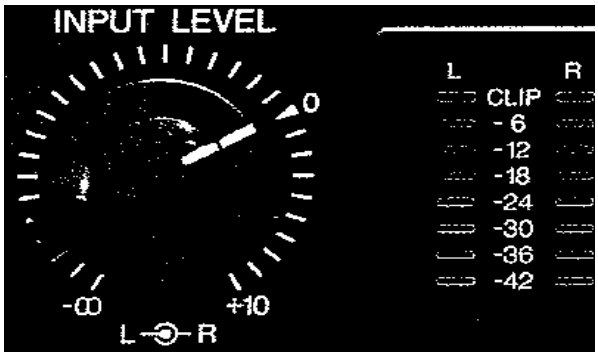
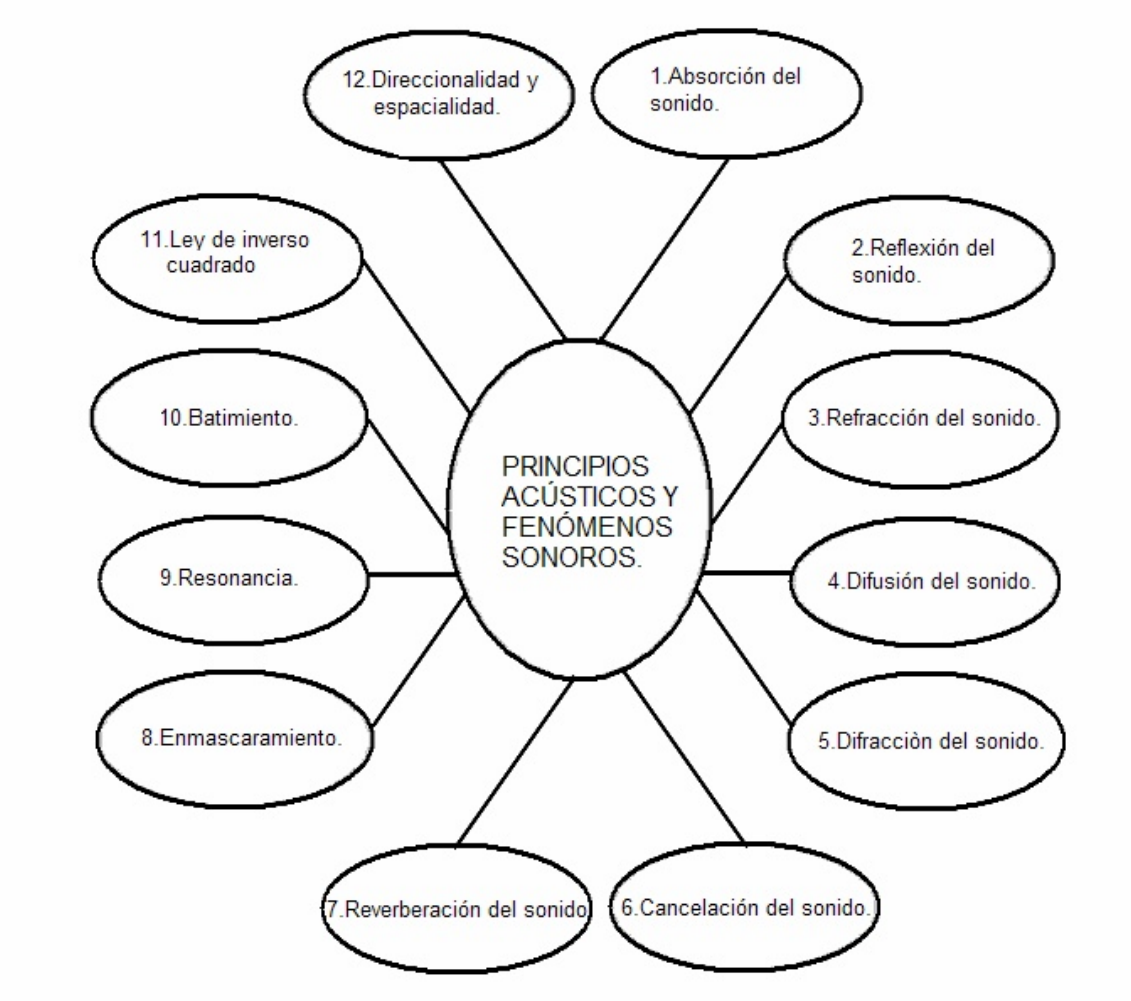


Figura 13. Potenciómetro colocado en su nivel nominal de trabajo.

2. Principios acústicos y fenómenos sonoros.



Cuando una pared, un lienzo u otro objeto se interpone al paso del sonido, la energía de este queda repartida en:

- Sonido que atraviesa la pared.
- Sonido reflejado.
- Sonido disipado.

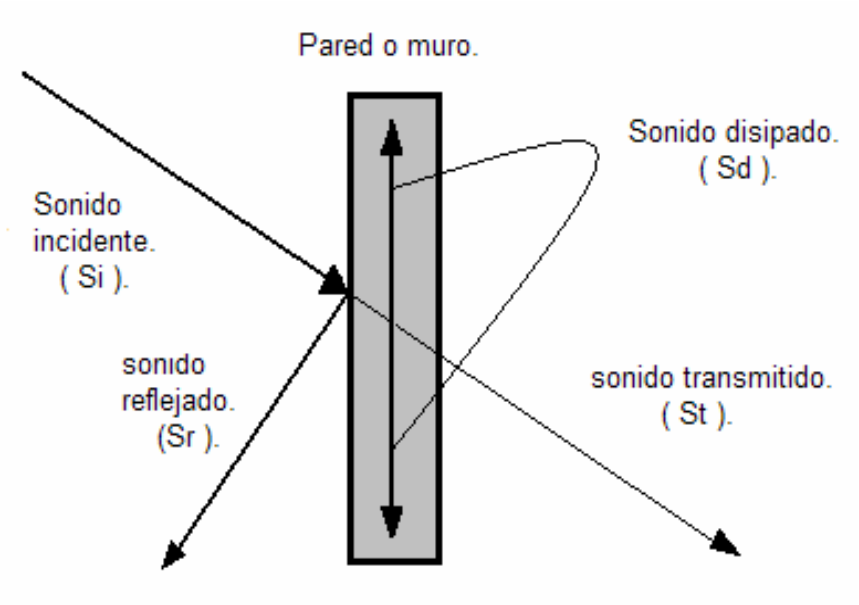


Figura 14. Descomposición del sonido incidente a una pared.

2.1 Absorción del sonido.

Todas las superficies de un recinto reflejan parcialmente el sonido que incide en ellas, pero el resto es absorbido.

Observando la Fig. 14. podemos decir que:

La absorción = a = St + Sd.
a = Sonido transmitido + sonido disipado.

Según el tipo de material o recubrimiento de una pared, esta podrá absorber más o menos energía debido a su coeficiente de absorción.

El coeficiente de absorción es definido como:

Coeficiente de absorción = α

Donde: α = (energía absorbida) / (energía incidente).

A continuación se muestra una tabla con algunos de los materiales más comunes en construcción, objetos y personas (también absorbentes) con su valor correspondiente α para diferentes frecuencias.

Material	Coeficiente de absorción α a la frecuencia					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Placa de yeso (Durlock) 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Parquet sobre listones	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07
Alfombra de goma 0,5 cm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Alfombra de lana 1,2 kg/m^2	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50	0,47
Alfombra de lana 2,3 kg/m^2	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63	0,83
Cortina 338 g/m^2	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina 475 g/m^2 fruncida al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m^3) 25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m^3) 50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m^3) 25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m^3) 50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04
Panel cielorraso Spanacustic (Manville) 19 mm	–	0,80	0,71	0,86	0,68	–
Panel cielorraso Acustidom (Manville) 4 mm	–	0,72	0,61	0,68	0,79	–
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4 mm	–	0,70	0,61	0,70	0,78	–
Panel cielorraso Profil (Manville) 4 mm	–	0,72	0,62	0,69	0,78	–
Panel cielorraso fisurado Auratone (USG) $^5/_8$"	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel cielorraso fisurado Cortega (AWI) $^5/_8$"	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74	0,77
Asiento de madera (0,8 m^2/asiento)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Asiento tapizado grueso (0,8 m^2/asiento)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Personas en asiento de madera (0,8 m^2/persona)	0,34	0,39	0,44	0,54	0,56	0,56
Personas en asiento tapizado (0,8 m^2/persona)	0,53	0,51	0,51	0,56	0,56	0,59
Personas de pie (0,8 m^2/persona)	0,25	0,44	0,59	0,56	0,62	0,50

Figura 15. Tabla de coeficientes de absorción.

2.2 Reflexión del sonido.

Si se interpone una superficie al avance de una onda sonora, ésta es reflejada según las leyes de la reflexión óptica.

Es decir los ángulos de incidencia (i) y de reflexión (r) serán iguales,"ley de snell" (ver figura 16).

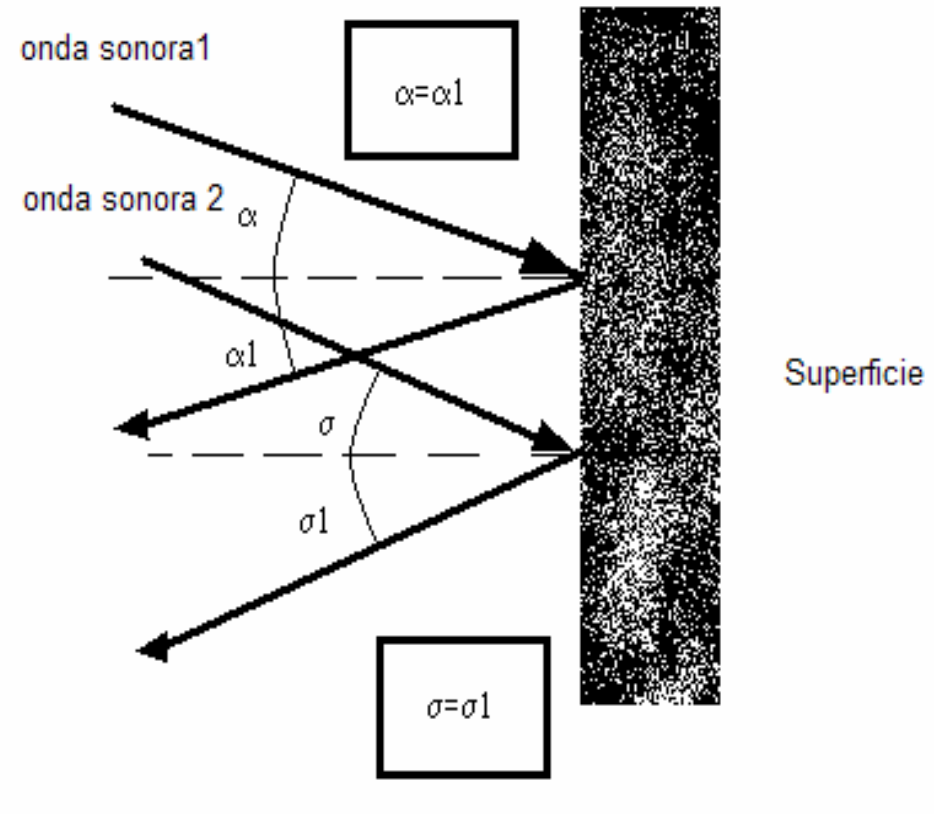


Figura 16. Reflexión del sonido en una superficie plana.

2.3 Refracción del sonido.

Recibe este nombre el cambio de dirección que sufre una onda cuando pasa de un medio a otro, este cambio de dirección es provocado por la variación de velocidad que sufre la onda.

La figura 17 muestra el cambio de dirección que sufre el sonido al pasar de un medio sólido denso a uno menos denso.

Nota: La velocidad del sonido en el medio menos denso es menor a la que se da en el más denso.

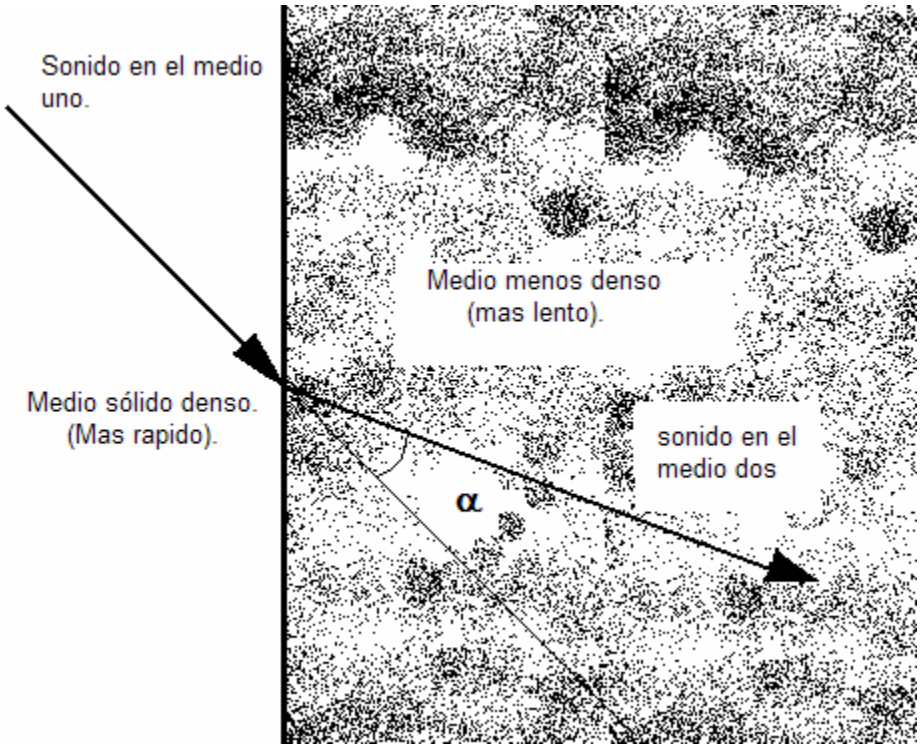


Figura 17. Refracción del sonido. (α = cambio de dirección).

2.4 Difusión del sonido.

La difusión es una particularidad que puede adoptar el sonido dentro de un recinto, esto ocurre cuando la arquitectura del lugar propicia reflexiones acústicas con diferentes direcciones a la de incidencia de manera aleatoria, y estas son interpretadas por el espectador de tal forma que se podría pensar que el sonido se origina desde muchos lugares y no desde la fuente real.

2.5 Difracción del sonido.

La difracción es una propiedad del sonido que consiste en rodear obstáculos, o propagarse por todo un ambiente a través de una abertura.

En el caso de rodear obstáculos (ver figura 18), los distintos frentes de onda se convierten en centros emisores en los puntos que son interceptados por el obstáculo, por lo que ciñen al mismo envolviéndolo; sobre todo si su tamaño es parecido o inferior al la longitud de onda del sonido en cuestión.

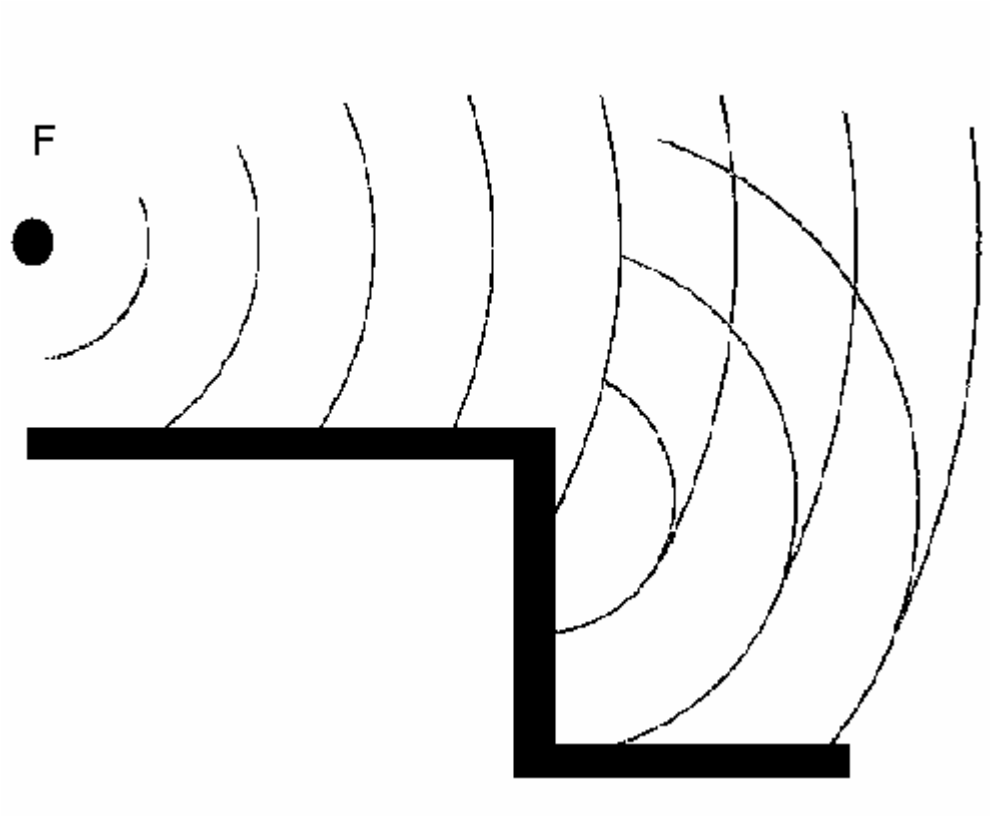


Figura 18.Difracción del sonido.

2.6 Cancelación acústica.

La cancelación acústica sin duda alguna es uno de los principales problemas que se da dentro de la industria de la sonorización y las principales formas en que se manifiesta dicho problema son:

- Una mala respuesta en frecuencia de nuestro sistema.
- Mala respuesta en fase.
- Falta de uniformidad sonora dentro del recinto.
- Menor reserva (headroom). Debido a que se necesitará aumentar el nivel de trabajo de nuestro sistema para lograr compensar las cancelaciones acústicas.
- Relación señal / ruido deficiente (debido al menor headroom).

Se puede resumir que la cancelación acústica entre dos señales se debe al retraso en tiempo entre ellas.

Las principales formas en que se puede crear este retraso son las siguientes:

- Electrónicamente. mediante un procesador delay (equipo electrónico retardador de señales).
- Acústicamente. Debido a reflexiones, laberintos acústicos en bafles etc.
- Físicamente. Debido a la diferencia de distancia entre las fuentes sonoras y el punto de estudio.

Así que sabiendo que el resultado en un punto específico, debido a la existencia de dos señales es la suma algebraica de ellas, podemos concluir que la cancelación más destructiva es cuando dichas señales se encuentran con un defasamiento de 180º o medio periodo (To/2) ya que la suma de ambas siempre será cero.

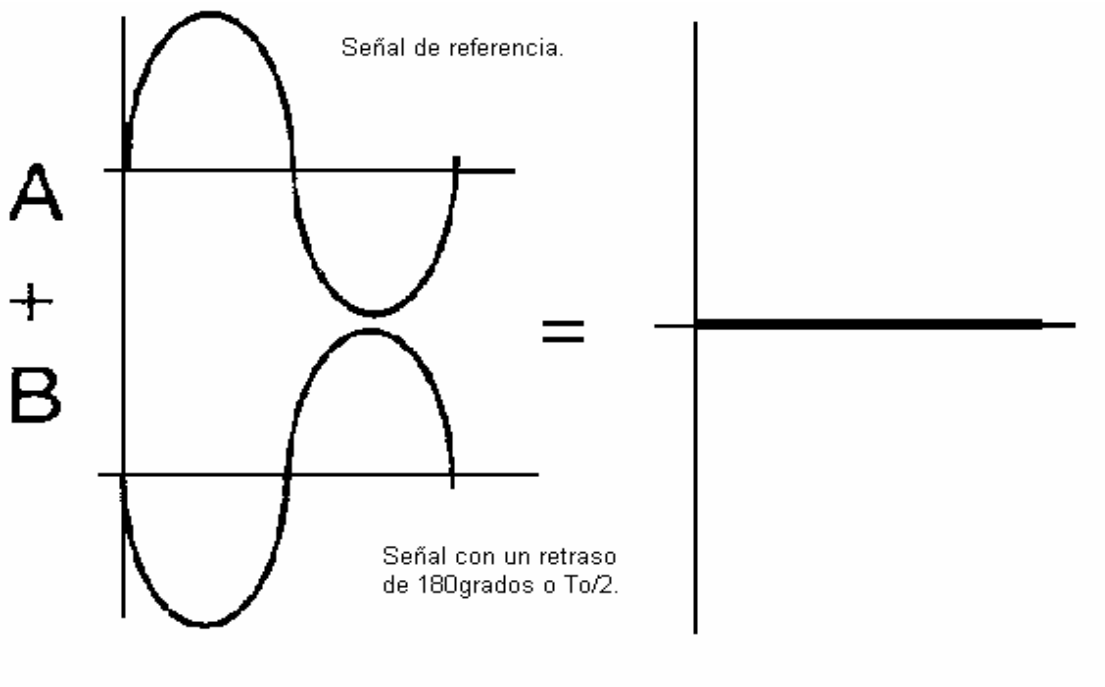


Figura 19. Cancelación acústica entre dos señales con un retrazo de 180º.

Así que si tenemos el tiempo de retraso podemos calcular la frecuencia de la primera cancelación máxima de la siguiente forma:

Si tenemos un tiempo de retardo de 0.001 s (1 milisegundo).
Podemos calcular la frecuencia cuyo periodo es ese:

f = 1 / To.
f = 1 / 0.001 seg.
f = 1,000 [Hz].

Pero para máxima cancelación necesitamos que esa frecuencia dé únicamente medio ciclo en ese tiempo (para que se defasen 180º ambas señales), así que la frecuencia de cancelación será la mitad:

$$fc = [\ (1 / ta)\ / 2\ ].$$ ta = tiempo de retardo.

Ej.
Si el tiempo de retardo es 1 [ms].tenemos:

$$fc = [\ (\ 1 / 0.001\ s) / 2\ ].$$

$$fc = 500\ [\ hz\ ].$$

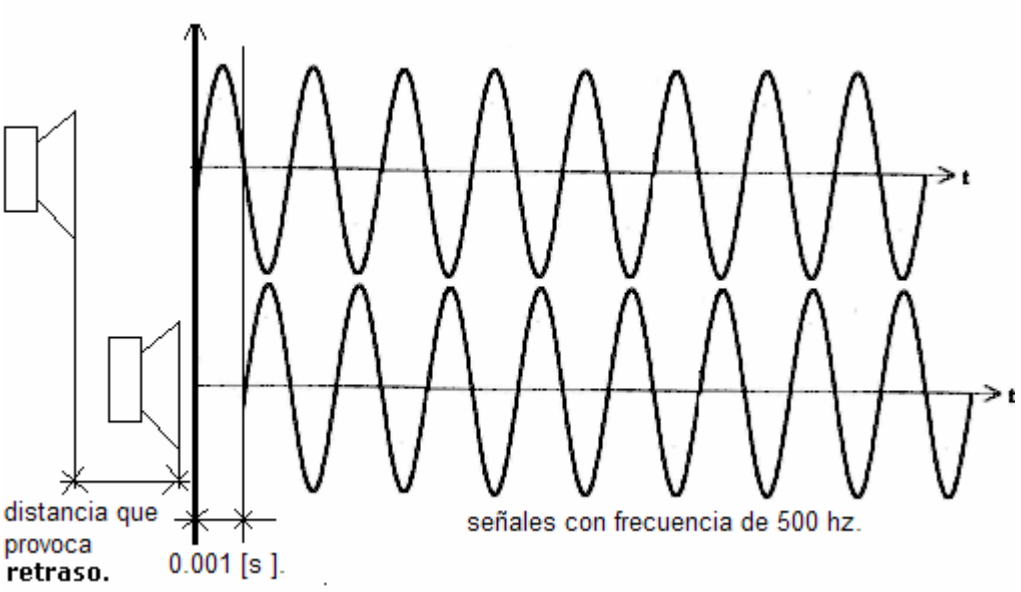


Figura 20. Diferencia de distancia que provoca cancelación máxima en 500hz.

2.7 Reverberación y su tiempo.

Como ya vimos la reflexión es una propiedad de las ondas sonoras, donde una parte de la energía se absorbe y otra es reflejada hacia otra dirección, que al encontrarse con otra superficie realiza lo mismo una y otra vez inclusive después de que ya no sea audible para el ser humano.

Al tiempo que toma en que el sonido caiga 60 db de su nivel original se le denomina tiempo de reverberación **T**.

Se ha elegido 60 dB porque con esa caída se tiene la sensación de que el sonido dejo de existir. En algunas publicaciones se suele representar también este valor mediante **RT60**.

El tiempo de reverberación depende de cuán absorbentes sean las superficies de la sala.

Así, si las paredes son muy reflectoras, se necesitan, muchas reflexiones para que se extinga el sonido, y entonces **T** será grande. Si, en cambio, son muy absorbentes, en cada reflexión el sonido será prácticamente inaudible, por lo cual **T** será pequeño. Dado que los materiales duros, como el azulejo son poco absorbentes del sonido, un ambiente con paredes de este tipo tendrá un tiempo de reverberación largo. Una sala cubierta con materiales absorbentes como cortinas, alfombras, etc. por el contrario tendrá un tiempo de reverberación corto.

La propiedad anteriores se puede expresar por medio de una fórmula, denominada fórmula de Sabine. Según dicha formula el tiempo de reverberación puede calcularse a partir de:

$$T = 0.161 \cdot \frac{V}{\alpha S}$$

Donde:

V es el volumen de la habitación en m^3 .
S es el área de la superficie interior total en m^2.
α es el coeficiente de absorción sonora.

Ejemplo: supóngase una sala rectangular de 4 m de ancho, por 6 m de largo y 3 m de alto.

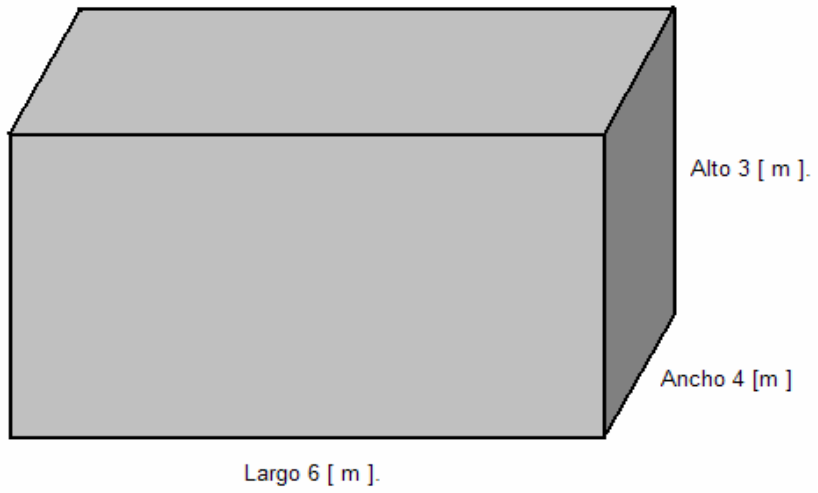


Figura 21. Dimensiones de sala.

$$S = 4\times3 + 4\times3 + 6\times3 + 6\times3 + 4\times6 + 4\times6 = 108\,\mathrm{m}^2$$

$$V = 4x3x6 = 72\ m^3$$

Si $\alpha = 0.1$ (las superficies absorben 10 % de la energía sonora incidente), resulta

$$T = 0.161 \cdot \frac{72}{0.1\times108} = 1.07\,\mathrm{s}$$

Debido a 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 son iguales. Si una sala tiene una parte S_1 de una superficie con coeficiente α_1, otra parte S_2 con coeficiente α_2, … y por último una parte S_n con coeficiente α_n, entonces la formula para calcula el tiempo de reverberación será la siguiente:

$$T = 0.161 \cdot \frac{V}{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + ... + \alpha_n S_n}$$

Por ejemplo, si en el caso anterior las paredes tienen α= 0.1, en tanto que el techo α= 0.6 y el piso tiene un α = 0.15, resulta

$$T = 0.161 \cdot \frac{72}{0.1\cdot60 + 0.6\cdot24 + 0.15\cdot24} = 0.48\,\mathrm{s}$$

*Se observa como mediante el uso de materiales absorbentes se reduce considerablemente el tiempo de reverberación.

2.8 Enmascaramiento.

Cuando en la audición simultánea de dos sonidos de distinta frecuencia, la intensidad de uno de ellos supera a la del otro en una cantidad suficiente, el más débil puede llegar a ser inaudible. Esta anulación por parte del más fuerte se denomina enmascaramiento. El sonido más fuerte será el enmascarante, mientras que el más débil se denomina enmascarado.

El enmascaramiento, no solo imposibilita al sonido más débil, sino que también dificulta la buena audición del más intenso y con esto el sonido puede llegar a ser desagradable para el oyente.

En la siguiente figura (fig 22) se muestra el efecto de enmascaramiento de un sonido enmascarante de 1.2 khz sobre ocho sonidos de diversas frecuencias.

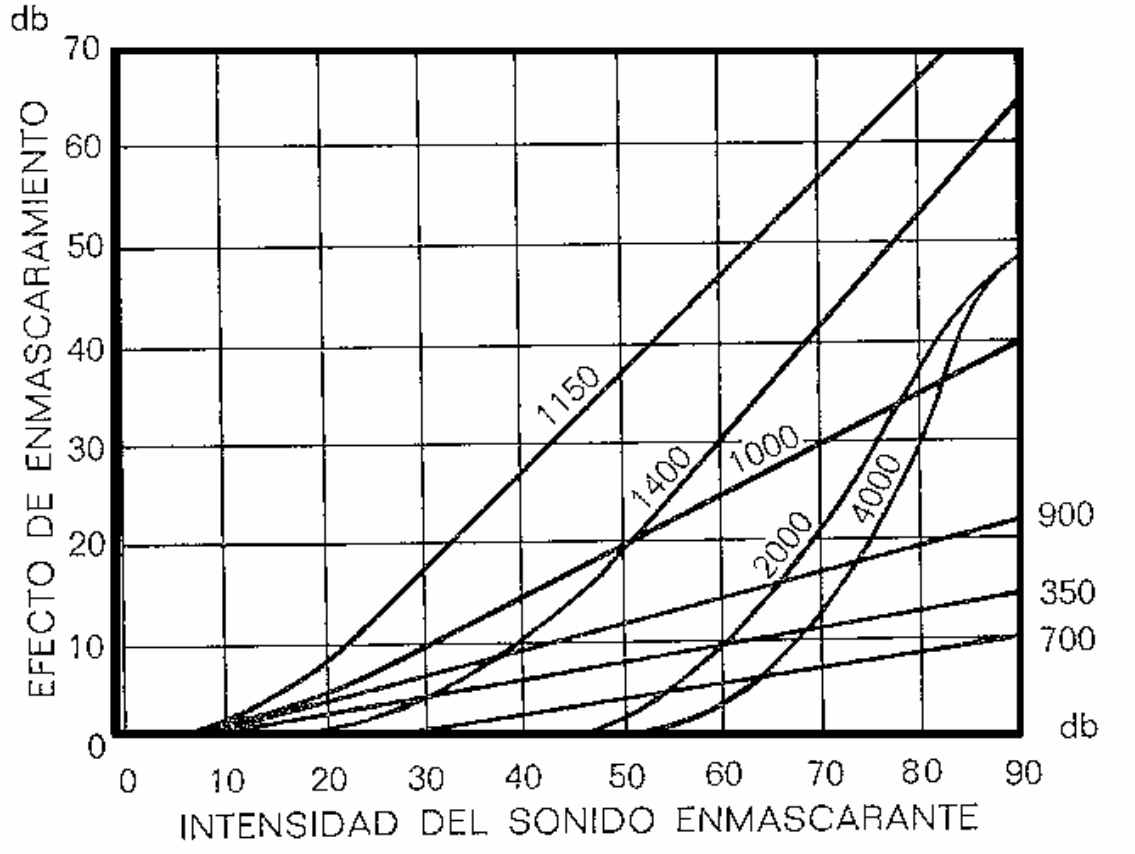


Figura 22. Efecto de enmascaramiento de un sonido enmascarante de 1200 hz sobre ocho sonidos de diferentes frecuencias.

Como es natural, el enmascaramiento crece con el aumento del nivel sonoro enmascarante, pero sin seguir ninguna ley.

Como puede observarse, de los ocho sonidos enmascarados el que sufre un máximo efecto de enmascaramiento es el de 1150 hz, que es precisamente el de la frecuencia mas próxima a la del sonido enmascarante, que se ha supuesto de 1,200 hz. Podemos asegurar que el enmascaramiento se enfatiza especialmente cuando las frecuencias de los sonidos que intervienen son parecidas.

Las principales causas del enmascaramiento son los ecos y el exceso de reverberación, los ruidos, tanto exteriores (debidos al mal aislamiento) como interiores, y los efectos electroacústicos, tanto de los dispositivos como por instalaciones incorrectas.

Una interesante aplicación del enmascaramiento es la compresión de audio digital, ya que se basa en reducir la cantidad de espacio requerido para almacenar un tiempo dado de música.

La técnica se basa en aprovechar que demasiada información que aparece en una grabación de alta calidad no aporta nada a la audición, ya que es enmascarada por otros tonos presentes, de modo que puede eliminarse y con esto lograr ahorro de espacio. Esta idea se aplica en los DCC (digital Compact Cassette, o cassette compacto digital) y en los MD (Minidisc), así como en el formato comprimido MP3 usado en Internet.

2.9 Resonancia.

La resonancia se define básicamente como la coincidencia de frecuencias entre los estados de vibración de dos o más elementos.

Todo cuerpo capaz de vibrar, lo hace siempre con la misma frecuencia.
La vibración podrá ser mas o menos intensa, según el estimulo recibido, pero la frecuencia es invariable.
Cuando dos cuerpos de frecuencia común se influyen, se dice que están en resonancia.

Este principio se manifiesta dentro de los sistemas de refuerzo sonoro ya sea en los instrumentos (fuentes de audio), bafles, recintos, circuitos eléctricos, etc.

Las resonancias, como aquellas que son un resultado natural de las dimensiones de un cuarto, pueden presentar un obstáculo para la efectividad y alta calidad de un sistema de sonorización ya que puede alterar la salida del sistema.

Nota: La resonancia es de vital importancia para un buen acoplamiento entre cajas acústicas y bocinas.

2.10 Batimiento.

Se define como batimiento a la fluctuación periódica de amplitud que se genera por la presencia de dos sonidos con frecuencias similares.

Por ejemplo:

Consideremos dos señales superpuestas, una cuya frecuencia es 1 khz y la otra de 1.1 khz, y ambas con la misma amplitud.

Partiendo del tiempo inicial sabemos que las señales se encontraran en fase, y como consecuencia la amplitud será duplicada (ver figura 23).

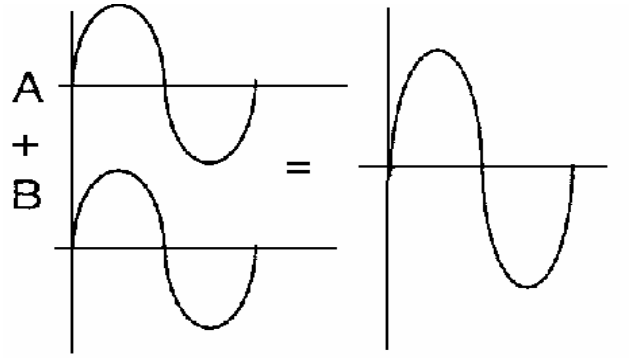


Figura 23. Suma de dos ondas con la misma fase.

Conforme transcurre el tiempo debido a la diferencia de frecuencias, las dos señales se van defasando poco apoco hasta que en un instante quedaran completamente defasadas (180º), lo que provoca que la suma algebraica nos dé cómo resultado cero (ver figura 24).

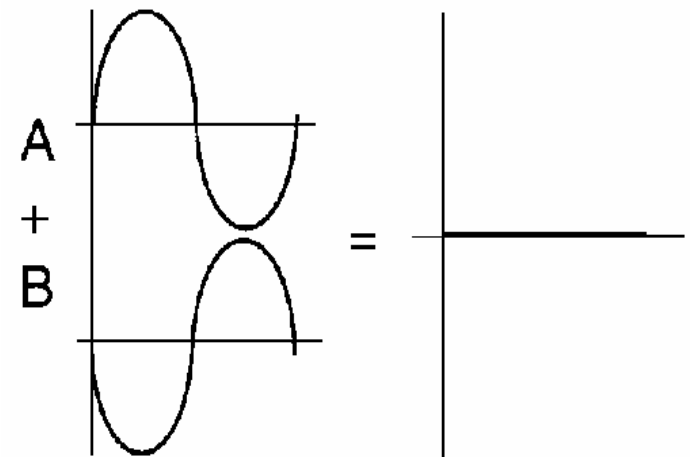


Figura 24. Suma de dos ondas con fase invertida.

De igual manera después de un lapso de tiempo las señales vuelven a encontrarse en fase y después defasadas (de tal forma que se crea un sonido modulado por una envolvente de forma periódica cada 10 ms).

Es decir si se superponen o suman dos sonidos de frecuencias f1 y f2 (f1 mayor que f2) entonces aparecen pulsaciones de frecuencia f1 – f2.

En este caso:

1,100 [hz] – 1,000 [hz] = 100 [hz].

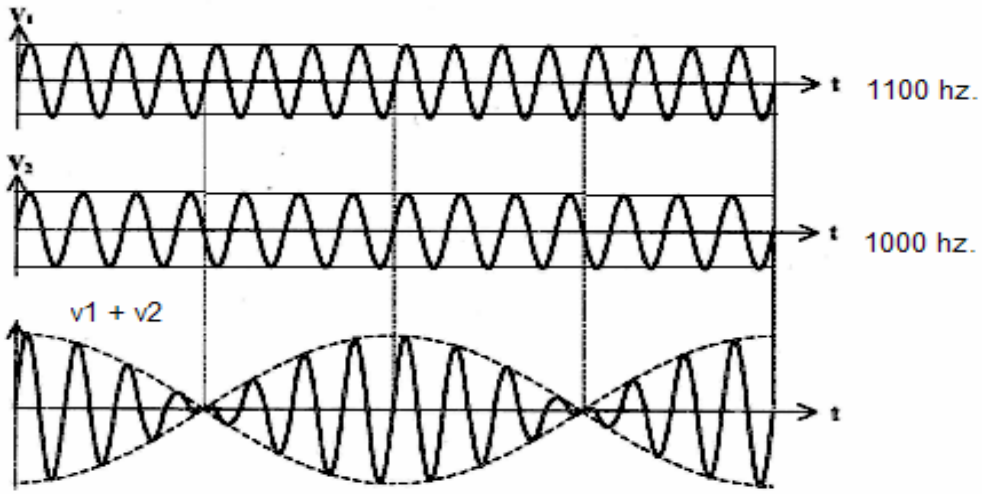


Figura 25. Batimiento entre dos tonos. 1.1 khz y 1 khz durante un intervalo de 0 a 20 ms

2.11 Relación entre SPL y la distancia. (Ley del inverso cuadrado).

La ley del inverso cuadrado nos dice que si consideramos condiciones de campo libre (donde no existe ningún elemento reflector de sonido) y considerando que la fuente sonora es omnidireccional, el nivel de presión sonora (SPL) varía en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente y el punto en cuestión.

Es decir cada vez que la distancia es duplicada el nivel de presión sonora decaerá 6 db (ver figura 26).

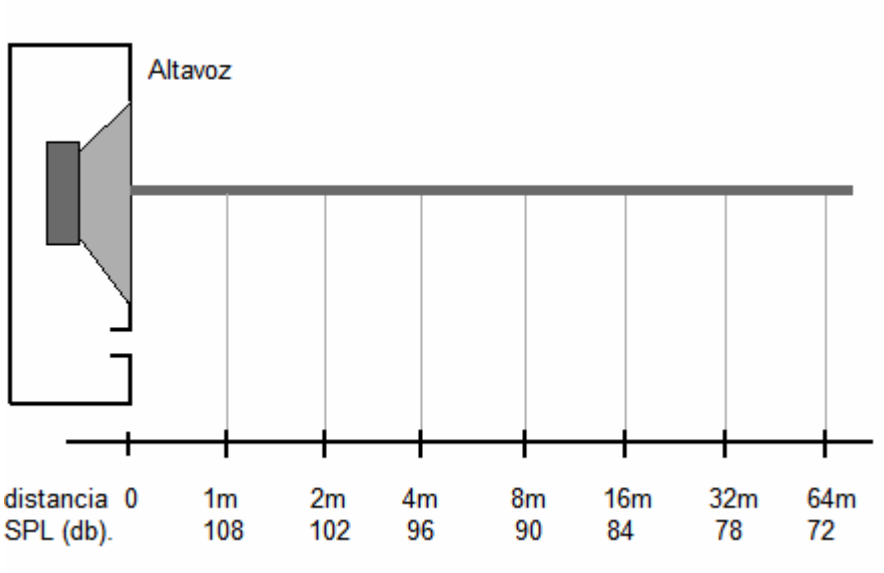


Figura 26. Relación entre SPL y la distancia.

2.12 Direccionalidad y Espacialidad.

Direccionalidad.

La direccionalidad se define como la capacidad para poder determinar la localización física de donde se genera el sonido que percibimos, lo cual es provocado por las pequeñas diferencias de tiempo en que llega el sonido a nuestro oído derecho e izquierdo.

Por ejemplo si una fuente sonora se encuentra a la izquierda de nosotros llegará primero a nuestro oído izquierdo y posteriormente al oído derecho, y esta diferencia la interpretamos como que el objeto está a la izquierda de nosotros (ver figura 27).

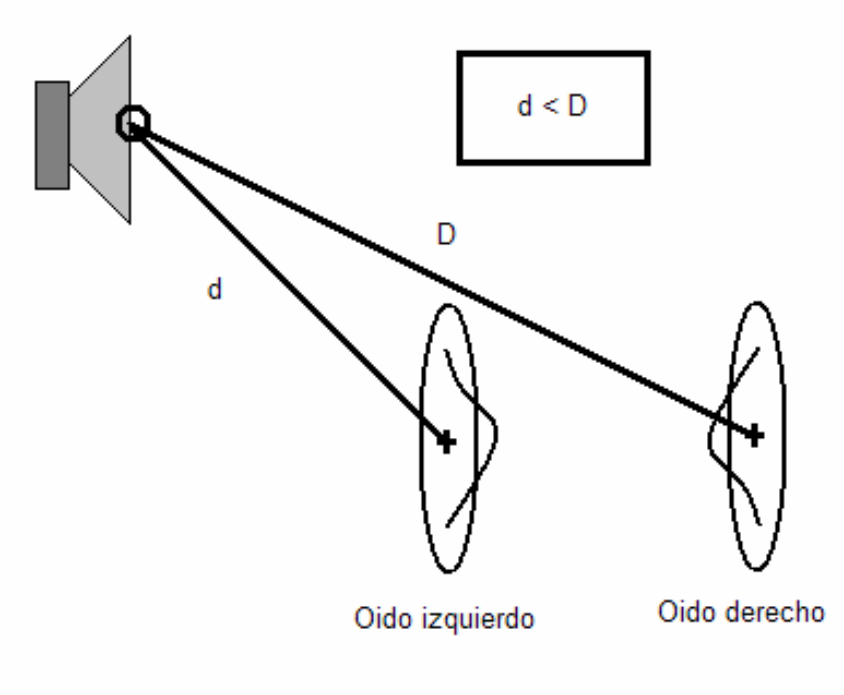
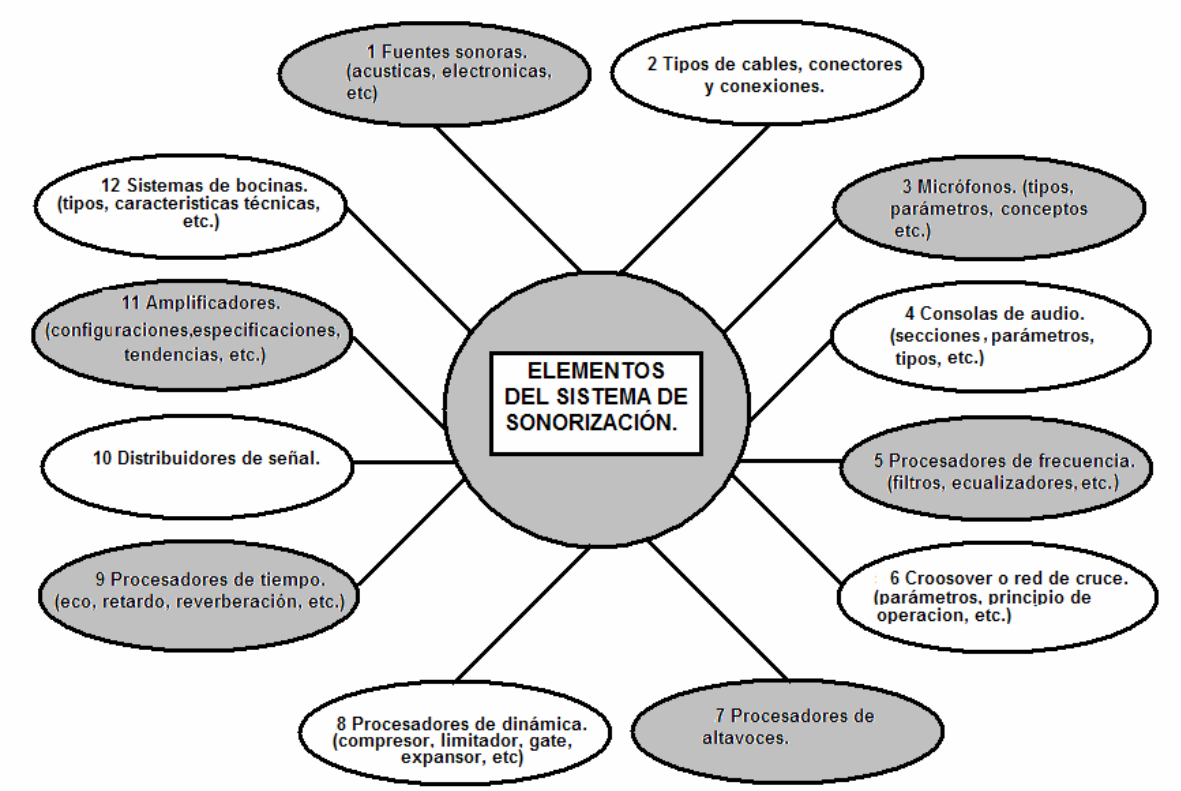


Figura 27. Diferencia de distancias.

Espacialidad.

La espacialidad es la capacidad del oído que nos permite tener una idea aproximada del ambiente en que se está propagando el sonido; por ejemplo las dimensiones del lugar.
Esto es provocado por los distintos niveles de presión sonora que percibimos en ambos oídos.

3. Elementos del sistema de sonorización para música en vivo.



A lo largo de este anexo se estudian los elementos que conforman los sistemas de sonorización para música en vivo; lo cual tendrá como objetivo recaudar los conocimientos generales (principio de funcionamiento, tipos, parámetros, operación, fenómenos etc.) que nos permitan formar un criterio para el mayor aprovechamiento de los recursos disponibles.

3.1 Fuentes sonoras.

Partiendo de que durante la tesis nos encargaremos de fuentes musicales, es muy importante conocer las frecuencias fundamentales y los armónicos de los instrumentos mas comunes dentro de la música, es decir para el caso de tratamiento musical lo ideal es conocer de la manera más precisa el rango de frecuencias en que el instrumento a tratar se desarrolla, y es por eso que a continuación se muestra una tabla con dicha información de fuentes comúnmente utilizadas para música en vivo.

FUENTE SONORA.	FRECUENCIA FUND.	ARMÓNICOS.
Bombo.	30 – 147 hz	1 – 6 khz
Tarola.	100 – 200 hz	1 – 20 khz
Platillos.	300 – 587 hz	1 – 15 khz
Piano.	27 – 4196 hz	5 – 8 khz
Bajo eléctrico.	41 – 300 hz	1 – 7 khz
Contrabajo	41 – 294 hz	1 – 5 khz
Chelo.	65 – 698 hz	1 – 6.5 khz
Viola.	131 – 1175 hz	2 – 8.5 khz
Violín.	196 – 3136 hz	4 – 15 khz
Guitarra eléctrica (amp)	82 – 1319 hz	1 – 3.5 khz
Guitarra eléctrica (dir)	82 – 1319 hz	1 – 15 khz
Guitarra acústica.	82 – 988 hz	1 – 15 khz
Tuba.	49 – 587 hz	1 – 4 khz
Trombón.	73 – 587 hz	1 – 7.5 khz
Corno francés.	87 – 880 hz	1 – 6 khz
Trompeta.	165 – 988 hz	1 – 7.5 khz
Fagot	62 – 587 hz	1 – 7 khz
Clarinete.	165 – 1568 hz	2 – 10 khz
Oboe.	261 – 1568 hz	2 – 12 khz
Flauta.	261 – 2349 hz	3 – 8 khz
Voz bajo.	87 – 392 hz	1 – 12 khz
Voz tenor.	131 – 494 hz	1 – 12 khz
Voz alto.	175 – 698 hz	2 – 12 khz
Voz soprano.	247 – 1175 hz	2 – 12khz

3.2 Tipos de cables, conectores y conexiones.

Dentro de la sonorización es de gran importancia considerar la calidad de los cables utilizados en la instalación del equipo electrónico, así como también conocer los tipos de conectores y conexiones empleados dentro de los sistemas.

Por ejemplo, las señales eléctricas producidas por un micrófono, se encuentran en un promedio de -60 db (low level), lo que significa ser una señal muy sensible a interferencias, tanto eléctricas como electromagnéticas (ya que cualquier ruido es considerable con respecto a la amplitud de las señales de audio), además de que se presentan perdidas importantes cuando se emplean grandes longitudes de cable.

Por fortuna, el mercado hoy en día nos ofrece una gran variedad de cables de excelente calidad en diferentes marcas, con especificaciones que nos garantizan el

manejo de nuestras señales con el menor deterioro posible. Sin embargo, el costo puede representar un obstáculo en los proyectos.

Esto se puede evitar utilizando el tipo de cable para cada aplicación específica, y no considerar un solo modelo para toda la instalación.

3.2.1 Cables con blindaje (low level o line level).

El blindaje en cables de micrófono (low level) y de nivel de línea (line level) es esencial en la mayoría de las aplicaciones, el propósito del blindaje es conducir los campos electrostáticos, hacia tierra, de tal forma que las cargas espúreas no entren a los conductores portadores de la señal de audio. En el caso de un cable desbalanceado (posteriormente definido), el blindaje también sirve como camino de retorno de la señal.

Los tres tipos de blindaje empleados en audio son los siguientes:

- Blindaje laminado.
- Blindaje trenzado.
- Blindaje en espiral.

3.2.1.1 Blindaje laminado. Este blindaje se basa en una lamina metálica que cubre al conductor proporcionándole un 100% de blindaje, pero es recomendado únicamente para instalaciones fijas, ya que al doblarse puede ser fracturado y esto permite el ingreso de ruido estático (ver figura 28).

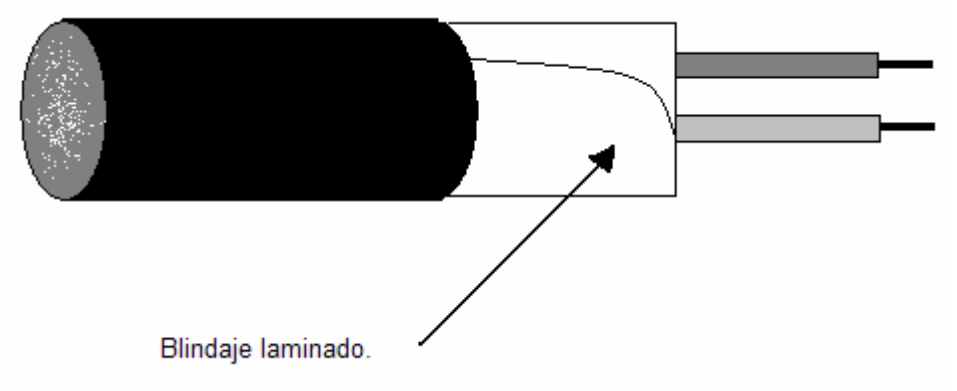


Figura 28. Blindaje laminado.

3.2.1.2 Blindaje trenzado.

Se basa en una malla tejida que proporciona un buen blindaje y su rechazo a interferencia no es malo, además de que es la mejor opción para ser empleado en sistema se sonorización que requieren constantemente la manipulación de las conexiones ya que difícilmente se fractura (ver figura 29).

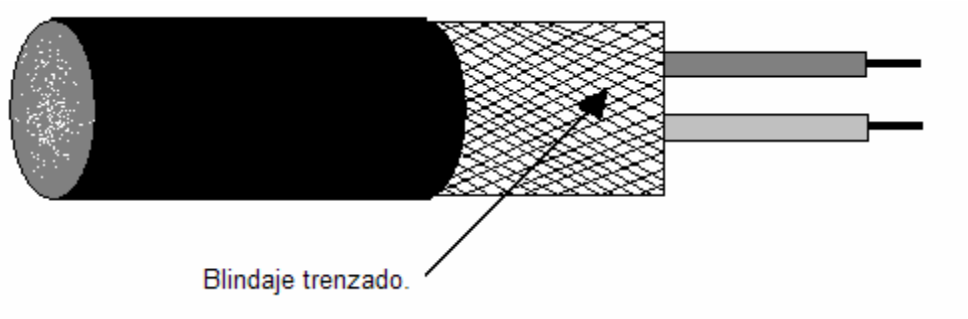


Figura 29. Blindaje trenzado.

3.2.1.3 Blindaje en espiral.

Dicho blindaje se basa en “hilos” enrollados a lo largo del conductor formando una espiral. Tiene el mismo nivel de blindaje que el de trenzado, pero tiene el inconveniente de que con el paso del tiempo y el constante movimiento pueden separarse entre si los hilos (ver figura 30).

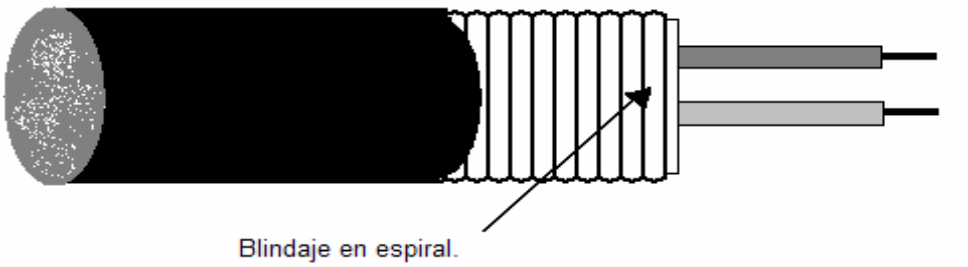


Figura 30. Blindaje en espiral.

3.2.2 Capacitancia en los cables.

Como vimos anteriormente el blindaje en los cables nos da la ventaja de evitar la presencia de ruido electrostático y con esto logramos poder utilizar cables de mayores longitudes, pero esto también trae un aspecto negativo; se incrementa la capacitancia distribuida a lo largo del cable entre los conductores portadores de las señales de audio.

Asumiendo que un cable tiene una resistencia finita, la combinación de la capacitancia mas la resistencia forman un filtro paso bajas.

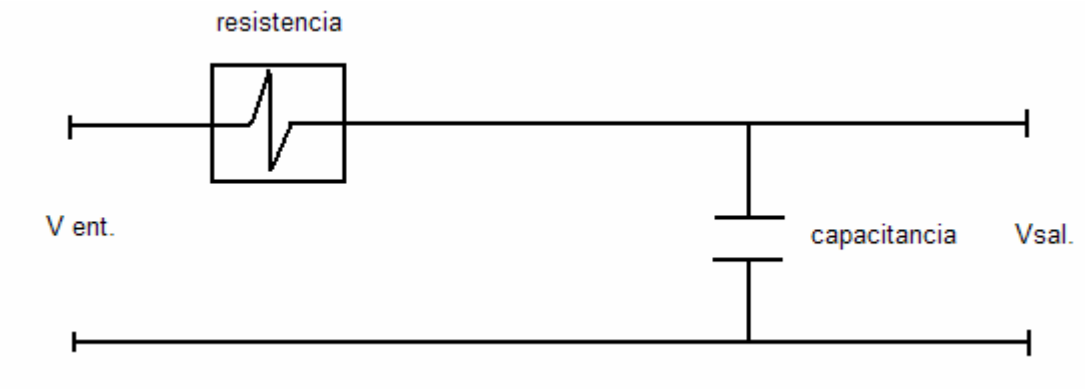


Figura 31. Representación del filtro paso bajas en un cable blindado.

Finalmente la fórmula con que podemos determinar la frecuencia de corte del filtro paso bajas se muestra a continuación:

$$f_0 = \frac{1}{2pRC}$$

Donde: fo – frecuencia de corte (la amplitud cae 3 db).

Π = 3.1416

R – resistencia del cable [Ω].

C – capacitancia del cable [F].

De la ecuación anterior podemos afirmar que al aumentar la capacitancia o la resistencia la frecuencia de corte disminuye.

3.2.3 Cables sin blindaje (cables para alto nivel. (*high level)).*

Estos cables son los destinados a manejar señales altas (high level) en general utilizados para conectar los amplificadores de potencia con los altavoces.

Esta aplicación se fundamenta en que los ruidos electromagnéticos se pueden considerar despreciables con respecto a la magnitud de las señales de audio con que se trabaja en esta parte del sistema de sonorización.

Las especificaciones de estos cables deben ser muy distintas a los cables para niveles bajos o de línea ya que deben soportar grandes niveles de potencia, y en cuanto al problema de la capacitancia es mucho menos preocupante debido a que la impedancia del circuito es mucho menor.

Una consideración que toma gran importancia es la ***inductancia*** ya que los campos magnéticos generados en un conductor son proporcionales a la corriente, lo cual puede provocar en nuestros sistemas la perdida de frecuencias bajas.

***Nota.** Si se tuercen los cables que van entre los amplificadores y los altavoces se incrementa la inductancia (provocando los problemas descritos).

A continuación se muestra una tabla donde podemos ver distintas longitudes de cables, tres calibres distintos y sus respectivas perdidas de potencia a 8 y 4 ohms.

Mediante esta tabla podemos determinar la mejor opción del cable a utilizar bajo las condiciones de trabajo en que nos encontremos.

Longitud del cable	Calibre AWG Utilizando cable de cobre	Pérdida de potencia a 8 ohms	Pérdida de potencia a 4 ohms
1.5 m.	16	0.51 %	1.02 %
	14	0.32 %	0.64 %
	12	0.20 %	0.40 %
3 m.	16	1.02 %	2.00 %
	14	0.64 %	1.28 %
	12	0.40 %	0.80 %
12 m.	16	4.00 %	7.70 %
	14	2.50 %	5.00 %

	12	1.60 %	3.20 %
24 m.	16	7.70 %	14.60 %
	14	5.00 %	9.60 %
	12	3.20 %	6.20 %

3.2.4 Cables para audio digital.

Este tipo de cable tiene como propósito conectar equipos electrónicos de audio (por ejemplo un reproductor de CD a un convertidor D/A) en el dominio digital.

Básicamente existen 3 tipos:

- Coaxial digital.
- AES / EBU.
- Fibra óptica.

3.2.4.1 Coaxial Digital

Este cable cuenta con un conductor central especialmente diseñado para señales del dominio digital, doble blindaje en base a una malla de cobre y una hoja de aluminio, un dieléctrico que garantiza 75 Ω de impedancia característica entre el conductor central y blindaje. Este es el cable más recomendable para señales digitales.

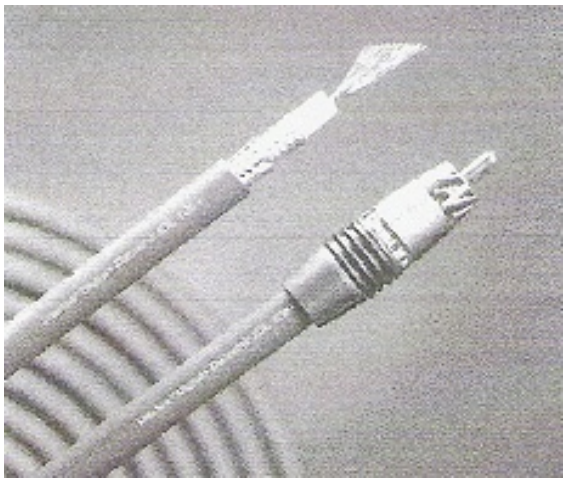


Figura 32. Cable coaxial digital.

3.2.4.2 AES/EBU

Este es el cable de construcción balanceada para señales digitales. Es particularmente utilizado en equipo de tipo profesional como consolas digitales o grabadoras DAT.

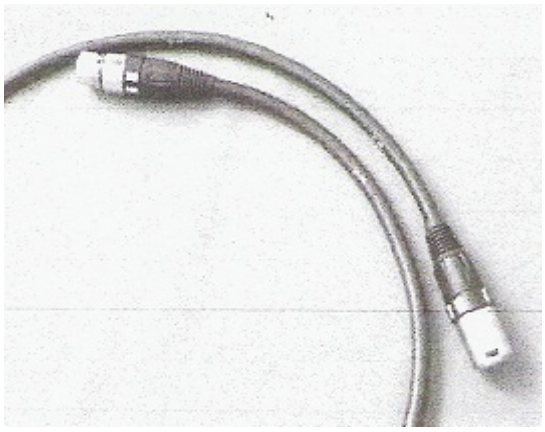


Figura 33. Cable AES / EBU.

3.2.4.3 Fibra Óptica

Aunque en realidad no es un cable se usa como interconexión digital, en el mercado encontramos fibras de plástico con conectores Tos link (ToshibaSonyLink). La fibra óptica es la manera más común de conectar componentes digitales, aunque tiene la desventaja de que son muy delicadas, pueden llegar a dañarse si se doblan o se tuercen. Además debido a que sus conectores sólo entran a presión, tienden a ser pocos seguros. No obstante lo anterior, los cables de fibra óptica tienen la misma resolución que los cables digitales coaxiales.



Figura 34. Cable de fibra óptica.

3.2.5 Conectores en sistemas de sonorización.

Para lograr conectar los equipos de los sistemas de sonorización mediante los cables mencionados anteriormente es necesario emplear las terminales o conectores adecuados en cada extremo.

Los principales tipos de conectores empleados dentro de la sonorización se describen a continuación.

3.2.5.1 Conector RCA / Mono.

Este tipo de conector básicamente es empleado en fuentes sonoras electrónicas como son: reproductores de CD, tornamesas, deck, DAT.

Manejan señal de nivel de línea (line level) y conduce señales desbalanceadas (posteriormente descritas).

El principal problema de este tipo de conector es que en sistemas fijos, con el paso del tiempo suele darse corrosión en el punto de conexión lo que llega a generar una alta resistencia. Para evitar dicho problema se recomienda dar mantenimiento preventivo a los conectores, o si es posible utilizar conectores chapeados en oro.

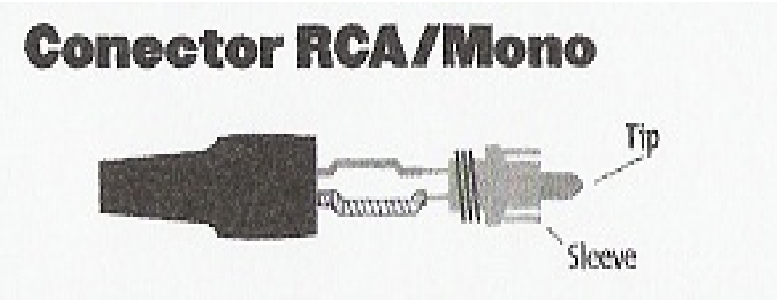


Figura 35. Conector RCA / Mono.

3.2.5.2 Conector plug (Estereo y Mono).

Este tipo de conector puede ser empleado en elementos que trabajan con señales de línea (line level) por ejemplo bajo eléctrico, teclados etc y nivel de señal alto (high level) por ejemplo en amplificadores y altavoces.

Existen dos opciones dentro de los conectores plug:

TS (Tip – Sleeve). Este conector es conocido también como plug mono. Es empleado para transmitir señales monoaurales / no – balanceadas.

Tip. Lleva la señal positiva.

Sleeve. Va conectado a tierra.

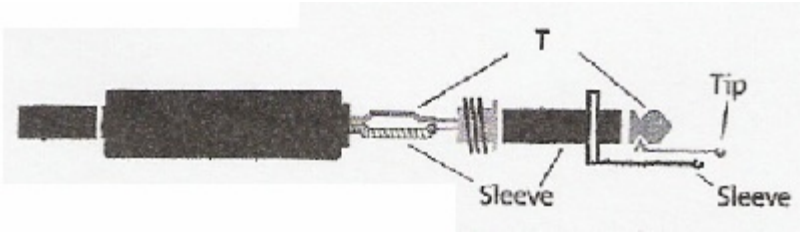


Figura 36. Conector plug TS.

TRS (Tip – Sleeve – Ring). Este conector es conocido también como plug stereo. Es empleado para transmitir señales estereofónicas / balanceadas.

Tip. Puede llevar la señal positiva o la señal negativa.

Ring. Lleva la señal inversa a Tip (señal positiva o negativa).

Sleeve. Va conectado a tierra.

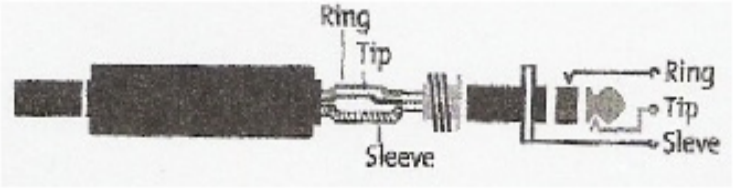


Figura 37. Conector plug TRS.

3.2.5.3 Conector XLR.

Este conector es también conocido como conector cannon, puede ser empleado para señales de línea, low level o también para señal de nivel alto high level).

Este conector esta hecho para trabajar con señales balanceadas (señal positiva, señal negativa y tierra) está compuesto por tres pines numerados (pin 1, pin 2, pin 3).

El pin 1 siempre va conectado a tierra.

El pin 2 puede llevar la señal positiva o negativa.

El pin 3 lleva la señal inversa al pin 2 (señal positiva o negativa).

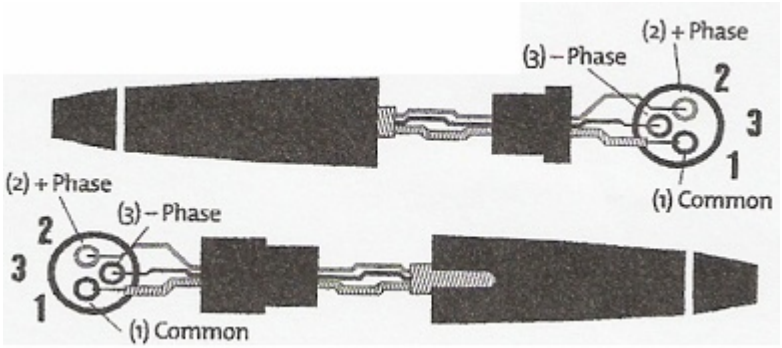


Figura 38. Conector XLR o Cannon.

3.2.5.4. Conector Banana.

Este conector esta compuesto por dos terminales o pines, y es utilizado para transmitir señales altas (high level).

La gran mayoría de las veces es utilizado para conectar a los amplificadores los altavoces.

La banana tiene la opción de poder conectar una sobre otra (ver figura 39).

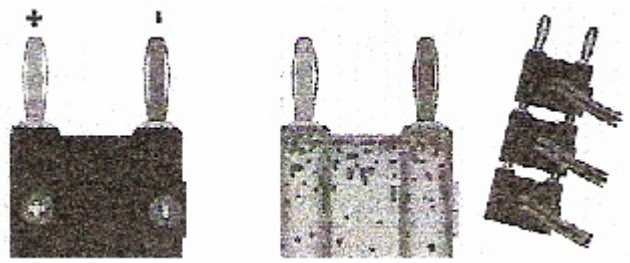


Figura 39. Conector banana.

3.2.5.5. Speakon.

Este tipo de conector es comúnmente utilizado en los bafles, son a prueba de golpes y la resistencia de transferencia del contacto es muy pequeña (no genera perdidas). Pueden ser ocupados para conducir dos señales independientes (para altavoces distintos).

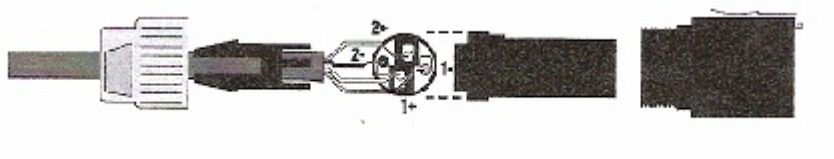


Figura 40. Conector Speakon.

3.2.6. Conexiones.

3.2.6.1. Conexión balanceada y conexión no balanceada (desbalanceada).

La conexión no balanceada (desbalanceada) y la balanceada, son las dos formas básicas para llevar las señales eléctricas dentro del audio.

Conexión no balanceada.

En este tipo de conexión la señal se lleva a través de un cable de dos conductores. Los conectores no balanceados tienen dos pines (EJ. conector RCA y conector plug TS), aunque también conectores de mas de dos pines y que están hechos para manejar señales balanceadas puedes ser configurados para trabajar únicamente con señales no balanceadas.

Las conexiones balanceadas son muy simples, y se usan comúnmente y sin problemas en la conexión de muchos instrumentos musicales.

La razón por la que este tipo de conexión no es considerada profesional es que es muy susceptible de contaminarse por interferencias magnéticas (particularmente cuando las distancias de los cables son muy largas).

Conexión balanceada.

En este tipo de conexión la señal es enviada de manera independiente por dos conductores, en uno de ellos con la polaridad invertida. A esto se le conoce como “el balanceado de una señal”.

Para llevar una señal balanceada necesitaremos conectores de tres pines y cable de tres conductores, uno de los cuales es la pantalla del cable. Las interferencias electromecánicas que no rechace el apantallamiento del cable, afectarán lo mismo a los dos cables que llevan la señal.

La entrada del dispositivo al que llevamos la señal realiza lo que se conoce como desbalanceado, que consiste en sumar las dos señales que llegan tras invertir nuevamente la señal invertida 180 grados. Al haber invertido esta respecto a la otra, el desbalanceado consigue duplicar la magnitud de la señal original (+ 6db) y cancelar las interferencias que se presentan en el cable.

La siguiente figura explica de manera grafica el balanceado: el dispositivo de salida produce dos copias de la misma señal una de las cuales está invertida; si existen interferencias se producen de la misma manera en las dos señales que son transportadas por el cable; en el dispositivo de destino la señal invertida originalmente y su respectiva interferencia se invierten y se suman con la otra señal, cancelándose la interferencia (ver figura 41).

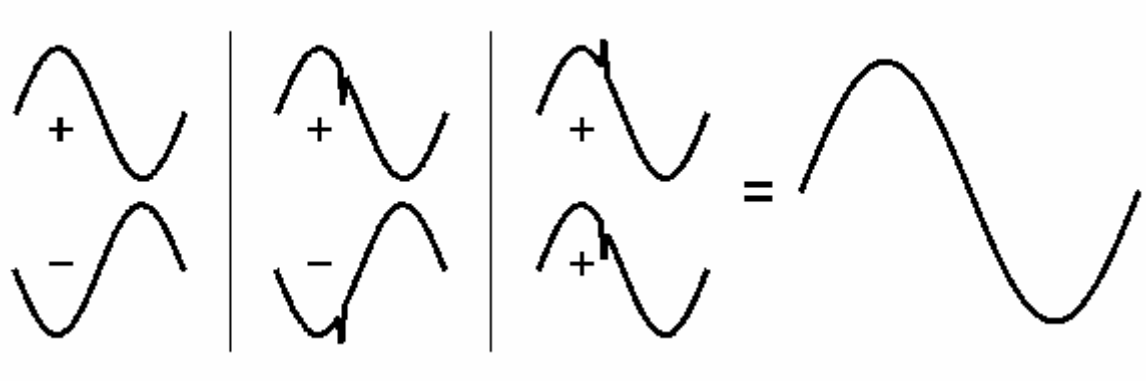


Figura 41. Balanceado de señales.

Para conexión balanceada se utilizan conectores de tres pines (Ej conector XLR y plug TRS), y sus configuraciones mas comunes se muestra en las figuras 37 y 38.

3.2.6.2 Conexión Insert (cable “Y” de inserción).

Esta conexión nos permite conectar en serie a un canal, salidas auxiliares, grupos o salidas master (depende de la consola) un equipo electrónico periférico, por ejemplo; un ecualizador, un procesador de efectos, un compresor etc, de tal forma que después de ser “tratada” dicha señal regrese al mismo sitio

Esta conexión consta de un conector TRS “stereo” (conectado a la consola).

Tip (punta). Es el envío o salida de la consola.

Ring (anillo). Es el retorno de la señal ya “tratada”.

Sleeve (tierra).

Y dos conectores TS “mono” (conectados a la entrada y salida del equipo periférico).

Tip (punta).

Sleeve (tierra).

<u>Configuración.</u>

Sleeve de conector TRS se conecta con Sleeve de ambos TS.

El Tip del TRS se conecta al Tip de uno de los conectores TS (esta será la salida de la señal a tratar).

El Ring del TRS se conecta con el Tip del otro conector TS (este será el retorno de la señal ya tratada). (Ver figura 42).

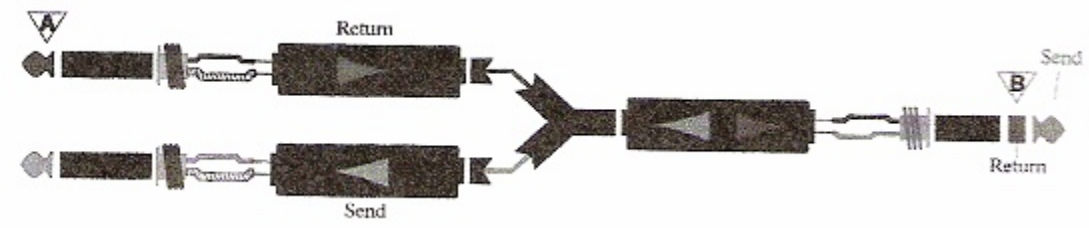


Figura 42. Conexión insert (cable “Y” de inserción).

3.2.6.3 Snakes (medusas).

El snake o medusa es una “manguera” de hule o plástico que en su interior lleva un cable con un número especifico de conductores independientes de tal forma que en uno de sus extremos tiene los respectivos conectores para unir con la consola y en el otro tiene lo que se conoce como stage box (caja de escenario) que contiene las terminales en mismo numero que en el otro extremo. El propósito principal del Snake es lograr la interconexión entre la consola de audio y el escenario ya sea para el envío de las señales de las fuentes sonoras, comunicación, retornos a las mezcladoras, etc.

Es decir el snake puede ser visto como un conjunto de cables de audio (líneas) de gran longitud dentro de una misma manguera. Donde el número de ellos, longitud y tipo de conectores depende directamente de las necesidades.



Figura 43. Snake o medusa.

3.3 Micrófonos.

El micrófono es básicamente el transductor de entrada en nuestros sistemas, y tiene la propiedad de poder convertir la energía acústica emitida por las fuentes sonoras en energía eléctrica.

Existe una gran cantidad de tipos de micrófonos en base a su construcción, operación, aplicación y diseño funcional. A continuación mencionaremos los más comunes para música en vivo.

Es importante recordar que cada elemento del sistema de sonorización debe realizar su trabajo de manera óptima, para que el sistema completo también lo haga, y considerando que el micrófono es el primer elemento de la cadena de audio al que tenemos acceso es necesario considerar todas las características de ellos para obtener buenos resultados.

3.3.1. Tipos de micrófonos.

3.3.1.1 Micrófono dinámico (micrófono de bobina móvil).

El micrófono dinámico es el más común y el de mayor uso.

Está formado por una membrana que se encuentra físicamente unida al chasis a través de un sistema de amortiguación que permite que este diafragma se mantenga en posición de reposo o descanso mientras no reciba presión sonora. Sobre una extensión de la membrana se encuentra enrollada la bobina, la cual es generalmente plana a fin de disminuir su espesor (ver figura 44).

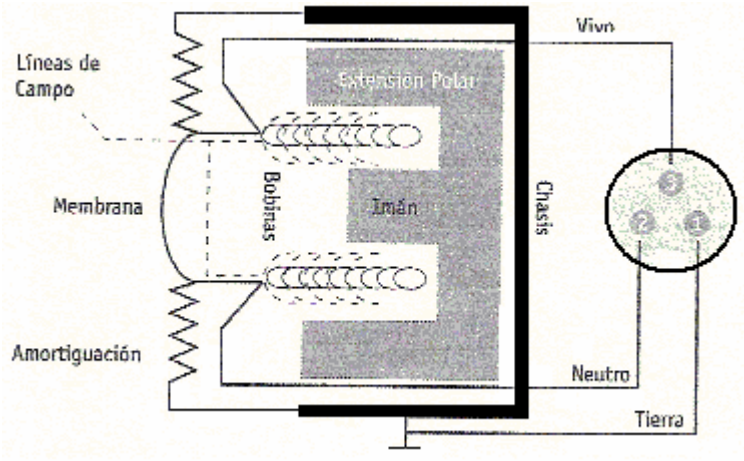


Figura 44. Micrófono dinámico (diagrama constructivo).

Dentro de la bobina se encuentra el imán y alrededor de ésta (exterior), se encuentra la extensión polar, la cual se utiliza para disminuir el espacio que deben recorrer las líneas de campo, concentrándolas sobre la bobina.

La membrana, al recibir sonido, vibrará en forma proporcional a su intensidad y frecuencia. También la bobina cortará las líneas de campo originando una corriente proporcional en sus extremos.

La forma en que se conectarán los micrófonos a un conector cannon (balanceado) responde al sentido de la generación de la corriente que se produce en él.

La ecuación que manifiesta la transducción de un micrófono dinámico es:

$$e = Blv$$

donde:

e = diferencia de potencial inducido [V].
B = densidad de flujo magnético en teslas [T].
l = longitud del cable [m].
v = velocidad del movimiento del diafragma [metros / s].

En la terminal número 3 (vivo) se producirá un impulso positivo cada vez que la membrana sea "empujada" hacia dentro por el sonido que ésta reciba.

En la terminal número 2 (neutro) se presentará un impulso positivo cada ves que la membrana sea "empujada" hacia fuera, gracias al sistema de amortiguación.

En la terminal número 1 (tierra) se conectará al chasis de la cápsula del micrófono y a la carcaza del mismo.

Para el caso de que se requiera desbalancear la conexión a fin de conectar el micrófono a entradas de alta impedancia (sensible -20 db) es necesario emplear la siguiente configuración (ver figura 45).

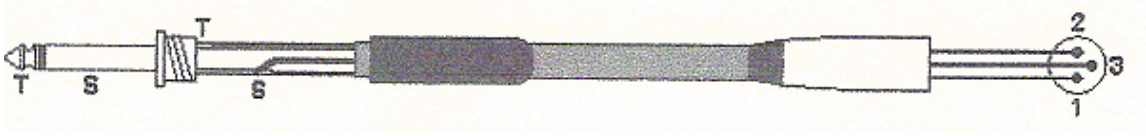


Figura 45. Plug no balanceado a XLR (cannon) balanceado.

Características principales.

- Poseen una respuesta a transcientes lenta.
- Tienen una respuesta en frecuencia limitada.
- Son prácticamente imposibles a distorsionar debido a que no poseen electrónica interna.
- Soportan uso rudo debido a su estructura sólida.
- Son muy sensibles a campos magnéticos.
- Se pueden encontrar con diversos patrones polares.
- No requieren una fuente externa de alimentación.
- Son de mayor tamaño respecto a los de condensador.

3.3.1.2 Micrófono de condensador.

El micrófono de condensador es el más empleado en condiciones de uso controladas (estudio de grabación, estudios de radio, etc.).

Su principio de funcionamiento permite el paso de una corriente continua (C.C) a través de un condensador simultáneamente con el sonido que se capta.

El diafragma va montado sobre una placa metálica posterior fija, tanto la placa como el diafragma tienen que ser polarizados con 48V mediante la phantom power (fuente comúnmente incluida en consolas de audio) y debido a que entre el diafragma y la placa existe un volumen de aire se forma un capacitor, y al vibrar el diafragma por las ondas sonoras la capacitancia varía, lo que da como resultado una señal eléctrica equivalente a las ondas sonoras incidentes (ver figura 46).

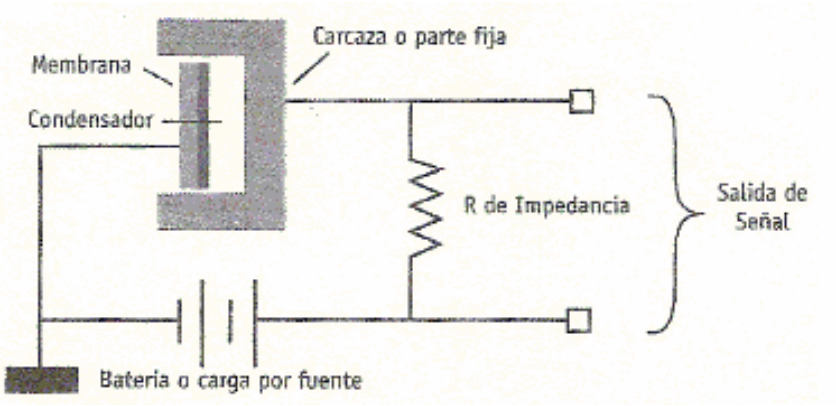


Figura 46.Micrófono de condensador (diagrama constructivo).

La expresión matemática que describe este comportamiento es:

$$V+\Delta V=\frac{Q}{C+\Delta C}$$

Donde:
V es el voltaje de polarización del micrófono, el cual no produce ninguna señal de audio
ΔV es el voltaje que se obtiene al variar el espacio entre las placas (es la señal de audio).
Q carga del capacitor en Coulombs
C es la capacitancia, en Farads
ΔC es el incremento en capacitancia creado a partir del movimiento de una de las placas

Características principales.

- Pueden distorsionar al ser expuestos a fuentes sonoras de alto nivel.
- Requieren ser alimentados por una fuente externa (phantom power, batería, etc).
- Debido a la impedancia de sus elementos entrega señales de nivel muy bajo, lo que requiere de un preamplificador.
- Tienen una excelente respuesta en frecuencia.
- Existen con distintos patrones polares.
- Se pueden construir de muy pequeñas dimensiones.
- Contienen mayor ruido intrínseco.
- Es más sensible al “popeo”.
- Requieren un convertidor de impedancia.
- Es más sensible a los cambios de temperatura y humedad respecto a los dinámicos.

3.3.1.3 Micrófono de listón.

Los micrófonos de listón no usan bobinas ni diafragmas, sino un solo alambre o listón corrugado de chapa de metal tendido entre los polos de un poderoso magneto. El listón está expuesto a las ondas sonoras por ambos lados y se activa con la mínima vibración por la diferencia de presión del sonido entre el frente y el reverso del mismo. A las ondas sonoras que provienen del frente del micrófono les toma mayor tiempo hacer reaccionar el reverso y viceversa, por lo que la diferencia de presión que se establece entre el frente y el reverso del listón hace que este se aleje en la dirección que tiene la presión mas alta.

Como el voltaje y la impedancia que produce el alambre son muy bajos es necesario utilizar un transformador para acoplar y elevar el nivel de la señal.

Afortunadamente la baja resistencia eléctrica del listón hace que el alto nivel de elevación necesario para la salida, no produzca impedancia desfavorable, y pueda acoplarse a los 200 ohms habituales de un micrófono dinámico.

Estos micrófonos fueron una alternativa muy popular, para sustituir a los viejos, pesados y delicados micrófonos de condensador, pero los frágiles listones se tenían que renovar o ajustar periódicamente y además tenían una vida muy corta.

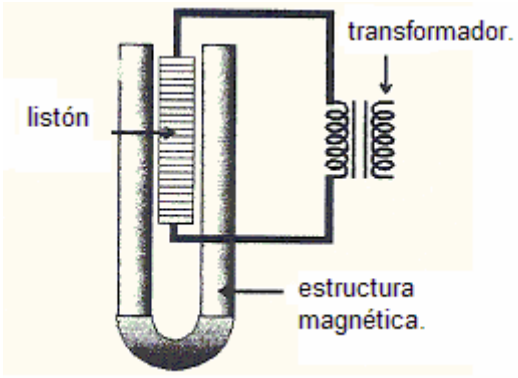


figura.47. Micrófono de listón. (Diagrama constructivo).

Características principales.

- Ofrece una respuesta en frecuencia plana.
- Impedancia muy baja. (1 a 30 ohms).
- Excelente respuesta en alta frecuencia.
- Es muy sensible mecánicamente.
- Únicamente para uso en interiores.

3.3.1.4 Micrófono de electrocondensador.

El funcionamiento de estos micrófonos es el mismo que el de condensador, con la única diferencia de que los elementos del condensador son polarizados permanentemente por lo que ya no se requiere dicho voltaje y la fuente de alimentación es únicamente utilizada para los circuitos de preamplificación.

Características principales.

- Pueden construirse en tamaños muy reducidos.
- Buena respuesta en frecuencia.
- Permiten técnicas de microfoneo muy cercano.

3.3.1.5 Micrófonos piezoeléctricos (micrófonos de cristal o cerámica).

El micrófono piezoeléctrico esta formado por un diafragma flexible acoplado a un cristal con propiedades piezoeléctricas a través de un perno.

Las propiedades piezoeléctricas de un material consisten en que cuando dicho material es deformado por presión o torsión genera un voltaje.

El perno deforma al diafragma cada vez que las ondas sonoras provocan vibración y de esta forma es generado un voltaje (ver figura 48).

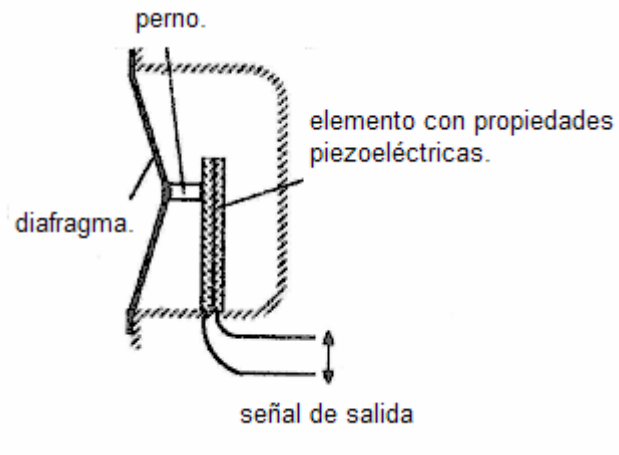


Figura 48. Micrófono piezoeléctrico (diagrama constructivo).

Características principales.

Alto nivel da salida.

Impedancia alta.

Muy sensible a los cambios de temperatura y humedad.

3.3.2 Parámetros y conceptos importantes de los micrófonos.

A continuación se mencionarán de manera muy breve algunos de los parámetros y conceptos importantes a considerar para lograr el mayor aprovechamiento de este elemento dentro de los sistemas de sonorización para música en vivo.

3.3.2.1 Respuesta en frecuencia.

Se representa con una curva de respuesta o sensibilidad del micrófono a distintas frecuencias. Gracias a esta especificación podemos saber donde y de que manera el micrófono responde mejor a una determinada frecuencia o cómo es la curva que tenemos que considerar para alcanzar el mayor rendimiento de captación (ver figura 49.).

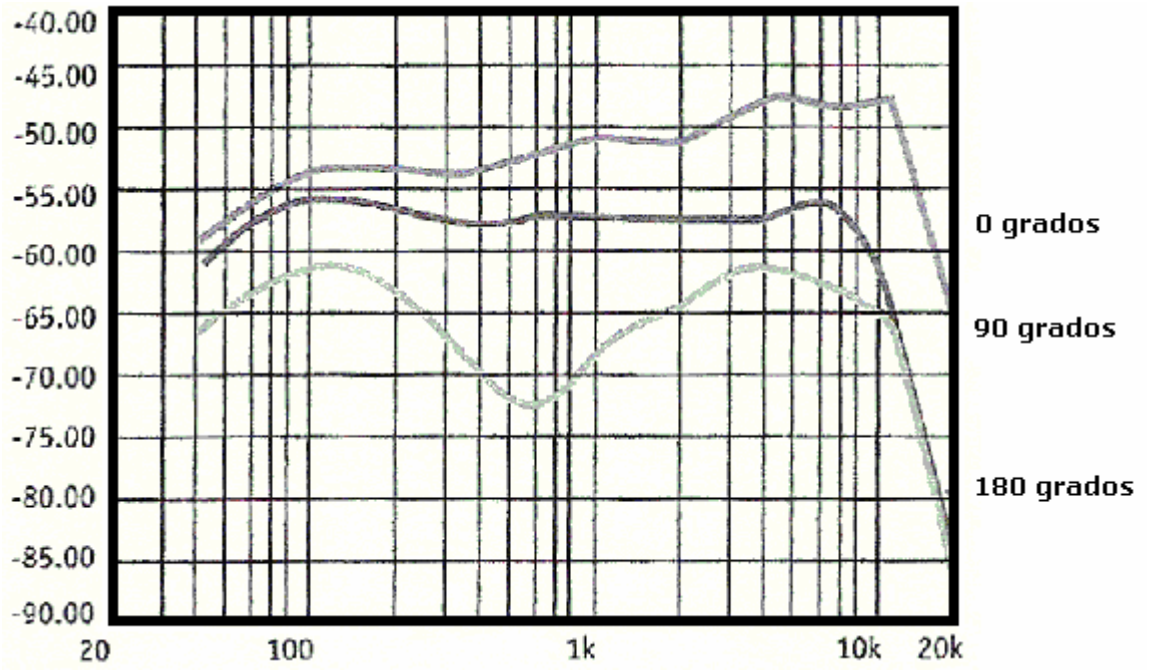


Figura 49. Respuesta en frecuencia de un micrófono debido a 3 distintas posiciones (0, 90 y 180 grados respecto a la fuente).

3.3.2.2. Respuesta transciente.

Se refiere a la velocidad con que los micrófonos responden a las ondas sonoras que inciden en el.

Dicha velocidad depende directamente de la masa del diafragma.

3.3.2.3. Patrones direccionales básicos.

La directividad es la característica que establece la sensibilidad según el ángulo en que incidan las ondas sonoras al micrófono.

Existen tres tipos de patrones de direccionalidad básicos (omnidireccional, bidireccional y unidireccional) y de ahí surgen sus correspondientes sub – grupos.

- *Omnidireccional*. Los micrófonos omnidireccionales son igualmente sensibles a fuentes sonoras provenientes de cualquier dirección.

- *Bidireccional*. Este micrófono es igualmente sensible a fuentes sonoras a 0º y 180º y muy pocos sensibles a 90º y 270º.

- *Unidireccional*. Estos micrófonos son muy sensibles a los sonidos de las fuentes ubicadas a 0º y poco sensibles a sonidos provenientes en otros ángulos.

  De este patrón polar se forma un sub – grupo:

  - Patrón cardioide. La parte posterior al micrófono solo es capas de captar el 10 % de la energía que se le dirige, es el patrón polar más común dentro de la sonorización debido a que mediante buenos criterios de operación se minimiza la posibilidad de feedback.

  - Patrón super cardioide y patrón hipercardioide. Estos muestran progresivamente menos sensibilidad a los lados, y más sensibilidad en la parte posterior. Este tipo de patrón es preferible cuando se desea captar el sonido proveniente de una dirección específica sin contaminarse demasiado de los sonidos que arriban de los lados.

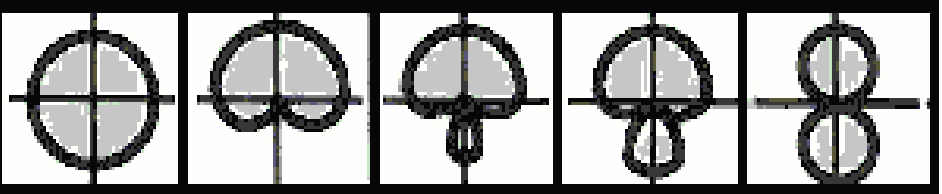
caracteristica	omnidirec.	cardioide	super card.	hipercard.	bidireccional.
POLAR RESPONSE PATTERN					
COVERAGE ANGLE	360°	131°	115°	105°	90°
ANGLE OF MAXIMUM REJECTION (null angle)	—	180°	126°	110°	90°
REAR REJECTION (relative to front)	0	25 dB	12 dB	6 dB	0
AMBIENT SOUND SENSITIVITY (relative to omni)	100%	33%	27%	25%	33%
DISTANCE FACTOR (relative to omni)	1	1.7	1.9	2	1.7

Figura 50. Patrones polares.

3.3.2.4 Impedancia.

Los micrófonos tienen como característica eléctrica una impedancia de salida.

Dentro de la sonorización existen micrófonos con alta impedancia (mayores a 10 kΩ) y de baja impedancia (menor de 500 Ω). Los más comunes son los de baja impedancia, ya que tienen como ventaja ser menos ruidosos, y minimiza dificultades debidas a las largas longitudes de los cables.

3.3.2.5 Sensibilidad.

La sensibilidad es la relación que existe entre el voltaje que entrega un micrófono y la presión que recibe. La sensibilidad responde al nivel de ganancia que se proporciona.

La relación se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{v}{p} \quad [\text{ v / Pa }].$$

S es la sensibilidad [v / Pa.]
v es el voltaje inducido en las terminales del micrófono [v].
p es la presión a que es expuesto el micrófono [Pa].

3.3.2.6 Distorsión y Nivel máximo de presión sonora.

La distorsión se define como la deformación de una onda y debido a que este fenómeno se da para niveles altos de señal, la especificación se da con base al máximo nivel de presión sonora que admite el micrófono (Indica el nivel de SPL máximo que puede soportar un micrófono sin generar una distorsión armónica total (THD) mayor al 1 %, normalmente medida a 1 khz).

Ejemplo:

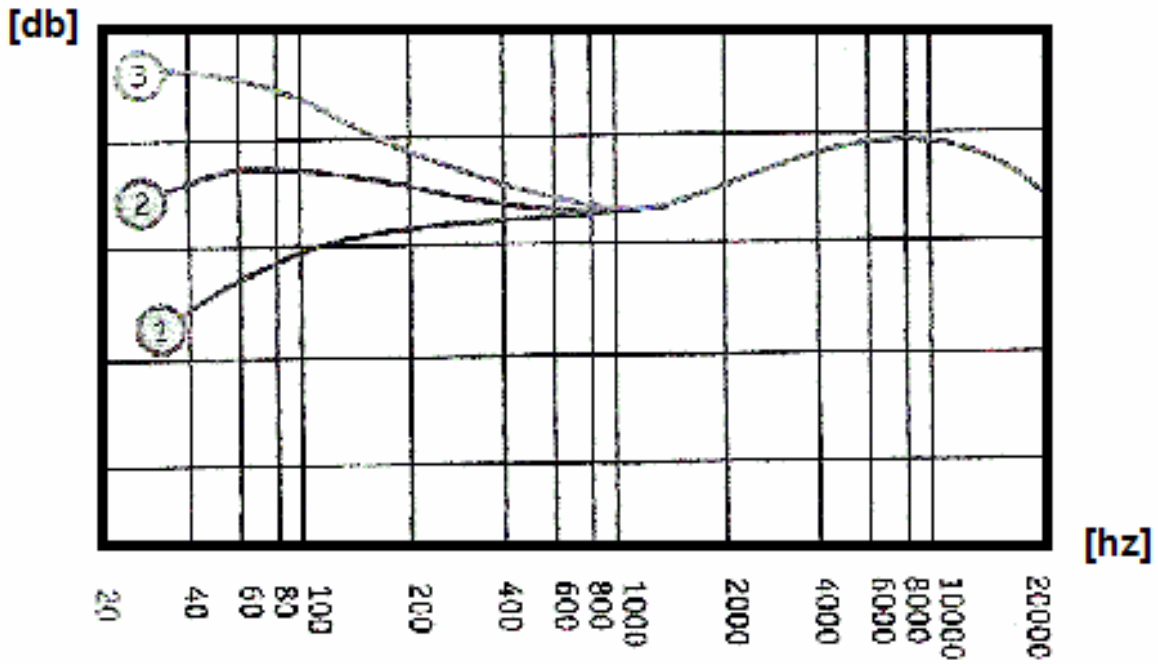
THD = 1% a 125 dB SPL

3.3.2.7 Ruidos.

- **Ruido vibratorio.** Se trata de los ruidos mecánicos que percibe un micrófono (impactos, manejos, montajes, etc).
- **Ruido eléctrico.** es un ruido intrínseco del micrófono que sólo puede reducirse (no eliminarse) diseñando el micrófono de manera que posea una impedancia muy baja (por ejemplo 100 Ω), y además utilizando en su fabricación materiales de gran calidad y procesos de manufactura sumamente refinados.
- **Relación señal – ruido.** Diferencia entre el nivel de señal y el ruido equivalente.

3.3.2.8 Efecto de proximidad.

El efecto de proximidad se refiere básicamente a la variación de la curva de respuesta en frecuencia producida generalmente en la zona de graves y que se eleva aproximadamente a los 1,000 hz al disminuir la distancia entre el micrófono y la fuente sonora.



1 Respuesta en frecuencia a una distancia de 30 cm
2. Respuesta en frecuencia a una distancia de 8 cm.
3 Respuesta en frecuencia a una distancia de 0.6 cm

Figura 51. Efecto de proximidad debido a tres distancias distintas (30cm, 8cm y 0.6cm).

3.4 Consolas de audio.

La consola de audio se define básicamente como el dispositivo diseñado para mezclar el conjunto de señales de entrada, obteniendo un número determinado de señales de salida según nuestras necesidades.

Las consolas de audio están compuestas por varias secciones y de ellas se desprenden una infinidad de funciones, pero para nuestros intereses únicamente analizaremos la sección de entrada y la sección de salida de dicho elemento. (Las características generales de las consolas pueden variar de modelo a modelo).

3.4.1 Módulos de entrada. Son canales individuales, ya sean monoaurales o estéreo numerados de forma progresiva que contienen las señales a tratar.
A continuación se describen los principales procesos que pueden sufrir dichas señales, así como los controles que nos permiten manipularlas.

Preamplificador de entrada. Es la primera etapa activa y su objetivo principal es acoplar impedancias, y de esta forma se pueden lograr niveles adecuados de voltaje

para la consola. Las señales de low level (nivel bajo) son convertidas a line level (nivel de línea).

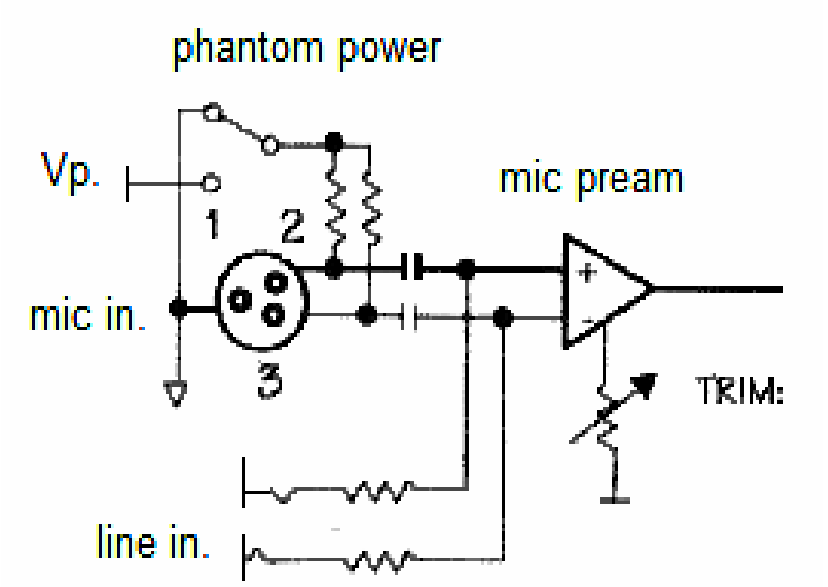


Figura 52.Diagrama del preamplificador de entrada de una consola.

Ganancia (Trim level).
Este control ajusta el intervalo de ganancia de operación establecido en el preamplificador, es decir establece que tan sensible será la entrada del canal con respecto a la señal inducida.

Este ajuste proporciona normalmente una ganancia de hasta 60 dB para la entrada de micrófono y hasta 40 dB para la entrada de línea



Figura 53. Control de ganancia.

Phantom power.
El phantom power es una fuente de alimentación que se encuentra internamente en las consolas de audio, tiene como objetivo polarizar el preamplificador de los micrófonos de condensador, así como sus placas mediante un voltaje de + 48 V de corriente directa.

El voltaje es enviado mediante el pin 2 y pin 3 del conector cannon (XLR), y se puede comprobar conectando un vólmetro con la terminal negativa al pin 1 (tierra) y la terminal positiva en el pin 2 o pin 3.

Dicha fuente se enciende mediante un switch con el nombre de ***Phantom power*** o ***+ 48V.***

Atenuador (Pad).
Es un interruptor que va posterior al preamplificador de ganancia, y está formado por una resistencia fija que provoca una reducción preestablecida (entre 20 y 40 db de atenuación).
Este interruptor evita la saturación, y es comúnmente empleado cuando se utilizan micrófonos de condensador ya que estos tienen una mayor sensibilidad que los dinámicos.

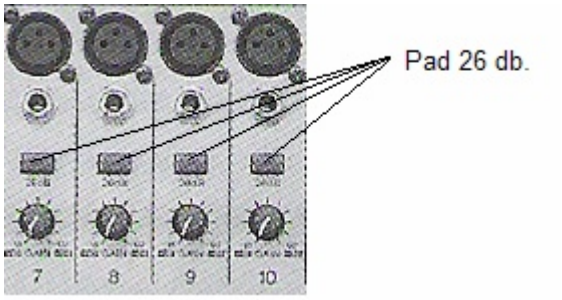


Figura 54. Atenuador Pad.

Led indicador de saturación.
Consiste en un led que indica que la señal de entrada es demasiado alta después de pasar por el preamplificador.

Inversor de polaridad.
Este es un interruptor que invierte la polaridad de la señal que se encuentre el el modulo en cuestión, invierte la polaridad del pin 2 y pin 3 del conector cannon o XLR de entrada, lo que equivale a invertir la polaridad de la señal 180º conforme a la original, y se representa con el símbolo f.



Figura 55. Inversor de polaridad.

Selector de Micrófono o Línea.
Selecciona el tipo de señal y conector de entrada (plug o XLR) y su función es ajustar el nivel del preamplificador de acuerdo a la señal (low level o line level).

Ground / Lift .
La función del interruptor Lift es desconectar la terminal 1 de la entrada XLR, el cual transporta la señal de tierra. Esto es utilizado para eliminar zumbidos ocasionados por ciclos de tierra.

Se recomienda colocarlo siempre en la posición ground, al menos que exista un zumbido (debe colocarse en la posición lift).

Sección de ecualización.
Dicha sección puede ser muy variable debido al modelo de la consola, pero básicamente se conforma de una serie de potenciómetros que nos permiten aumentar o atenuar ciertos rangos de frecuencias. Generalmente el espectro de frecuencias se divide en varios rangos según el modelo de la consola (frecuencias bajas, frecuencias medias bajas, frecuencias medias altas y frecuencias altas). En muchas ocasiones esta sección viene acompañada por filtros corta bajas (low cut), muy útil para eliminar ruidos de viento y/o de manejo.



Figura 56. Sección de ecualización.

Envíos auxiliares.

Estos controles se encuentran ubicados en los módulos de entrada, pero en realidad se puede considerar que forman parte de la *sección de salida*, ya que es utilizada comúnmente para el sistema de monitores donde estos controles determinan el nivel de la señal de dicho modulo que será enviado a cada auxiliar (a cada mezcla independiente).



Figura 57. Envíos auxiliares.

Control panorámico (Pan, Pot*).*
Potenciómetro formado por dos resistencias variables inversamente proporcionales conectadas a dos líneas independientes de audio (left & right).
Mientras que una resistencia disminuye su atenuación, la otra aumenta. El control panorámico es utilizado para localizar señales en estéreo, en una imagen de 180° entre izquierda y derecha (ver figura 58).

Mute (silenciamiento).
Su función es interrumpir o activar el acceso de la señal de entrada tanto al canal como a sus funciones (ver figura 58).

Cue & Solo.
Cada canal de entrada cuenta con un interruptor llamado Cue, el cual permite monitorear el estado de la señal tanto auditiva como visualmente (ver figura 58).

Fader.
El fader es una resistencia variable que determina el nivel de operación del canal de entrada con respecto a las señales contenidas en los otros módulos para lograr una mezcla final. El fader puede provocar el aumento o la atenuación de la señal que se encuentre en dicho módulo, es decir trabajar por encima de su ganancia unitaria o por debajo de ella. Su escala esta dada en dB (ver figura 58).



Figura 58.

3.4.2 Sección de salida.

Esta sección tiene como objetivo manejar las señales de salida de nuestros procesos de mezcla. Básicamente esta formada por la salida maestra (master), por los auxiliares, grupos y matrices (matrix).

Salida maestra (master).

Esta salida tiene como objetivo alimentar al cluster principal P.A, dependiendo del modelo de la consola puede ser mediante un fader general o mediante dos faders independientes que controlarán el canal izquierdo (L), y el canal derecho (R) (ver figura 59).

Esta salida contiene (en el caso que se requiera) las siguientes señales:

- Señales de los módulos de entrada. (Teclados, guitarras, bajo eléctrico, voces, percusiones, etc.).
- Canales de grupos. (Agrupación de ciertas señales de entrada (batería, coros, metales etc.)).
- Retornos auxiliares. (efectos, procesos dinámicos, etc.).

Grupos (subgrupos o Submasters).

Esta es una salida que tiene como objetivo agrupar un conjunto de las señales de entrada de tal forma que se puedan manejar mediante un par de faders. Dentro de la música es muy útil para agrupar por ejemplo una batería completa debido a que en el momento en que se requiera la podríamos hacer destacar con respecto a la mezcla general con tan solo aumentar el nivel mediante dichos faders manteniendo la relación entre las diversas señales que la componen (bombo, toms, tarola platillos, etc.) sin tener que mover el nivel de cada uno de los módulos.
De la misma forma una aplicación común es con los coros o voces de un grupo.
Esta agrupación de señales puede ser enviada a la salida maestra, matrices, o inclusive hacia fuera de la consola por medio del mismo grupo, para utilizarse como mezcla independiente. (Ver figura 59).

Matrices (Matrix).

Esta sección tiene como objetivo proveer nuevas mezclas a partir de las ya realizadas en secciones como los grupos o la salida principal para después ser enviadas a otro destino (subsistemas, radiodifusoras, televisión, grabadoras). (Ver figura 59).

Auxiliares.

Como se vio en la figura 57, los controles para la asignación de las señales a las mezclas auxiliares están contenidos en los canales de entrada, pero además existen en la sección de salida los faders que nos permitirán manejar estas nuevas mezclas y enviarlas con las características convenientes a los monitores del escenario.

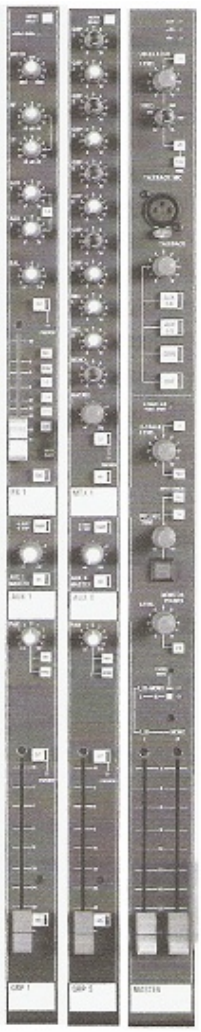


Figura 59. Matrix, subgrupo y master de la consola sound craft K2.

A continuación se muestra una de las consolas analógicas más utilizadas en la industria de la sonorización profesional (Yamaha PM 4000).

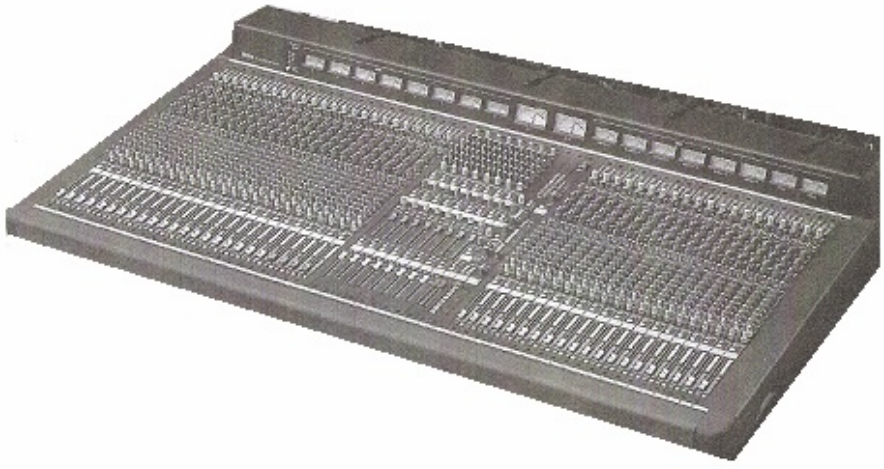


Figura 60. Consola analógica Yamaha PM 4000.

3.4.3 Consola digital.

Es importante mencionar que después de años de evolución y después de lograr la confiabilidad necesaria para sonorizaciones en vivo han entrado al mercado las consolas digitales que prometen ser indispensables en unos años, algunas de las principales ventajas con respecto a las analógicas son las siguientes:

Existencia interna de gran cantidad de equipos periféricos virtuales (ecualizadores, procesadores de efectos, compuertas, compresores, etc).
Gran margen para configuración.
Posibilidad de almacenar ajustes y configuraciones
Menor ruido de fondo.
Menor posibilidad de distorsión.

Una de las consolas digitales más empleadas en aplicaciones profesionales es la PM1D de Yamaha.



Figura 61. Consola digital PM1D de Yamaha con su menú principal.

3.5 Procesadores de frecuencia.

Antes de comenzar con este tema es importante hacer una pausa para estudiar lo relacionado con filtros de audio, ya que dicho concepto es el principio de operación de varios elementos de la cadena de audio y debido a que se estará haciendo referencia de ellos, definiremos las bases que nos permitan un buen entendimiento.

3.5.1 Filtros.

Un filtro es un sistema en el que si se introduce una señal de amplitud y frecuencia fija, se obtendrá una señal con la misma frecuencia y cuya amplitud es posible variar según el tipo de filtro. Es decir; el filtro actúa amplificando o atenuando la amplitud, pero mantiene la frecuencia de la señal de entrada.
Físicamente podemos definir al filtro como un circuito eléctrico que tiene la propiedad de seleccionar frecuencias para retenerlas o dejarlas pasar.

Las pendientes de la caída de nivel (slopes) debido a los filtros son medidas en decibeles por octava (db / oct).
Los principales tipos de filtros empleados son los siguientes:

3.5.1.1 Filtro paso-bajas o high cut (LPF).

Este filtro atenúa el nivel de las frecuencias superiores a un valor específico (frecuencia de corte o frecuencia de paso).

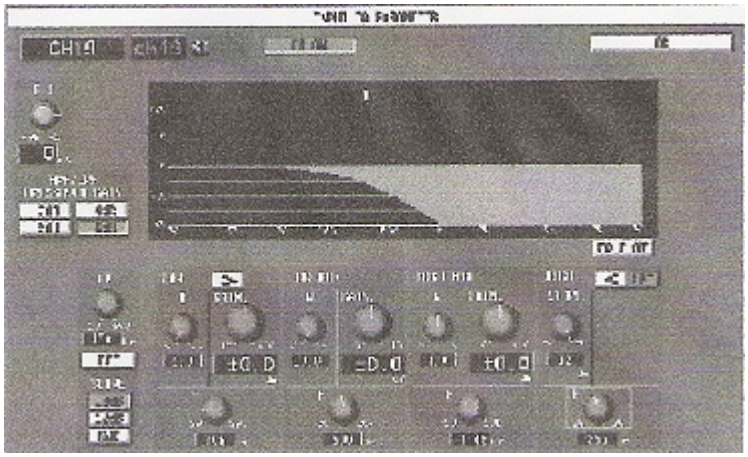


Figura 62. Filtro paso-bajas (Software de la consola digital PM1D versión 1.62)

3.5.1.2 Filtro paso-altas o low cut (HPF).

Este filtro atenúa el nivel de las frecuencias inferiores a un valor específico (Frecuencia de corte o frecuencia de paso).

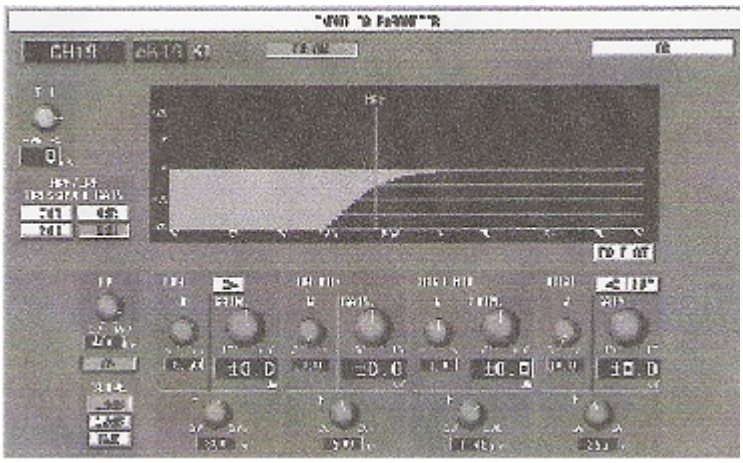


Figura 63. Filtro paso-altas (Software de la consola digital PM1D versión 1.62)

3.5.1.3 Filtro paso banda.

Estos filtros se componen a partir de de un paso-altas y un paso-bajas y consiste en un filtro que deja pasar toda frecuencia comprendida entre dos de corte. Estos filtros son de vital importancias para el ecualizador, y son aplicables solo a frecuencias comprendidas en el margen señalado por las frecuencias determinadas por los filtros paso-altas y paso-bajas. (HPF – LPF).

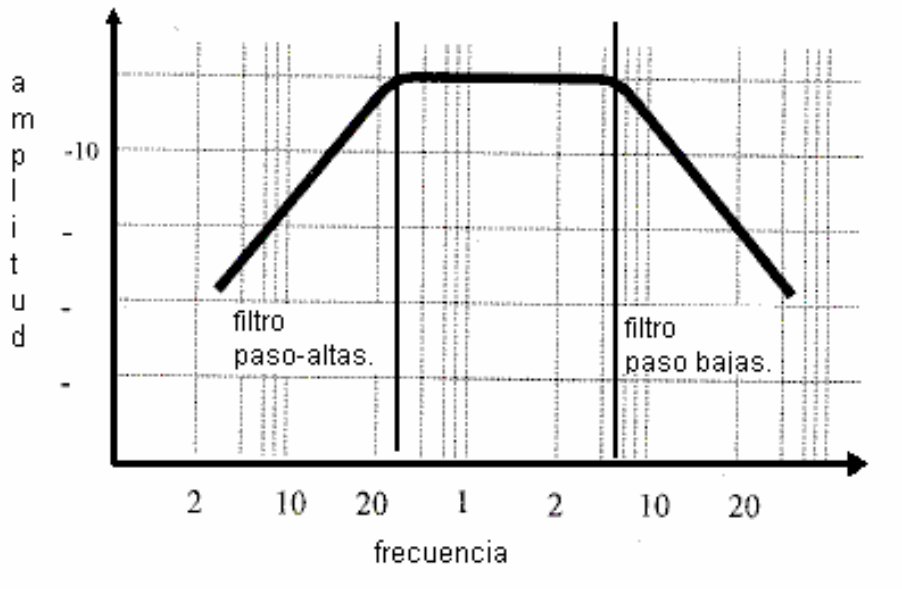


Figura 64. Filtro paso banda.

3.5.1.4 Filtro shelving (filtro Shelf).

Este filtro modifica el nivel de todas las frecuencias posteriores (o anteriores) a una frecuencia seleccionada. Por ejemplo un filtro shelving con una frecuencia seleccionada de 1khz aumenta o disminuye el nivel de todas las frecuencias anteriores o posteriores a 1khz.

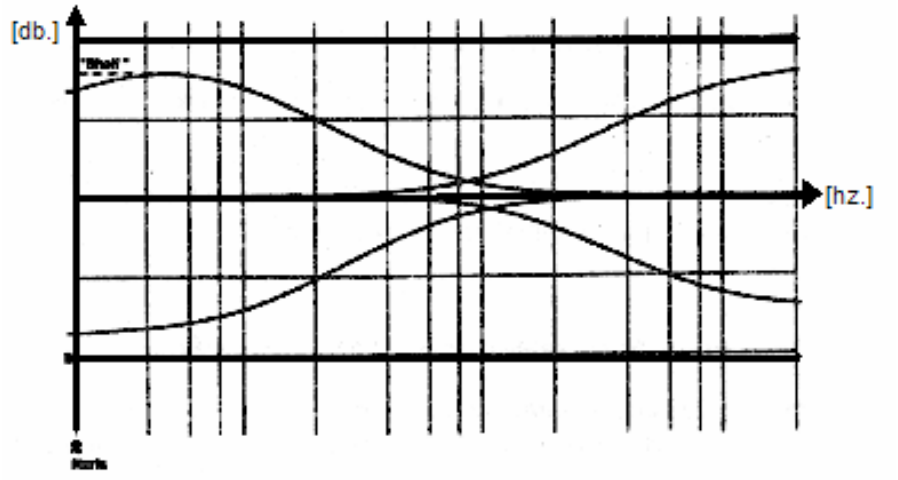


Figura 65. Filtro shelving.

3.5.1.5 Filtro Peaking (pico o campana).

Este filtro aumenta o disminuye el nivel de una frecuencia seleccionada y modifica en menor o mayor grado las frecuencias laterales.

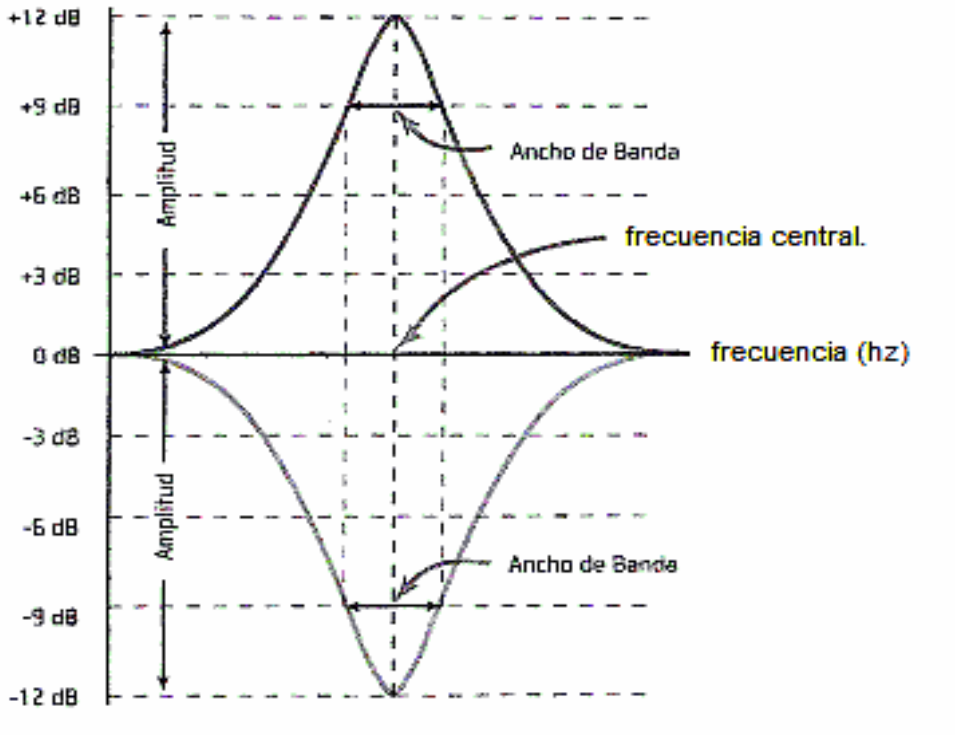


Figura 66. Filtro Peaking.

3.5.1.6 Parámetros de ajuste en filtros de audio.

- Control de ganancia. Es el control que determina el nivel de aumento (boost) o atenuación (cut) de la amplitud del filtro que se esté utilizando y se cuantifica en db. (ver figura 67).

- Selector de frecuencia. Conocido como barredor de frecuencia (frequency Sweep). Mediante este control podemos determinar la frecuencia sobre la que trabajará directamente el control de ganancia. Se utiliza en filtros Paso-bajas, paso altas, Shelving y Peaking y se cuantifica en Hz. (ver figura 67).

- Ancho de banda. (bandwith o "Q"). Este control determina el intervalo de frecuencias laterales a la frecuencia central que serán modificadas, este parámetro es aplicable únicamente en los filtros peaking ver figura 67). El ancho de banda se define como el conjunto de todas las frecuencias inferiores y superiores a la frecuencia central cuyo nivel no ha variado 3 db. Se mide en función de octavas, por ejemplo 0.5 octavas o 3 octavas.

También se le llama "Q" (factor de calidad), donde:

Q = frecuencia central / ancho de banda.

Ejemplo:
Frecuencia central = 100 [hz].
Ancho de banda = 50 hz a 200 hz

Q = 100 hz / (200-50) = 100 / 150 **= 0.66**

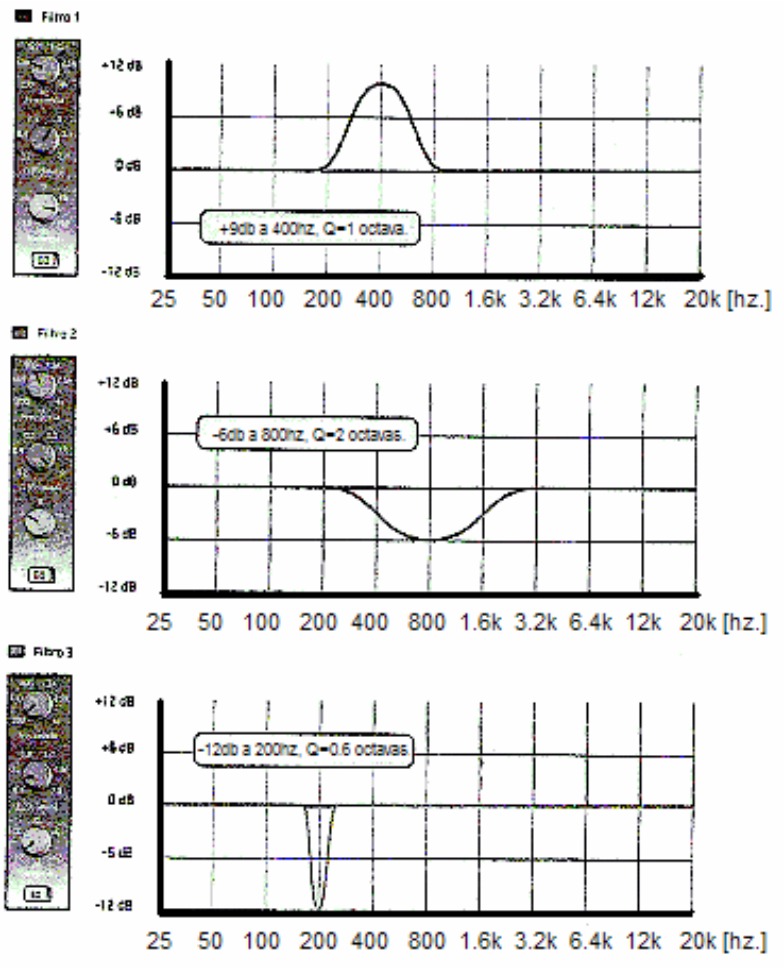


Figura 67. Distintos ajustes de frecuencia, ancho de banda y ganancia.

3.5.2 Ecualizadores.

Para comenzar definiremos al ecualizador como un conjunto de filtros de audio comúnmente utilizado para compensar o corregir las anomalías en respuesta en frecuencia de una señal o sistema de audio. Esta no es su única aplicación, ya que también se utilizan los ecualizadores con fines puramente “estéticos”, es decir para lograr un sonido deseado o lograr un mejor balance tonal dentro de una mezcla.
En este anexo nos enfocaremos principalmente en el uso de los ecualizadores como componentes de un sistema de sonorización y como parte de una red de corrección y optimización.

Tipos de ecualizadores.

3.5.2.1 Ecualizadores de bandas o de frecuencia fija.

Son ecualizadores de 2, 3 o 4 bandas, donde las bandas intermedias utilizan filtros tipo peaking y las bandas de los extremos utilizan filtros shelving, y su mayor

aplicación se da en los canales de entrada de las consolas de audio. (Únicamente tienen un control de ganancia por banda).

3.5.2.2 Ecualizadores semi-paramétricos o de frecuencia variable.

Estos ecualizadores se utilizan también en los canales de entrada de las consolas de audio, pero generalmente se incluyen en consolas de mayor calidad. Además de contar con el control de ganancia incluyen un control para seleccionar la frecuencia a modificar, pueden ser de 3 o 4 bandas; donde las intermedias utilizan filtros peaking y las bandas de los extremos son filtros shelving. En algunos modelos de consolas tienen la opción de seleccionar filtros tipo peaking (ver figura 66).

3.5.2.3 Ecualizadores paramétricos.

Este tipo de ecualizador puede llegar a tener hasta 12 bandas, y se caracterizan por poder seleccionar la frecuencia, el ancho de banda y la ganancia que se requiera. (Probé un alto nivel selectivo).
Sus aplicaciones más comunes son insertarse en los canales de entrada, ecualizar el sistema completo y atenuar frecuencias con riesgo de retroalimentar. (Ver figura 68.)

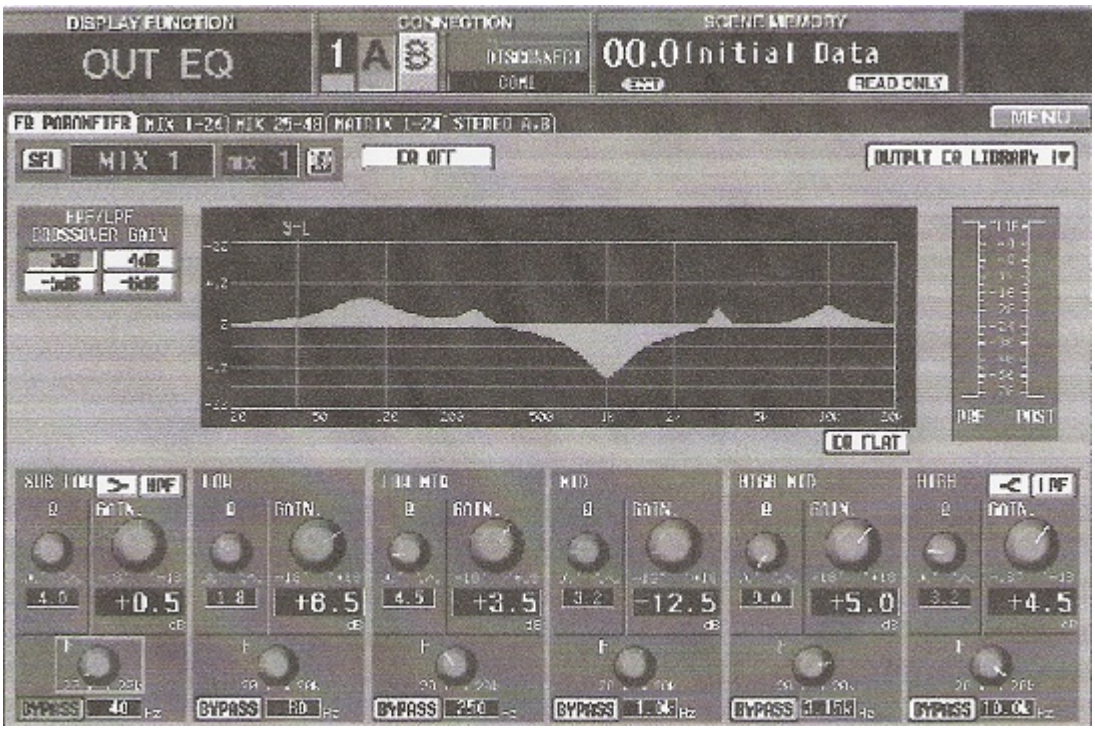


Figura 68. Ecualizador parametrico de la consola digital Yamaha PM1D.

3.5.2.4 Ecualizador gráfico.

Este ecualizador se caracteriza por estar formado únicamente por filtros peaking de frecuencia fija, y a diferencia de los ecualizadores anteriores donde estaban formados por potenciómetros en este tipo se ocupan los controles lineales deslizables

colocados en paralelo sobre un eje horizontal, lo que simula ser una grafica de respuesta en frecuencia.
El número y separación de las bandas esta en función de el valor de octavas de dicho ecualizador. Por ejemplo el ecualizador de 1 octava contiene 10 bandas, el de 2/3 de octavas esta formado por 15 bandas y el de 1/3 de octavas esta formado por 30 bandas. Este tipo de ecualizador es el mas empleado en sistemas de sonorización, y sus aplicaciones mas comunes son para ecualizar un modulo, el P.A, sub sistemas, mezclas independientes, etc.

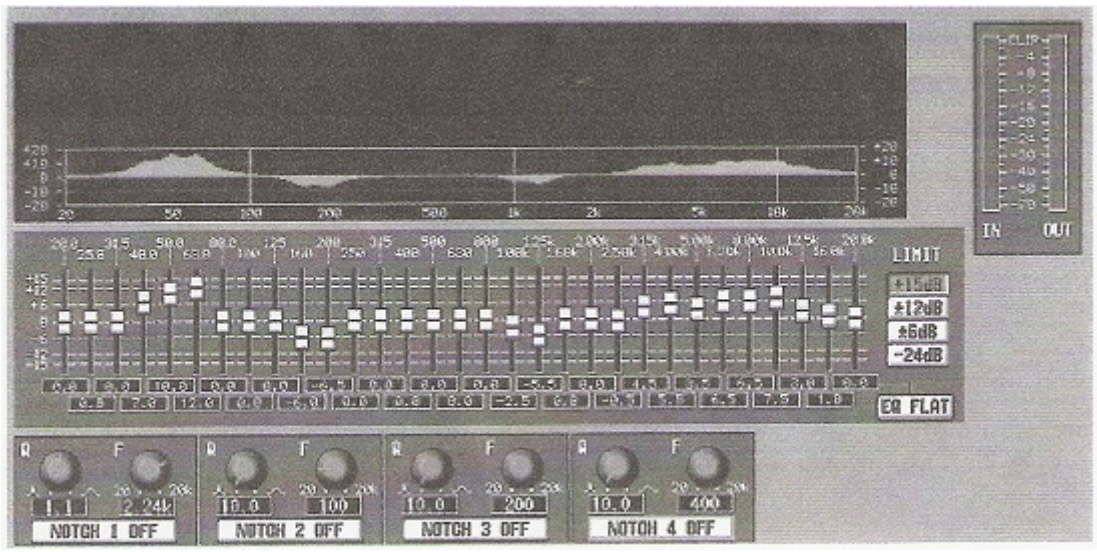


Figura 69. Ecualizador gráfico de la consola digital Yamaha PM1D.

Algunas de las ventajas que podemos lograr utilizando de manera correcta nuestros ecualizadores en nuestros sistemas de sonorización son: mejorar respuesta en frecuencia de nuestro sistema, minimizar riesgo de retroalimentación, reducir las resonancias, sustraer las frecuencias fundamentales y los sobretonos bajos en tambores, adherir o sustraer picos de frecuencias, etc.

3.5.3. Excitadores y enlazadores de espectro.

Estos son equipos que forman parte de los procesadores de frecuencia y son capaces de cambiar la forma en que nuestro sistema auditivo percibirá el sonido.
Estos equipos trabajan sintetizando armónicos pares en un alto rango de frecuencias y posteriormente son mezcladas con la señal original, además de dividir el rango audible en tres bandas y cada una de ellas es retrasada de la siguiente manera:
Baja. Aprox 1.5 milisegundos [ms].
Media. Aprox 0.5 milisegundos [ms].
Alta. Unos cuantos milisegundos.
Logrando con esto realinear en tiempo los armónicos y fundamentales.

Es decir, estos equipos tienen como virtud crear una apariencia de robustez, presencia, y claridad, que nos permite obtener un resultado que el ecualizador no puede lograr.



Dibujo 70. Excitador aphex 204.

3.6 Crossover o red de cruce.

El crossover tiene como finalidad dividir el espectro de frecuencias de tal forma que cada rango pueda ser reproducido por un altavoz adecuado y de esta forma lograr obtener un rendimiento óptimo. Los crossovers pueden ser configurados en diferentes números de vías, donde los más comunes son:

- 2 vias – frecuencias bajas y frecuencias altas.
- 3 vias – frecuencias bajas, frecuencias medias y frecuencias altas.
- 4 vias – frecuencias bajas, frecuencias medias bajas, frecuencias medias altas y frecuencias altas.

Los puntos de división pueden ser los que el fabricante puso como predeterminados o pueden ser establecidos por el usuario (dependiendo de las necesidades).

La calidad de este elemento de la cadena de audio es de gran importancia, inclusive es mas probable obtener un buen sonido teniendo un crossover de buena calidad y un sistema de altavoces de calidad limitada, que con un crossover de calidad limitada y un sistema de altavoces de buena calidad.

En general existen dos formas de lograr dividir el espectro sonoro:

Red pasiva. Esta red está hecha para trabajar en high level, es decir posterior a la etapa de amplificación y están conformados por elementos pasivos (resistencias, condensadores y bobinas.

Ventajas.

- No requiere un amplificador para cada vía.

- Comúnmente están contenidos dentro de los bafles.
- Son de menor costo.
- No requieren polarización.

Desventajas.

- Pueden saturar antes de que lo hagan los altavoces o amplificadores.
- Generalmente para altas potencias tienden a ser muy pesados.
- Comúnmente tienen puntos de corte fijos. (propuestos por el fabricante).

Red activa o crossover electrónico. Esta red se ubica dentro de la cadena de audio antes del amplificador de audio, utilizan line level y generalmente son equipos externos a los bafles. Dichos equipos tienen una señal de entrada por canal y a su salida tiene el mismo numero de señales independientes igual al numero de vías y son utilizados generalmente en sistemas de alta calidad.

Ventajas.

- Puede tenerse acceso al ajuste de sus parámetros.
- Son más eficientes.
- Se fabrican analógicos y digitales.

Desventajas.

- Requieren un amplificador independiente por cada via.
- Requieren ser polarizados.
- Son de mayor costo respecto a los pasivos.

Principio de operación de un crossover.

Básicamente el crossover realiza su objetivo (dividir el espectro sonoro) mediante el empleo de filtros, donde por lo general los cortes de frecuencia de los extremos se realiza mediante un paso bajas y un paso altas, y los rangos intermedios mediante filtros paso banda.

Por ejemplo si tenemos un crossover de tres vías se requerirán los siguientes filtros:

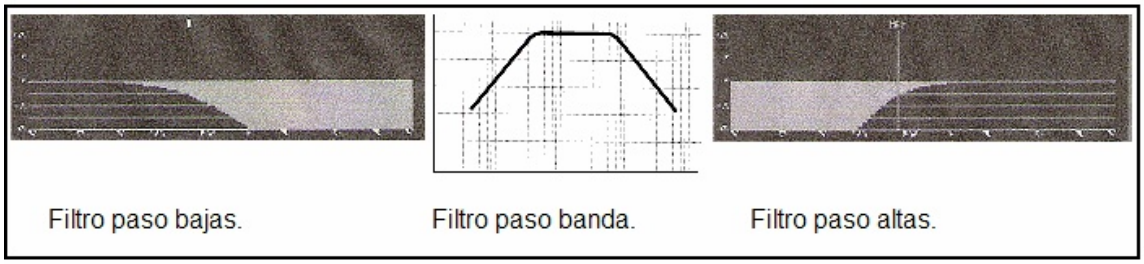


Figura 71. Filtros necesarios para crossover de tres vías.

Donde los tres rangos de frecuencias están en función de las frecuencias de corte de dichos filtros (ver figura 72).

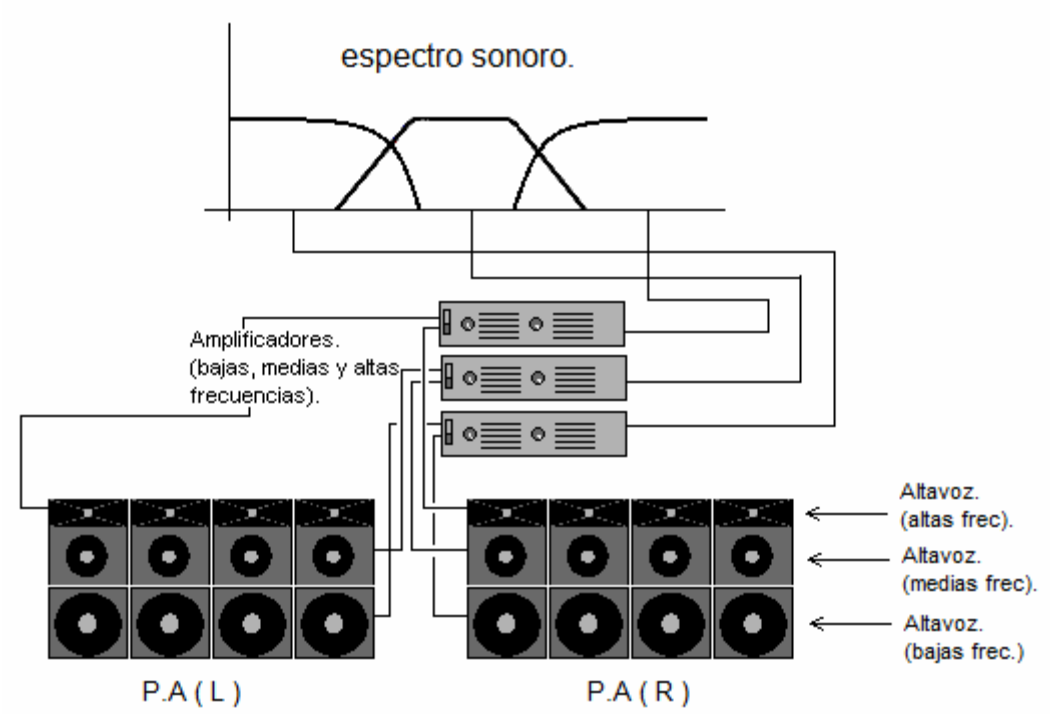


Figura 72. División del espectro sonoro en tres vías.

Como se puede observar en la figura anterior existe un traslape entre filtros y entre mayor sea la pendiente o slope (caída de nivel debido a los filtros (db / oct)) menor será la interacción. Y podemos hacer una clasificación debido a este parámetro:

Slope [db/octava].	**Orden.**
6 db/octava.	Primer orden.
12 db/octava.	Segundo orden.
18 db/octava.	Tercer orden.
24 db/octava.	Cuarto orden.

3.7 Procesadores de altavoces.

Los procesadores de altavoces básicamente tienen como objetivo:

- Dividir la señal de entrada por vías (al igual que el crossover).
- Proteger los altavoces para que no se exceda sus límites de operación.

La división de la señal de entrada nos proporciona unas nuevas señales de salida independientes que irán dirigidas a los amplificadores y posteriormente a los altavoces adecuados.

La protección que nos proporcionan los procesadores es mediante sensores (fabricados para dicho modelo). Estos controlan el paso de la señal mediante limitadores cuando se alcanzan niveles que se encuentran fuera de los rangos eléctricos y mecánicos de los altavoces (lo cual provoca distorsión y/o daños). Debido a que cada modelo de altavoces tiene distintas especificaciones es común que tengan un procesador específico el cual tiene todo un análisis anterior, que nos permite maximizar su funcionamiento, y mantener la confiabilidad en nuestras bocinas.
En el capitulo titulado “Herramientas” dentro de la tesis se estudia de manera muy importante el concepto de procesador describiéndose una nueva tecnología que podría marcar el curso de la optimización de sistemas de sonorización.

3.8 Procesadores de dinámica.

Introducción.

En muchas ocasiones es necesario controlar el nivel de las señales de audio dentro de nuestros sistemas de sonorización de una forma automática. Tratamos de evitar que el nivel sea excesivo para que no se sature alguno de nuestros elementos de la cadena de audio, se dañen nuestros altavoces, dejemos sorda a la concurrencia, se pierda el equilibrio musical de nuestra mezcla o quizá solo intentamos tener bajo control la voz de un cantante que tanto grita como susurra o se acerca como se aleja al micrófono. Otras veces sencillamente tratamos de evitar el ruido que se cuela cuando no hay señal presente.

Para llevar a cabo este tipo de acciones, nos ayudamos de los llamados procesadores de dinámica. Éstos se utilizan comúnmente en sonorizaciones de música en vivo y en algunas aplicaciones de grabación, mientras que son menos comunes para la reproducción de sonido pregrabado (del cual se asume tiene ya la dinámica adecuada).

En realidad, un procesador de dinámica no es diferente en concepto a una persona que maneja el control de volumen de un canal de la consola de audio.

Por ejemplo, si tenemos un cantante cuya voz es transmitida por un micrófono, cuando el cantante comience a cantar más alto (o acercarse más al micrófono), el operador reducirá el nivel del canal. Es decir, funcionará como un compresor.

Cuando el cantante deje de cantar, atenuará totalmente el nivel del canal para evitar el ruido. Es decir funcionará como un gate (compuerta de ruido).

La figura siguiente ilustra la forma en que el sistema auditivo detecta el sonido, y el cerebro ordena a la mano bajar el nivel en función de lo que le sucede a la señal.

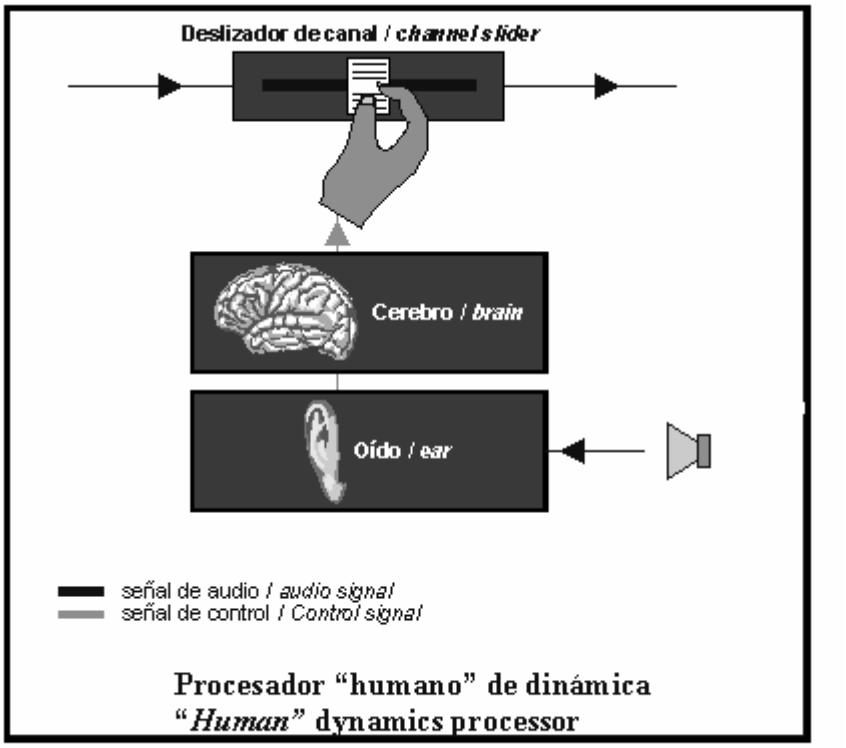


Figura 73. Analogía de un procesador dinámico.

Este procesador humano de dinámica tiene limitaciones: sólo controla un canal, es lento, y sus acciones no son repetibles.

Podríamos usar un robot con un brazo mecánico moviendo los deslizadores de la consola de audio. La versión electrónica no es muy diferente desde un punto de vista filosófico, aunque supera estas limitaciones.
La señal de entrada se divide en dos. Una de estas dos copias de la señal es la que se procesará a través de un elemento de cambio de ganancia, que normalmente será

un amplificador controlado por voltaje (tensión) o ACV, en inglés, VCA, Voltaje Controller Amplifier. La otra copia de la señal de entrada va a un circuito de detección que actúa sobre el ACV/VCA. Para que los cambios de volumen sean graduales, se utiliza un generador de envolvente, que permite que se establezca una "rampa" (la forma de esta rampa puede variar) entre los cambios de nivel para evitar que sean demasiado abruptos.

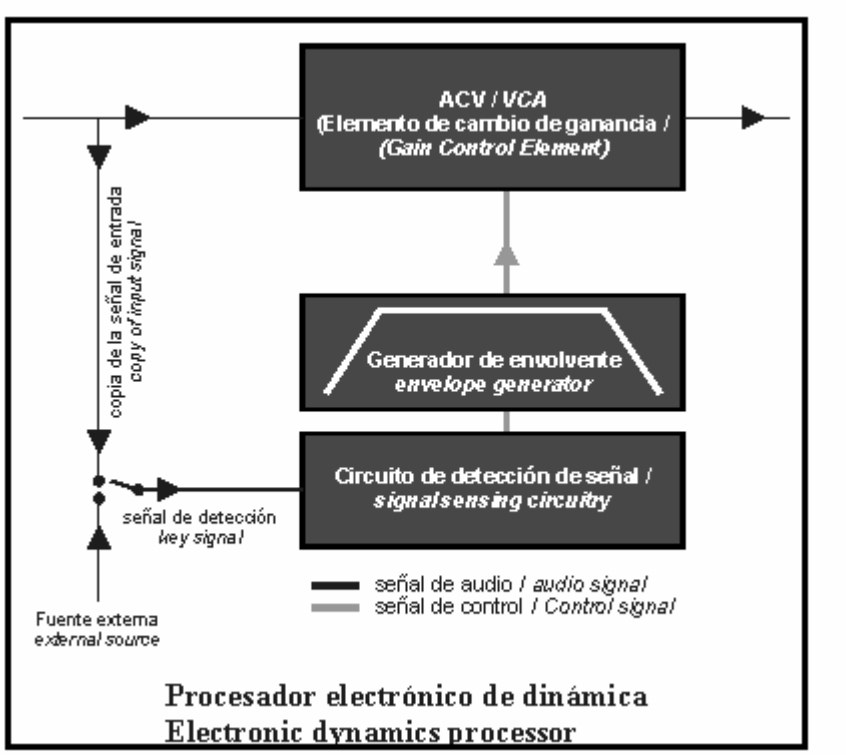


Figura 74. Funcionamiento de un procesador electrónico de dinámica.

Los tipos de procesadores de dinámica más comunes en sistemas de sonorización para música en vivo son:

1. Compresor – limitador.
2. Compuertas de ruido.
3. Expansores.

3.8.1 Compresor – limitador.

Estos procesadores nos permiten controlar el margen dinámico general de una señal, lo que nos sirve para trabajar a niveles más óptimos, obteniendo una mejor relación señal-ruido. Obtenemos también un buen grado de protección contra sobrecargas de voltaje, además de evitar distorsiones.

Otra cosa que se consigue mediante este procesador es dar un efecto sonoro musical sobre uno o mas instrumentos siendo así una herramienta muy útil en la faceta creativa.

En sí los compresores y limitadores son procesadores que reducen el rango dinámico. Compresión se denomina al proceso de reducción o atenuación de ganancia que es más o menos continuo, mientras que la limitación responde a una brusca reducción de la señal.
Estos procesadores se caracterizan por ser un tipo de amplificador lineal de audio cuya ganancia de salida puede ser prefijada sin depender del nivel de entrada, es decir, que su ganancia permanecerá constante aunque el nivel de entrada del aparato varíe dentro de un margen de valores llamado margen de compresión-limitación; reduciendo los niveles altos hasta el punto fijado sin alterar el resto de la señal procesada.

El problema principal reside en que no existe un tipo de ajuste patrón de parámetros, sino que estos deberán de ser analizados y ajustados por el usuario en cada aplicación y de acuerdo a las necesidades de la señal de audio que se vaya a tratar.

El limitador es un dispositivo por el cual una programación puede pasar sin alteraciones en la señal hasta que alcanza un valor crítico. Si la señal de entrada se eleva sobre el valor (punto de arranque), la ganancia del sistema se reduce automáticamente debajo de la unidad de tal forma que la salida no pueda elevarse significativamente sobre el valor límite.

La acción de limitación se provoca por una reducción en la ganancia de amplificación y no por el corte de las crestas de la forma de onda, pues este corte de crestas daría como resultado una distorsión muy severa.



Figura 75. Acción del limitador.

Una aplicación común es limitar la salida de nuestro sistema de sonorización con la finalidad de no exceder los niveles de trabajo seguros, por ejemplo: cuando de manera accidental se podría mover el fader del nivel master hasta su nivel máximo y es ahí donde entraría la función del limitador (limitar el nivel de trabajo al nivel preestablecido por el usuario mediante los parámetros de ajuste).

(Todos los parámetros de ajuste y controles serán definidos de manera global para todos los procesadores de dinámica posteriormente).

El compresor es similar al limitador, porque al sobrepasar el punto de arranque la ganancia del sistema se reduce; pero su acción es menos dramática, por lo que un incremento en el valor de entrada sobre el valor crítico produce un incremento reducido en la salida. El control de la reducción de ganancia por lo general puede ser ajustado.

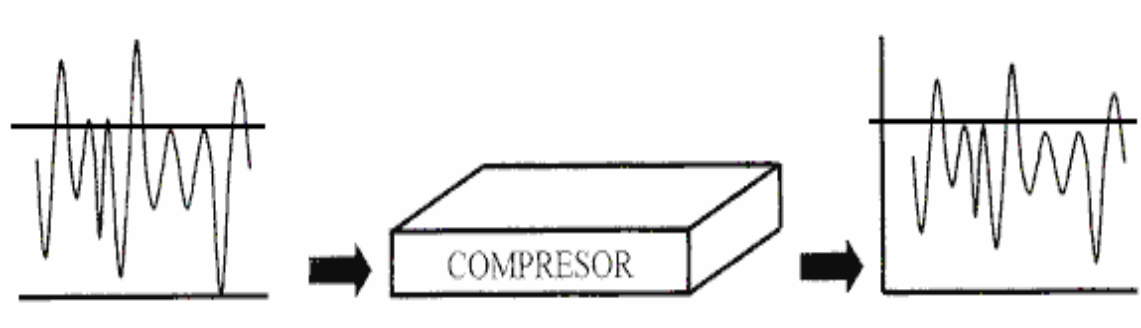


Figura 76. Acción del compresor.

Algunas de las principales aplicaciones son:

- Comprimir la señal proveniente de un bombo de una batería (ya que no todos los golpes se dan con la misma intensidad).
- Comprimir la señal del micrófono de un cantante para evitar percibir picos muy altos de la voz.

(Todos los parámetros de ajuste y controles serán definidos de manera global para todos los procesadores de dinámica posteriormente).

3.8.2 Compuertas de ruido (Noise gates).

Las compuertas de ruido (noise gates) son otro tipo de procesadores de dinámica que en aplicaciones en sistemas de sonorización para música en vivo nos puede presentar notables resultados.
La misión de estos dispositivos es la eliminación o atenuación de una señal cuando el nivel de entrada esté por debajo de un umbral determinado. Lo que se pretende con esto es establecer un punto de umbral que este por encima del nivel de ruido de fondo o sonidos parásitos y no deseados, eliminándolos, mientras que la señal deseada sobrepasará el umbral marcado atravesándolo sin problemas.
Básicamente su forma de actuar es muy similar a la de los compresores y limitadores pero en forma inversa. Sin embargo, su uso es muy crítico y podría causar resultados

muy desafortunados. Las señales percusivas debido a su brevedad y rápida caída son las más fáciles de procesar, mientras que las señales con mucho sostenimiento y larga caída son casi imposibles de procesar; cuando la señal vaya decayendo en una caída prolongada y sobrepase el umbral prefijado, será cortada bruscamente, resultando un efecto desastroso.
Es importante tener en cuenta que ningún aparato es suficientemente "inteligente" para distinguir entre una señal musical admisible y ruido o señal no deseada. Al igual que los compresores y limitadores, no existe un tipo de norma general para su aplicación. El resultado depende siempre de la relación existente entre todos sus parámetros.

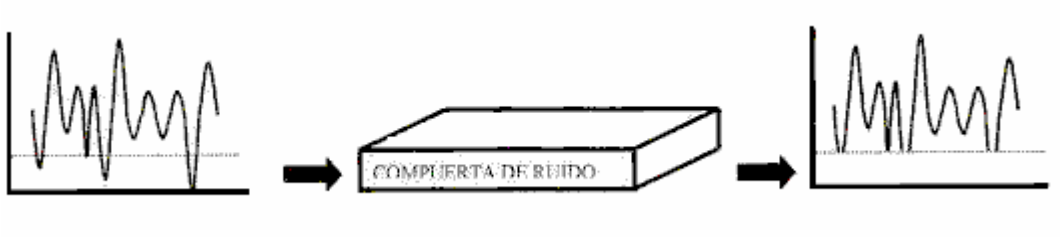


Figura 77. Acción de la compuerta de ruido.

Algunas de las principales aplicaciones son:

- Insertar a los micrófonos de una batería acústica; logrando que no se perciban otros sonidos ajenos mientras no se alcance el umbral establecido anteriormente para la fuente sonora en cuestión.

- Otra aplicación muy común de las compuertas de ruido es la de respaldar al compresor limitador evitando que el ruido generado durante su procesamiento sea audible.

(Todos los parámetros de ajuste y controles serán definidos de manera global para todos los procesadores de dinámica posteriormente).

3.8.3 Expansores.

La reducción de ruido ofrecida por las compuertas (gates) llega a ser altamente satisfactoria, pero en algunos procesos se necesita una acción mucho más discreta, de forma que no altere notablemente el rango dinámico de la señal; ésta función se logra por medio de los llamados expansores.
Estos también tienen una función inversa al compresor-limitador, es decir; es el proceso por el cual el rango dinámico es incrementado. La forma más común en que operan estos dispositivos es expandiendo el nivel de la señal hacia abajo cuando esta se encuentra por debajo del umbral, así la señal será proporcionalmente reducida creando un amplio rango dinámico.
Comparándolos con las compuertas de ruido encontramos que trabajan de la misma manera, pero en vez de cortar el sonido cuando la señal pasa por abajo del umbral simplemente la atenúan, esto es logrado por un ratio, el cual ajusta cuantos dB de

reducción de ganancia serán aplicados por cada dB que la señal cae bajo el nivel de umbral (threshold).
Al igual que en el resto de los procesadores dinámicos, el ajuste de los parámetros de tiempo será critico, ya que de no encontrar el punto óptimo se sufrirá la desagradable sensación de fluctuaciones de nivel.

En la práctica un expansor se usa de forma muy similar a la puerta de ruido, con la diferencia de que la expansión hacia abajo es más gradual y suave, y es más difícil equivocarse con los tiempos de ataque y relajación. El siguiente gráfico nos muestra la diferencia entre el expansor con diferentes relaciones de expansión y la puerta de ruido con diferentes rangos (profundidades) de atenuación.

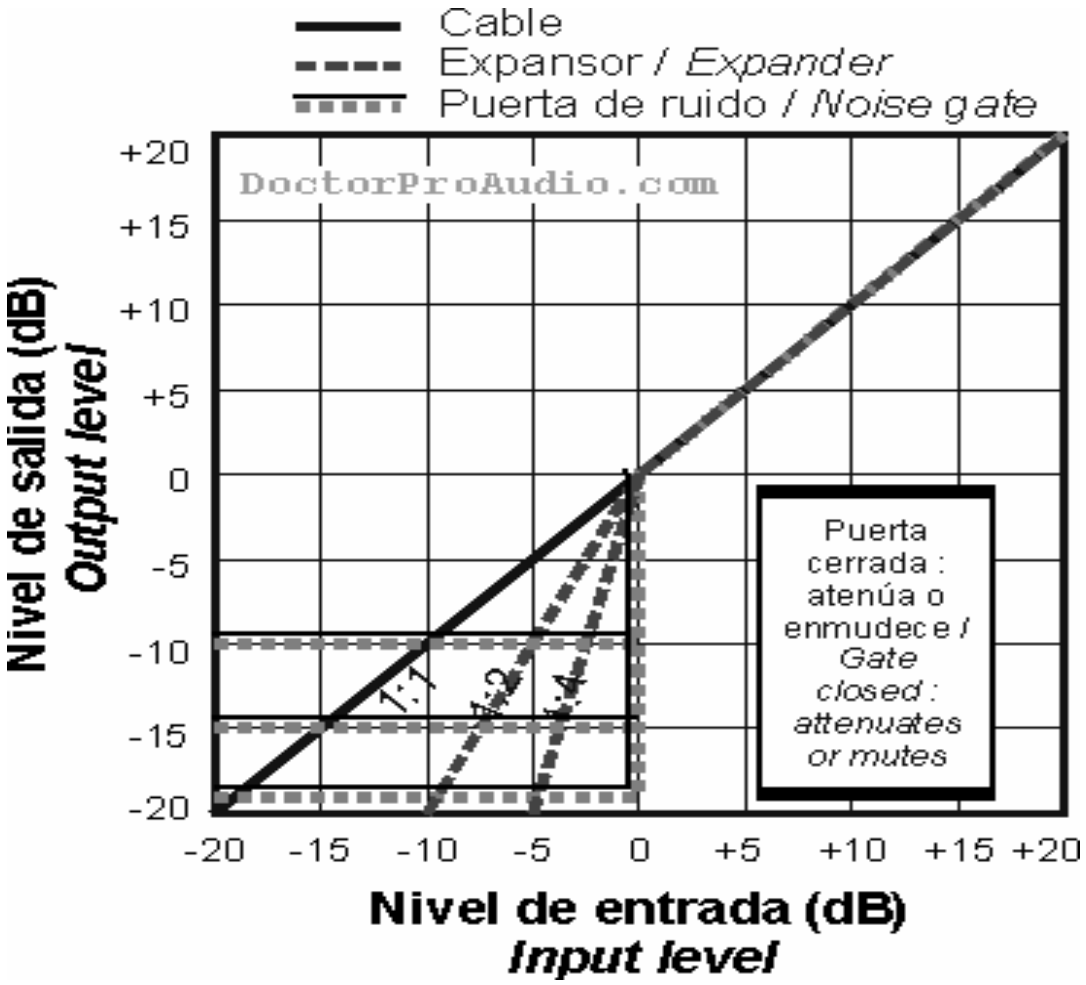


Figura 78. Comparación entre la operación del expansor y la compuerta de ruido.

(Todos los parámetros de ajuste y controles serán definidos de manera global para todos los procesadores de dinámica a continuación).

3.8.4 Parámetros de ajuste y controles de los procesadores de dinámica.

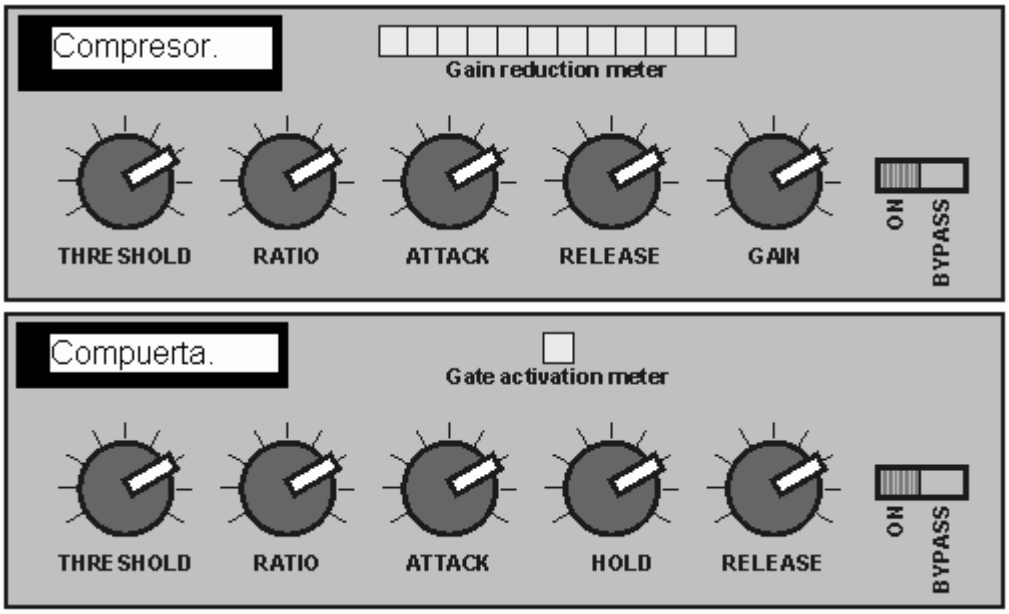


Figura 79. Controles de ajuste de los procesadores de dinámica.

3.8.4.1 Threshold o Umbral.

También se le denomina punto de arranque, y es el punto en el cual comenzará el procesador a trabajar.
En el caso de los compresores y limitadores, toda señal que supere el nivel de umbral será procesada; mientras que en los expansores y compuertas, solo las señales que se encuentren bajo el umbral serán procesadas.
El umbral es variable para poder buscar el punto adecuado en cada caso, este ajuste viene dado en dB.

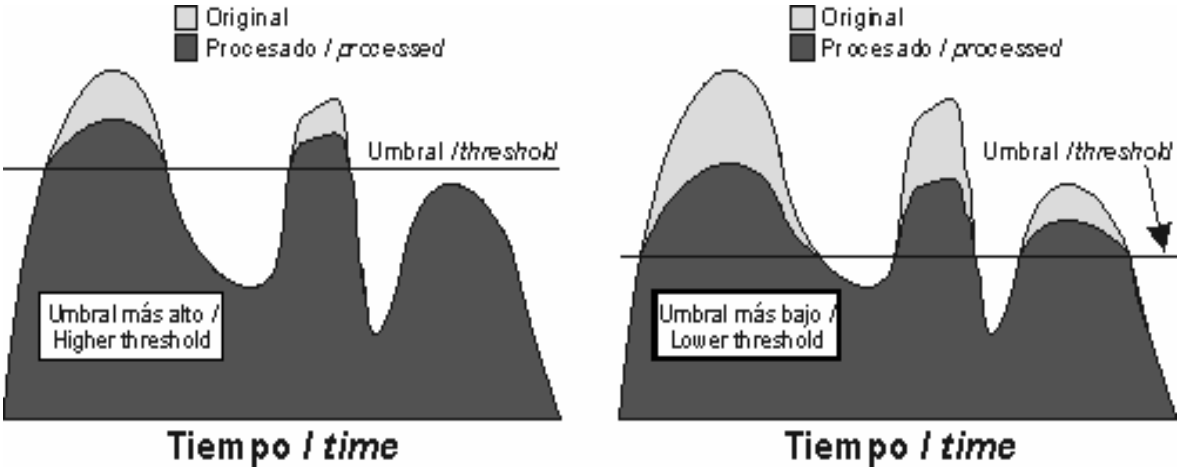


Figura 80. Umbral (threshold) de una señal.

3.8.4.2 Ratio.

Este parámetro indica la relación entre el nivel de entrada y el de salida de la señal a procesar (que supere el umbral).

En el caso de la compresión-limitación las relaciones se encuentran entre 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 10:1, hasta infinito :1; también es posible encontrar procesadores que cuenten con puntos intermedios.

Un ratio de 1:1 indicará que el procesador no actuará, una selección de 2:1 significará que de cada señal que supere el umbral solo se obtendrá la mitad a la salida, mientras que de una relación 3:1 solo se obtendrá una tercera parte de los valores ingresados.

El sistema de reducción en los compresores es aproximadamente de 10:1, valores superiores indicarán limitación, la cual implica altos niveles de reducción.

En el caso de los expansores el ratio trabajará en forma inversa a los limitadores. Una relación 1: 2 entregará el doble de los valores que caigan bajo el umbral, en una relación 1:3 se obtendrán el triple de valores y así sucesivamente.

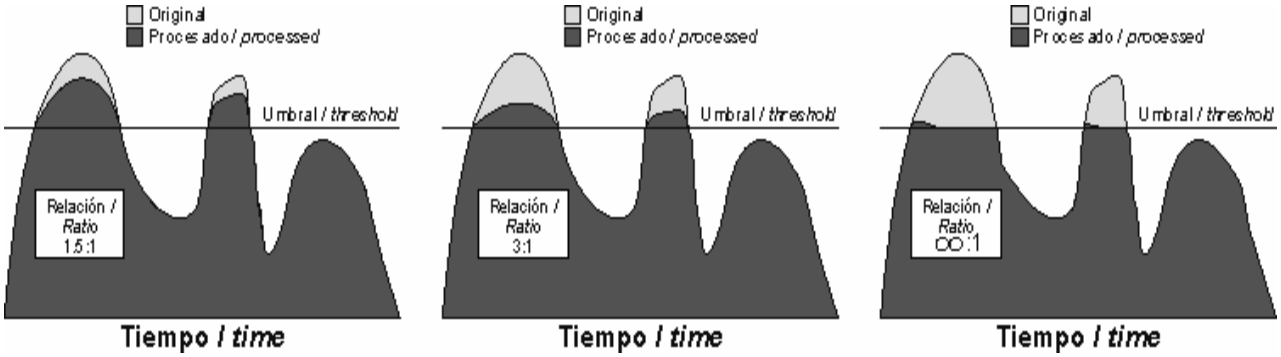


Figura 81. Distintos valores de ratio (relación de compresión) de una señal.

3.8.4.3 Tiempo de ataque (attack).

El tiempo de ataque se puede definir como el tiempo que necesita el procesador para comenzar a realizar su función, este tiempo suele ser ajustable y viene dado en valores de milisegundos [ms].

Al trabajar el aparato dentro de un margen de determinados dB y recibir una señal que supere el umbral, el procesador deberá efectuar un cambio de ganancia y ésta no se logra instantáneamente, por lo que a los valores que superen el umbral antes de ser procesados se les denominará distorsión transitoria.

El tiempo de ataque se fija de tal modo que no sea demasiado rápido, ya que puede alterar el envolvente de la señal, mientras que tiempos de ataque lentos son útiles cuando se requiere un alto grado de procesamiento.

3.8.4.4 Tiempo de recuperación (release).

El tiempo de recuperación se define como el tiempo en que el procesador vuelve a su nivel normal una vez que ha cesado la compresión, limitación o expansión efectuada.

Su uso requiere de mucho cuidado ya que cambios rápidos en el tiempo de recuperación originarán un desagradable cambio de ganancia y como consecuencia un efecto de fluctuación de nivel, mientras que cambios lentos provocarán que el procesador no tenga tiempo para recuperarse antes de que la siguiente señal rebase el umbral, provocando un procesamiento inconstante.

En algunos sistemas el tiempo de ataque y recuperación no es ajustable por el operador; el fabricante selecciona deliberadamente los tiempos con el fin de facilitar la tarea al usuario, brindando tiempos rápidos para picos transitorios y tiempos más lentos para niveles continuos.

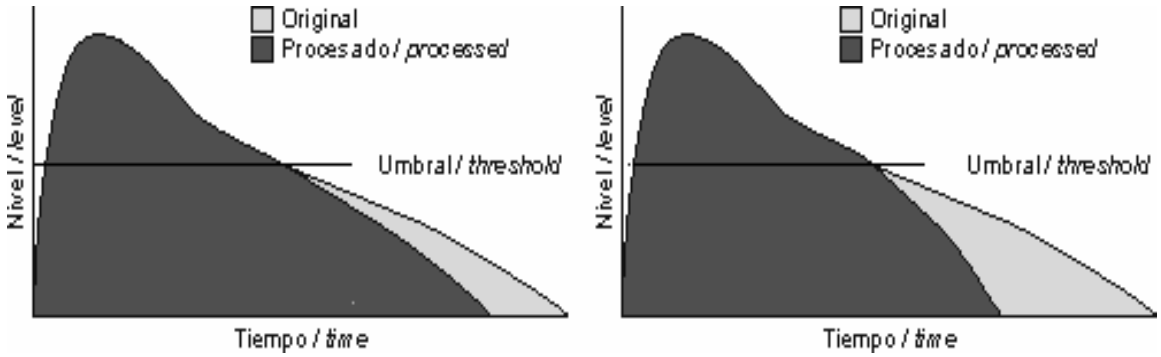


Figura 82. La gráfica muestra la diferencia entre un tiempo de relajación más lento y uno más rápido.

3.8.4.5 Ganancia (Gain)

El control de ganancia tiene como objetivo proporcionar un apropiado nivel para la siguiente etapa de nuestro sistema sonoro.

3.8.4.6 Bypass.

Es un selector que nos permite comparar la señal original con la procesada.

3.9 Procesadores de tiempo.

Comúnmente cuando percibimos el sonido emitido por las fuentes sonoras pensamos que desde su origen son transmitidas directamente a nosotros, pero eso no es así ya que el total de la energía que se presenta dentro de cualquier ambiente auditivo es el resultado de la suma del sonido directo y una cantidad de reflexiones, ya sean primarias (ecos) o secundarias (reverberaciones).

De lo anterior surgen los procesadores de tiempo, por ejemplo; para crear efectos que hagan simular un ambiente acústico específico, establecer un tiempo de retraso (delay) para evitar cancelaciones acústicas entre arreglos de bocinas, etc.

A continuación estudiaremos algunos de los conceptos generales más importantes para los procesadores de tiempo (procesadores de efectos especiales, retardadores de señal (delay), transpositores de tono, armonizadores, etc).

3.9.1 Ecos y retardos.

El eco se define como la repetición de un sonido causada por reflexiones, y en conjunto se percibe como un retardo del sonido original una vez que este ha desaparecido.

El límite entre los ecos o reflexiones tempranas e inaudibles y las reflexiones o ecos audibles se encuentra aproximadamente por los 50 milisegundos, pudiendo variar esta cantidad. Esto es exactamente en lo que consiste el efecto Hass; el cual dice que cuando el oído capta la presencia de estos cortos e inaudibles tiempos de retardo en la acústica normal y cotidiana, el sistema auditivo pone a trabajar una serie de mecanismos que construyen la perspectiva auditiva.

Los tiempos de retardos tempranos o cortos pueden ser definidos como la reiteración de eventos sonoros dentro del primer veintavo de segundo, y en el medio natural causados gracias a las reflexiones en la sala.

El oyente no percibe esas reflexiones totalmente, ya que el sistema auditivo integra esta familia de retardos tempranos con el sonido original de manera que aparecen en los oídos y mente del oyente en forma de un sonido directo y reflexiones tempranas, aunque en realidad este sonido no es tan simple ya que tiene un timbre mucho más rico que si se escucha el sonido directo solitario.
Dentro de los dispositivos de eco y retardos (delay) los parámetros más comunes en el procesamiento son:

Tipo (type)
Es la selección del tipo de eco y retardo; estos pueden ser: Mono, Estéreo, Ping-pong, etc.

Tiempo de retardo (Delay Time)
Es el tiempo existente entre el sonido original y los ecos así como entre eco y eco.

Retroalimentación (Feedback)
Determina la cantidad de repeticiones en los ecos.

Factor de amortiguamiento (Damping Factor)
Este factor determina la velocidad con la que ciertas frecuencias decaen.

Filtro paso-alto (HPF)
Este parámetro afecta a las características tonales de la reverberación, atenuando toda frecuencia inferior a la seleccionada.

Filtro paso-Bajo (LPF)
Este parámetro afecta las características tonales de la reverberación, atenuando toda frecuencia superior a la seleccionada.

3.9.2 Reverberación.

La reverberación es definida como un múltiple eco que se superpone sobre el sonido original y sobre sí mismo, produciéndose en un tiempo tan breve como para parecer un sonido único. Otra manera de entender la reverberación es como una gran cantidad de ecos aleatorios ocurriendo muy cerca unos de otros, siendo percibidos como una repetición sostenida de la fuente de sonido, una vez que está fuente cesó.

El recinto en sí es quien determina la naturaleza de la reverberación que se produce. Su forma y tamaño, así como los materiales usados en su construcción, definen el número, dirección y contenido espectral de las primeras reflexiones, la forma y velocidad en que las reflexiones se convierten en reverberación, así como las características tímbricas del decaimiento de la reverberación.

Al hablar de procesadores simuladores de reverberación, la meta consiste en recrear el sonido que más se asemeje a lo acontecido en la naturaleza, esto mediante el ajuste de los parámetros de estos equipos:

Tiempo de reverberación o tiempo de decaimiento.
Se define como el periodo de tiempo que le toma al nivel de presión sonora original disminuir 60 dB SPL.
Este parámetro depende de la dimensión de la sala, de su forma, del tipo de superficies, etc.

El decaimiento
Determina el tiempo que le toma al sonido original y todas sus reflexiones desaparecer. Lugares con superficies muy reflejantes entregan tiempos más lentos que lugares con superficies absorbentes.
Algunas unidades ofrecen también tiempos de decaimiento para las altas y las bajas frecuencias.
Los parámetros que afectan las características tonales de la reverberación son filtros paso-alto (HPF) y paso-bajo (LPF), así como factores de amortiguación.

Damping factor.
Este factor de amortiguación determina la velocidad con la que ciertas frecuencias decaen.

Otro posible ajuste, es el tiempo y nivel de las reflexiones tempranas. Para simulaciones reales, los parámetros de las primeras reflexiones son ajustados de acuerdo al tamaño del espacio por simular, y calculados a partir de la velocidad de sonido y las dimensiones del lugar.

Pre-retardo (Pre-delay)
Determina el intervalo de tiempo que transcurre entre el sonido original y el inicio de la reverberación. El pre-retardo se determina siendo un tiempo un poco más largo que la última de las primeras reflexiones.

Difusión y densidad
Determinan el grado con el cual los ecos que componen la reverberación son esparcidos.

Nivel de ataque (atack)
Se refiere a la relación con la que la reverberación crece en volumen. Un recinto con paredes a una mayor distancia tendrá un ataque más lento que un recinto pequeño, el cual tendrá ataques más rápidos.

3.9.3 Procesador de efectos.

El procesador de efectos nos permite crear o modificar el sonido de tal forma que podamos percibir ambientes o condiciones acústicas particulares.

Sus principales aplicaciones son:

- Efectos para dar a voces mayor profundidad e impacto.
- Crear simulaciones de recintos acústicos específicos.
- Cambiar rangos de frecuencias fundamentales del sonido

Todos los efectos son construidos variando factores como el tiempo de retardo, la mezcla de retroalimentación y factores de modulación.



Figura 83. Procesador de efectos Yamaha SPX2000

3.9.4 Delay. (Procesador retardador).

Los dispositivos de retardo (DELAY) tienen como objetivo retrasar la señal de salida con respecto a la de entrada.

Sus principales aplicaciones son:

- Retrasar el arreglo de bocinas (Delay) con respecto al arreglo P.A con la finalidad de ponerlos en fase y lograr una suma máxima de SPL.
- Realizar retrasos entre vías del espectro sonoro.

Su principio de funcionamiento se basa en el concepto de ecos y retardos anteriormente estudiado.

Aunque algunos de los equipos procesadores de Delay cuentan con sofisticados métodos de auto determinación de tiempos de retraso, es importante recordar la forma en que podemos calcular el tiempo al que necesitaremos ajustar nuestro procesador debido a la distancia entre el cluster de P.A y el arreglo Delay:

$$t\,[s] = d\,[m] \,/\, v\,[m/s].$$

$$t\,[s] = (\, d\,[m] / 343\,[m/s]\,).$$

t = Tiempo de retraso.
d = distancia entre P.A y delay.
v = velocidad del sonido. 343 [m/s].

Por ejemplo: Si el valor de d = 60 [m].

$$t = (\, 60\,[m] \,/\, 343\,[m/s]\,) = 0.17$$
$$\mathbf{t = 0.17\,[s].}$$



Figura 84. Procesador digital delay Yamaha D5000.

3.9.5 Armonizadores y transpositores de tono.

Los transpositores de tono (*pitch shifting*) son dispositivos que se utilizan para modificar la altitud o tono de la señal tratada. Por lo general esta modificación llega a ser de hasta un par de octavas por encima o por debajo del sonido original y la cantidad de cambio es generalmente ajustada en semitonos, aunque puede llegar a ajustarse en centésimas de tono.
Pueden ser particularmente útiles para hacer correcciones sobre cualquier instrumento o voz cuya afinación es dudosa, ya que sin alterar el eje del tiempo pueden cambiar el tono.

Los armonizadores (*harmonizers*) son otros dispositivos que pueden alterar la afinación. Su uso consiste fundamentalmente en enriquecer el sonido de un instrumento añadiendo notas armónicas a la señal original.

Hasta hace poco, sólo era posible obtener armonías de intervalo fijo; no obstante existen nuevos equipos “inteligentes” que permiten seleccionar al usuario tipos específicos de escalas, obteniendo armonías ajustadas automáticamente.

Así pues los transpositores de tono y los armonizadores pueden producir una amplia variedad de efectos. Ellos pueden crear armonías, cambiar el tono sin cambiar la duración del programa, cambiar la duración sin cambiar el tono y algunas otras variantes.

3.10 Distribuidores de señal.

Los distribuidores de señal tienen un papel muy importante dentro de los sistemas de sonorización de grandes dimensiones ya que su función es distribuir una señal hacia varios sub sistemas, por ejemplo una señal a la consola de sonorización, a una unidad de televisión, a una transmisora de radio, a un sistema de grabación etc; donde se requiere que dichas señales mantengan las propiedades de la original y que no se induzcan ruidos.

Algunas de las funciones y/o ventajas adicionales que en algunos distribuidores de alta calidad contienen son:

- Proporcionar control de ganancia, mutéo, y controles de ecualización optimizada para cada sistema.
- Mantiene la integridad de la señal para aplicaciones de largos cableados (debido a que preamplifica la señal de entrada para distribuirla en varias salidas).
- Pueden controlar sistemas de downfill, frontfill, y retardo (Delay) permitiendo enviar niveles de señal independientes para altavoces dirigidos a diferentes áreas.

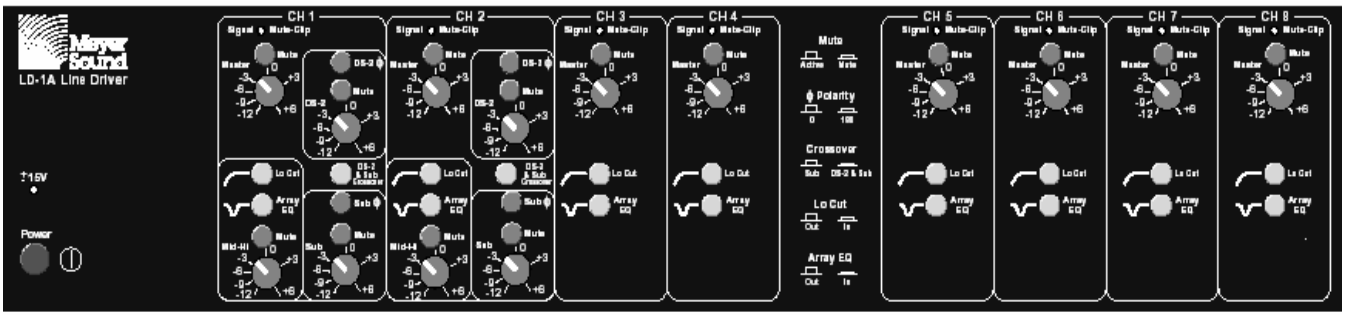


Figura 85. Distribuidor de señal 8 canales Meyer sound LD-1.

3.11 Amplificadores.

El amplificador de audio es el elemento de nuestro sistema que tiene como objetivo transformar la señal de línea (entrada) en señal high level (salida).

La señal de salida del amplificador debe ser idealmente una copia fiel a la señal de entrada conservando todas sus propiedades, con la única diferencia de que la magnitud de la señal de entrada (con valores de mili volts o micro volts) sean multiplicados un número determinado de veces resultando una señal de suficiente amplitud para ser reproducida por los altavoces.

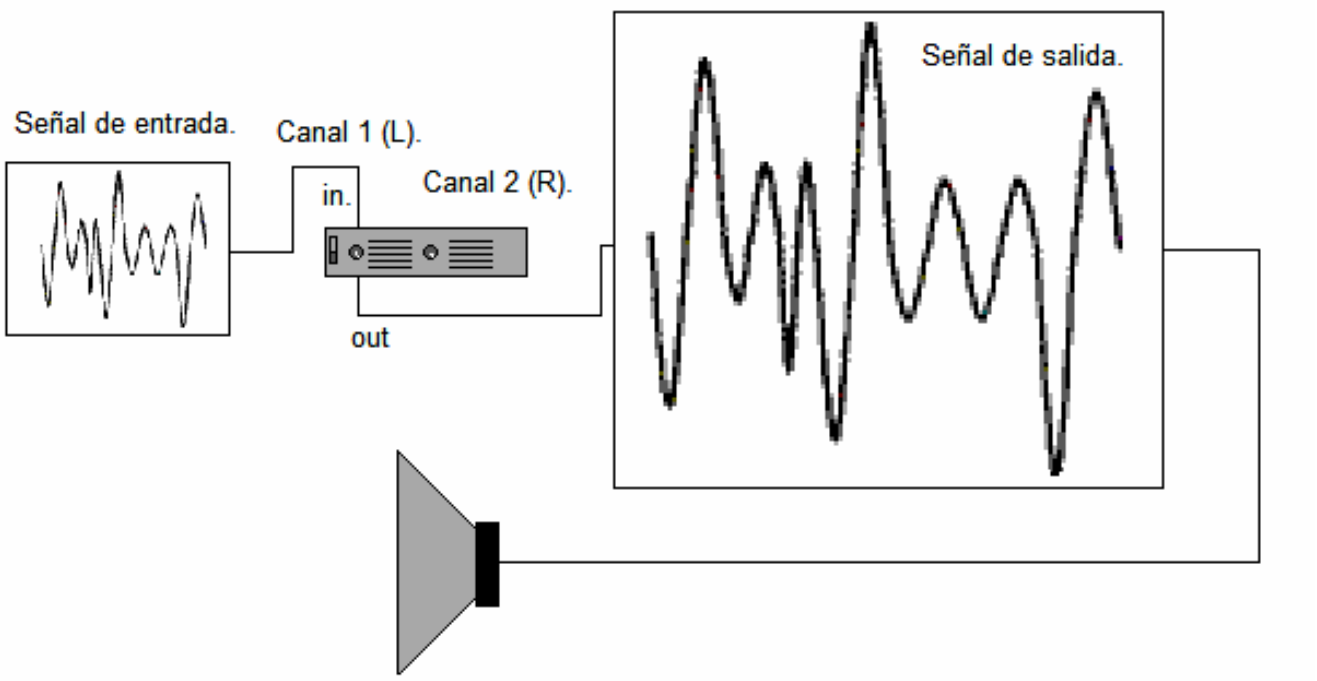


Figura 86. Amplificador de audio en sistemas sonoros.

3.11.1 Controles e indicadores de un amplificador de audio.

A continuación se muestran las partes y controles más importantes de un amplificador de audio profesional.

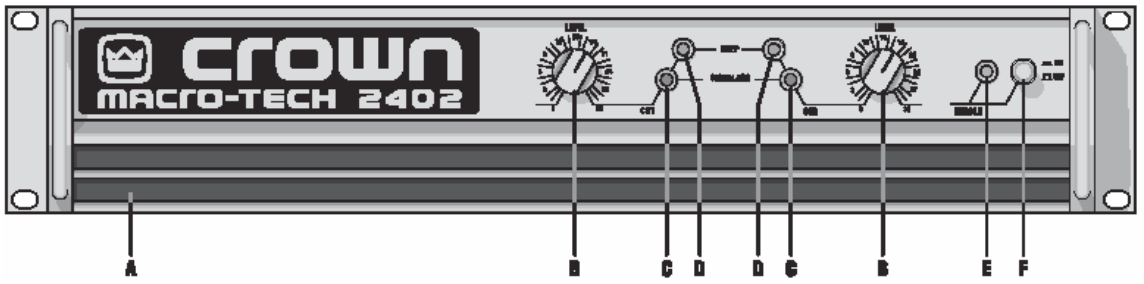


Figura 87. Amplificador Crown macro-tech 2402.

A – Este es un filtro (que solo en algunos modelos existe) que nos sirve para evitar la existencia de polvo, basura, elementos metálicos, etc. dentro de la electrónica de nuestro equipo debido al aire circulante de los ventiladores internos. Este filtro puede ser extraído fácilmente para poder limpiarlo cada vez que sea necesario.

B – Level controls. Este es el control de atenuación de ganancia o de sensibilidad. Controla la ganancia con la que el amplificador multiplica el voltaje que le es aplicado a la entrada (tiene un control independiente por canal).

C – Signal. Este es un led indicador que nos permite visualizar cuando está presente la señal de entrada en el amplificador mediante el destello de luz proporcional al comportamiento de la señal.

D – Clip. Este es un led indicador que advierte que se rebasó el Headroom disponible, por lo que se encuentra operando en condiciones severas. O sea es un indicador de seguridad.

E – Enable indicador. Este led se enciende cuando el equipo esta polarizado (conectado a la fuente de corriente alterna y el equipo está encendido).

F – Enable Switch. Este es el switch mediante el cual encendemos el amplificador para que pueda comenzar a funcionar.

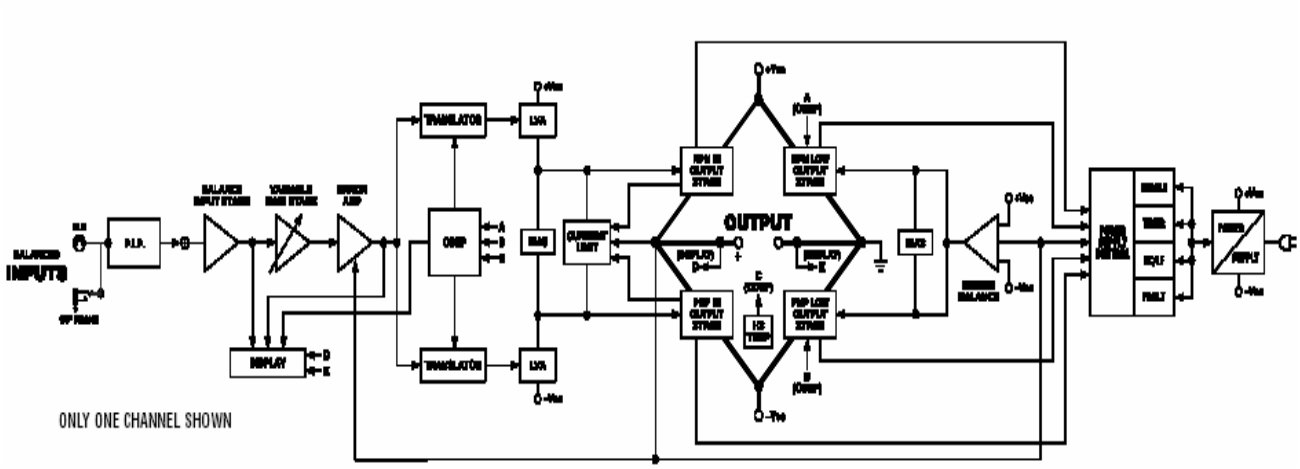


Figura 88. Diagrama de bloques de un canal de amplificación (amplificador Crown 2402).

3.11.2 Conexiones de entrada y salida de un amplificador.

La conexión de entrada puede ser mediante conectores TRS, XLR, barrier strip (barra de tornillos), etc. Y su carga de impedancia esta entre 10 kΩ a 15 kΩ para líneas desbalanceadas y de 20 kΩ a 45 kΩ para líneas balanceadas.

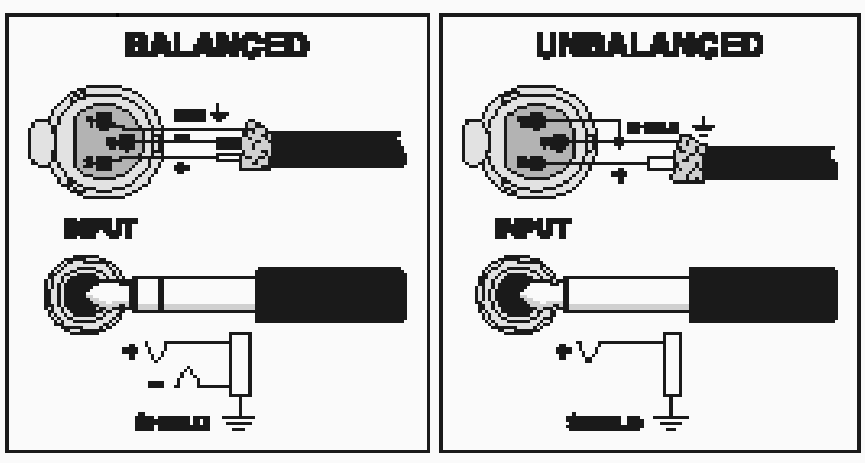


Figura 89. Conexiones balanceadas/desbalanceadas mediante conector XLR/Plug a la entrada del amplificador.

La conexión de salida puede ser mediante conector Plug TS o conectores bananas hembras, y su carga de impedancia para la salida puede variar de 2Ω a 16Ω.

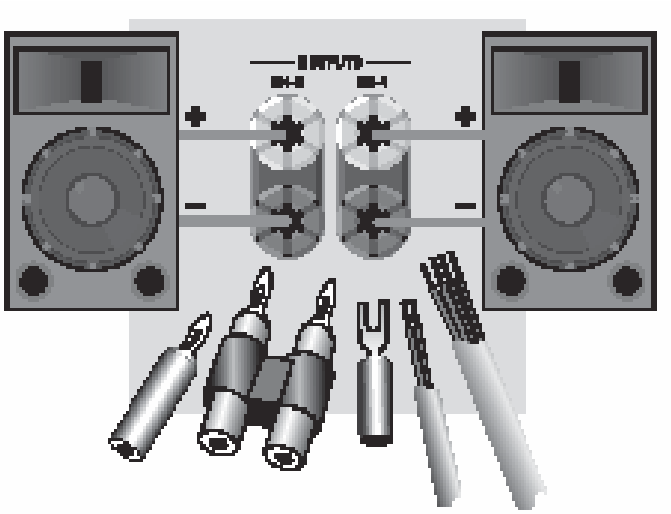


Figura 90.Conexión a la salida del amplificador mediante conectores Banana hembra.

3.11.3 Tipos de configuración en amplificadores de potencia.

1. Estereo.
2. Mono bridged.
3. Mono paralelo.

La mayoría de los amplificadores tienen un switch para seleccionar el tipo de configuración en la parte posterior.

Estéreo

En conexión esteréo el amplificador se comporta como dos amplificadores completamente independientes, pudiendo tener señales de entrada independientes, con su respectivo control de nivel.
Este modo de operación es el más común en aplicaciones de sonorización estereofónicas.

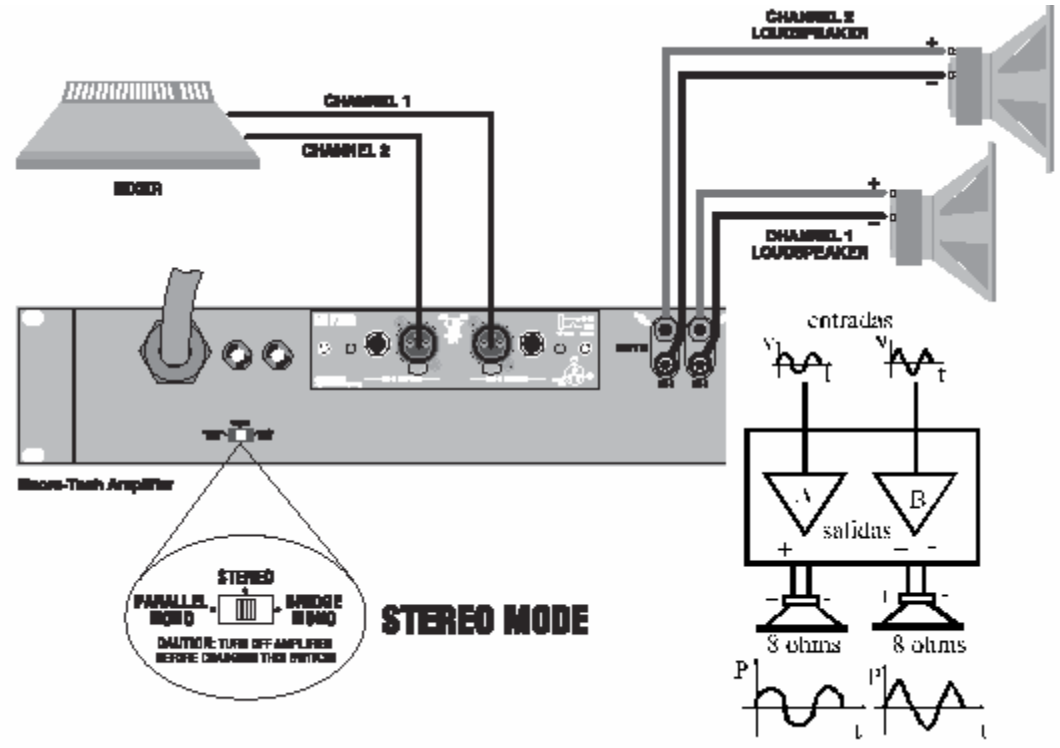


Figura 91. Configuración estéreo de un amplificador.

Mono bridged

El modo bridged consiste en interconectar los dos canales del amplificador de audio, logrando con esto obtener la suma de las potencias individuales del amplificador, y considerando que ambos canales son iguales obtenemos el doble de potencia a la salida.

Es importante considerar que debido al arreglo de los amplificadores internos se estará trabajando en realidad a la mitad de la impedancia en que se encuentre nuestra carga. (Altavoz o arreglo de altavoces).

Ejemplo:

Altavoz 1 Z1 = 8 [ohms].
Altavoz 2 Z2 = 8 [ohms].

Conectados en paralelo resulta Z3 = 4 [ohms].

Pero conectados en bridged en realidad equivale a estar trabajando a la mitad de dicha impedancia

Z4 = 2 [ohms].

(Lo cual en realidad es trabajar bajo condiciones fuera de las recomendadas por el fabricante (mínimo a 4 ohms)).
Generalmente para esta configuración la señal de entrada debe ser conectada al primer canal (canal 1, canal A, o canal L).

Para la salida del amplificador se tomará como positivo en polo positivo del primer canal, mientras que para el negativo se tomará en positivo del segundo canal (ver figura 92).

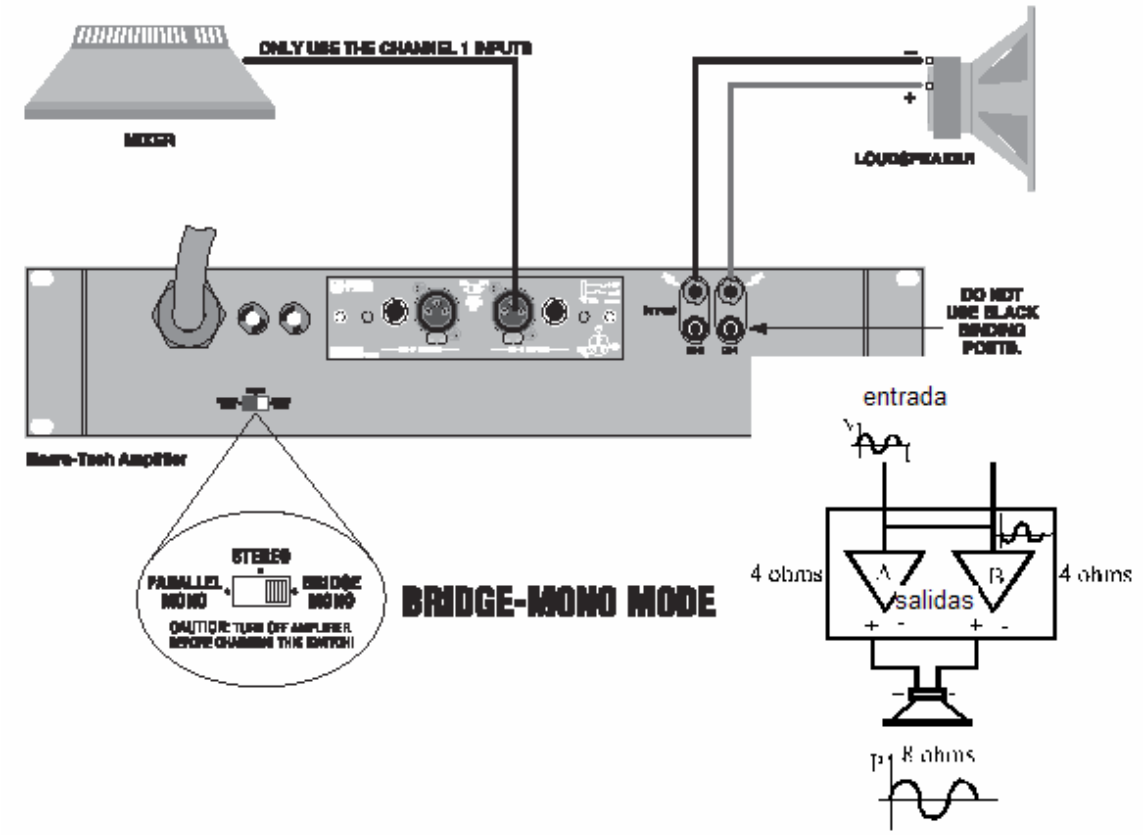


Figura 92. Configuración Bridged en un amplificador.

Esta configuración se utiliza como recurso por ejemplo; cuando se requiere alimentar un altavoz de bajas frecuencias el cual necesita mayor potencia que la de un canal individual del amplificador.

Mono paralelo. En este caso las entradas de ambos canales pueden ser usadas indistintamente.
Las dos salidas del amplificador reproducirán lo que entre por una u otra entrada.

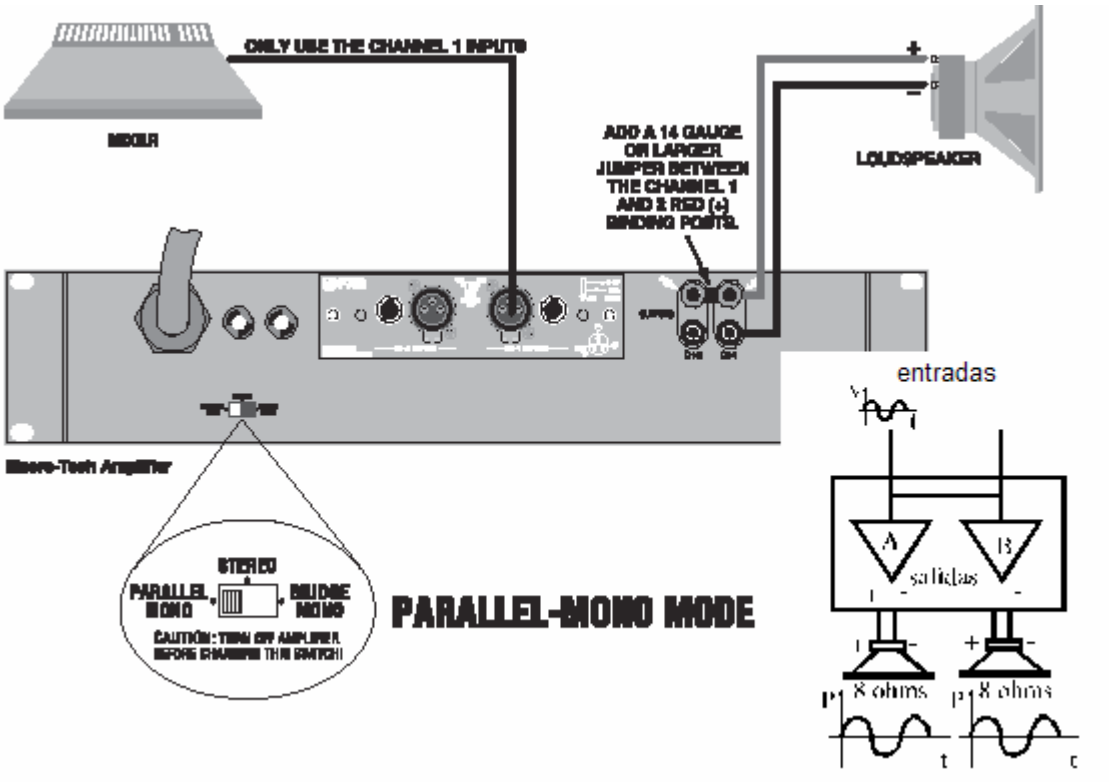


Figura 93. Configuración mono paralelo en un amplificador.

3.11.4 Especificaciones eléctricas de un amplificador.

Debido a la importancia de interpretar correctamente las especificaciones eléctricas de los amplificadores, a continuación se definirán las más comunes.

3.11.4.1 Potencia de salida.

La potencia de salida se refiere a la máxima potencia que el amplificador es capaz de producir.

Dicha capacidad depende de varios factores:

- La duración en tiempo de la señal reproducida. (se pueden alcanzar mayores valores de potencia en intervalos sumamente cortos a comparación del tiempo necesario para una aplicación real).
- El intervalo de frecuencia reproducido. (la potencia depende directamente de la frecuencia reproducida).
- El valor de la impedancia de entrada del transductor. (con una carga de 2 ohms se puede alcanzar mayor potencia de salida que con carga de 8ohms).
- El nivel de distorsión aceptado. (se puede alcanzar mayor potencia pero el porcentaje de distorsión seria muy considerable).

En general las especificaciones de potencia de los diversos fabricantes se han establecido bajo las siguientes condiciones:
Expuesta por la asociación de la industria electrónica (EIA), es principalmente una prueba de capacidad térmica realizada con una onda senoidal de 1 kHz durante una fracción de segundo.

A continuación se muestra una tabla de máxima potencia de salida de un amplificador correspondiente a distintas configuraciones, valores de impedancia y valor de frecuencia.

Macro-Tech 2402 – Maximum Power (Watts)									
AC Mains	Stereo-Mono Mode	Load (Ohms)	Single Cycle Tone Burst At less than 0.05% THD (See note 1)				40 Millisecond Tone Burst At 0.05% THD (See note 2)		
			20 Hz	50 Hz	1 kHz	7 kHz	50 Hz	1 kHz	7 kHz
120 VAC, 60 Hz Units	Stereo (both channels driven)	2	1015	1405	1715	1675	1250	1090	1145
		4	780	965	1310	1270	960	795	830
		8	585	600	710	690	545	510	535
	Bridge-Mono (balanced output)	4	2010	2745	3380	3380	2485	2175	2285
		8	1590	1915	2610	2550	1775	1590	1660
		16	1120	1185	1420	1375	1085	1025	1065
	Parallel-Mono	1	1960	2780	3145	3045	2510	2145	2225
		2	1585	1955	2605	2505	1685	1580	1630
		4	1125	1185	1410	1365	1125	1020	1080
International Units	Stereo (both channels driven)	2		1485	1855	1690	1340	1080	1135
		4	835	1085	1515	1480	975	835	875
		8		690	825	800	825	585	585
	Bridge-Mono (balanced output)	4	2055	3000	3390	3335	2680	2140	2250
		8		2165	3055	2935	1950	1670	1740
		16	1165	1395	1675	1610	1245	1145	1190
	Parallel-Mono	1		2985	3065	3085	2845	2155	2235
		2	1665	2160	3040	2945	1940	1685	1735
		4		1375	1655	1600	1235	1125	1170

Figura 94. Máximo nivel de salida del amplificador Crown 2402.

3.11.4.2 Sensibilidad de entrada (Input sensitivity).

La sensibilidad de entrada se refiere al voltaje que necesita recibir el amplificador para alcanzar su máxima potencia de salida.
La sensibilidad de entrada es especificada por el fabricante y normalmente considera la perilla de atenuación en su posición máxima.

3.11.4.3 Ganancia de Voltaje (voltage gain).

La ganancia de voltaje (es la relación que existe entre el voltaje de salida y el voltaje de entrada de un amplificador, indica el número de veces que es aumentando el voltaje de entrada.
En las especificaciones la ganancia de voltaje puede estar especificada en dB, multiplicador o sensibilidad. La formula para determinar la ganancia de voltaje como multiplicador, a partir del voltaje de salida y del voltaje de entrada es:

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

La fórmula para conocer la ganancia de voltaje en dB, a partir del voltaje de salida y el voltaje de entrada es:

$$G_{dB} = 20\log_{10} \frac{V_{salida}}{V_{entrada}}$$

3.11.4.4 Poder de ancho de banda.

El poder de ancho de banda se refiere a la capacidad que un amplificador tiene para reproducir en forma eficaz el intervalo de frecuencias asignado.

3.11.4.5 Respuesta de frecuencia.

La respuesta de frecuencia de un amplificador es la capacidad de reproducir cada una de las frecuencias de un intervalo establecido.

La respuesta de frecuencias, mayormente, tiende a ser combinada, con variaciones de amplitud que, dependiendo de la calidad del amplificador, puede variar de ± 3 dB a ± 1 dB. La información de respuesta de frecuencia se expresa en estos términos en los manuales.

Es importante considerar que en la respuesta en frecuencia debido a diferentes cargas de impedancia, las variaciones de amplitud son mayores cuando la impedancia disminuye.

3.11.4.6 Rapidez de respuesta (Slew Rate).

La rapidez de respuesta (slew rate) es la eficiencia con la que la señal es amplificada y se mide en volt/^{m} s, la rapidez de respuesta depende mucho del voltaje y su frecuencia, ya que debe haber una suma coherente al momento de la amplificación.

3.11.4.7 Factor de Amortiguamiento (Damping factor).

El factor de amortiguamiento es el control del amplificador sobre la excursión del altavoz, el cual está directamente relacionada con la carga de impedancia, si la impedancia es alta, el *Damping factor* es mayor, si la impedancia es baja el damping factor disminuye.

En los amplificadores no se especifica en general la impedancia de salida pero es posible calcularlo de la relación entre la impedancia nominal de carga y la impedancia real de salida del amplificador.

Ejemplo.
Si un amplificador que se encuentra con una carga de 4 ohms [Ω] y cuya impedancia de salida es de 0,02 ohms [Ω] el factor de amortiguamiento se puede calcular de la siguiente manera.

F.A = (Z nom. De carga) / (Z real de salida).

$$\text{F.A.} = \frac{4}{0{,}02} = 200$$

Y para comprobar que cuando la impedancia de carga aumenta, también lo hace el factor de amortiguamiento; supongamos ahora que la impedancia de la carga fuera de 8 ohms.

Tendríamos:

$$\text{F.A.} = \frac{8}{0{,}02} = 400$$

3.11.5 Tendencias de los amplificadores de audio.

Al igual que todos los elementos de la cadena de audio; los amplificadores han evolucionado notablemente y hoy en día sus tendencias hablan de las siguientes características:

- Reducir su peso y dimensiones.
- Minimizar el consumo de corriente.
- Diseñar amplificadores para aplicaciones específicas.
- Sistemas de bocinas preamplificados (solo requieran ser polarizados, ya que internamente ya tienen un amplificador especifico).
- Debido a normas europeas, minimizar interferencias electromagnéticas.
- Existencia de sistemas de diagnostico y monitoreo de amplificadores.
- Posibilidad de ser controlados remotamente.

3.12 Sistemas de bocinas.

A continuación estudiaremos los sistemas de bocinas como un solo elemento de la cadena de audio aunque es importante considerar que en realidad se componen por dos. Estos elementos son:

> Altavoz. Como ya sabemos dentro de los sistemas de sonorización el altavoz es el transductor de salida y nos permiten convertir la señal eléctrica final de nuestro proceso electrónico en energía acústica (ondas sonoras).
>
> Bafle. El bafle o caja acústica se refiere al elemento que sirve para soportar los altavoces, además de reducir o prevenir la cancelación de la radiación del frente del diafragma debida a la radiación defasada de la parte posterior.

Así que consideraremos a las bocinas como el último elemento de nuestra cadena de audio debido a que son ellas las que generan el resultado final de todo nuestro proceso.

De los sistemas de altavoces podrían surgir temas completos de tesis debido a sus complejidades, principios de operación, fenómenos acústicos, desarrollos tecnológicos, etc. pero dentro de este anexo únicamente analizaremos los conceptos básicos que se consideran necesarios para poder aplicarlos en la optimización de sistemas de sonorización para música en vivo.

3.12.1 Tipos de altavoces en función del rango de frecuencias a reproducir.

Como ya sabemos el rango de frecuencias audible representativo del ser humano es de 20 hz a 20,000 hz y ocupando la formula para el cálculo de la longitud de onda tenemos:

Longitud de onda (λ) = c (vel del sonido) / f (frecuencia).

Sabiendo que:

C = velocidad del sonido = 343 [m/s].

La longitud de onda de 20 hz es:

λ = 343 [m/s] / 20 [Hz].
λ **= 17.15 [m / ciclo]**

y la longitud de onda de 20,000 [Hz] es:

λ = 343 [m/s] / 20,000 [Hz].
λ **= 0.02 [m / ciclo].**

Es decir:

Entre 17.15 metros de longitud de onda de una frecuencia baja y 0.02 metros de longitud de onda de una frecuencia alta existe una enorme diferencia, por lo que sería muy difícil encontrar un altavoz con la capacidad de reproducir ambas y es por eso que el rango de frecuencias puede ser dividido en varias partes y de esta manera lograr construir altavoces específicos para cada rango y mediante la conjunción de ellos lograr reproducir de manera adecuada todo el espectro sonoro.

La clasificación más común de los altavoces de acuerdo a su respuesta en frecuencia es la siguiente:

Subwoofer. Altavoz de muy baja frecuencia (debajo de 80 hz).
Woofer. Altavoz de bajas frecuencias (aprox 20 a 700 hz).
Squaker. Altavoz de frecuencias medias. (aprox de 400 hz a 8 khz).
Tweeter. Altavoz de altas frecuencias (aprox de 3khz a 14 khz).
Supertweeter. Altavoz de muy altas frecuencias (aprox 12 khz a 20 khz).

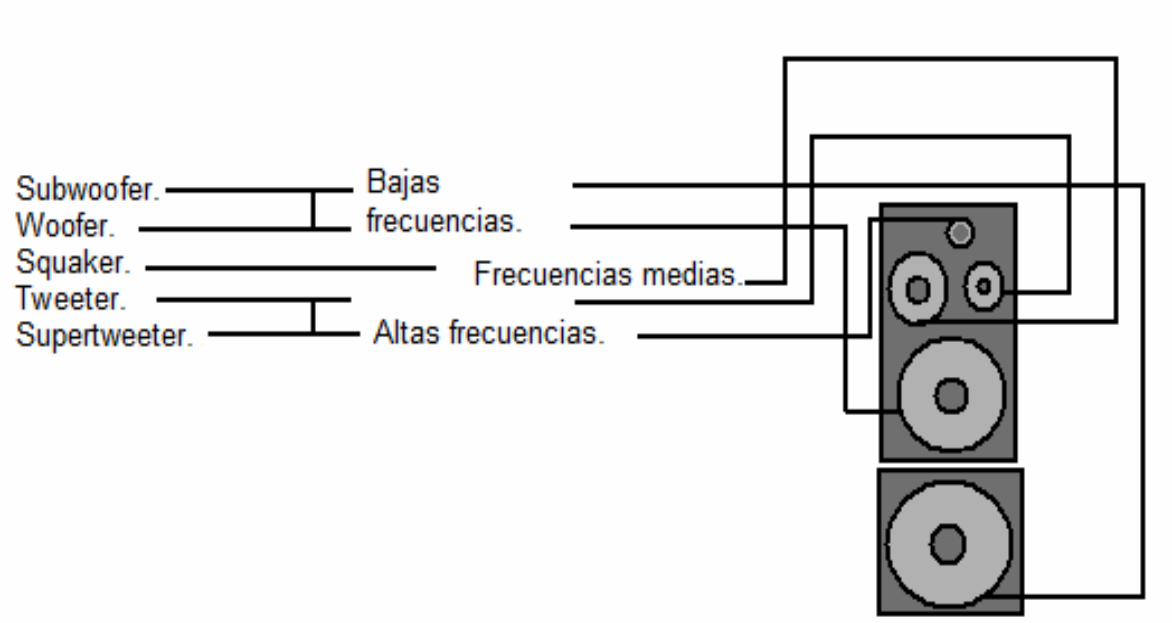


Figura 95. Altavoces para todo el rango de frecuencias.

3.12.2 Tipos de altavoces por principio de operación.

A continuación se describen los principales tipos de altavoces en función de su principio de operación.

3.12.2.1 Altavoces electrodinámicos

El altavoz electrodinámico es el más común dentro de los sistemas de sonorización profesionales y se compone por las siguientes partes:

- Imán permanente y placas posterior y anterior.
- Bobina móvil.
- Cono o diafragma.
- Suspensión interna del cono o “araña”.
- Suspensión externa del cono.
- Canasta o cuerpo principal “chasis” o “canasta”.
- Cables de conexión de la bobina “trencilla”.
- Bornes de entrada.
- Tapa de retención de polvo.

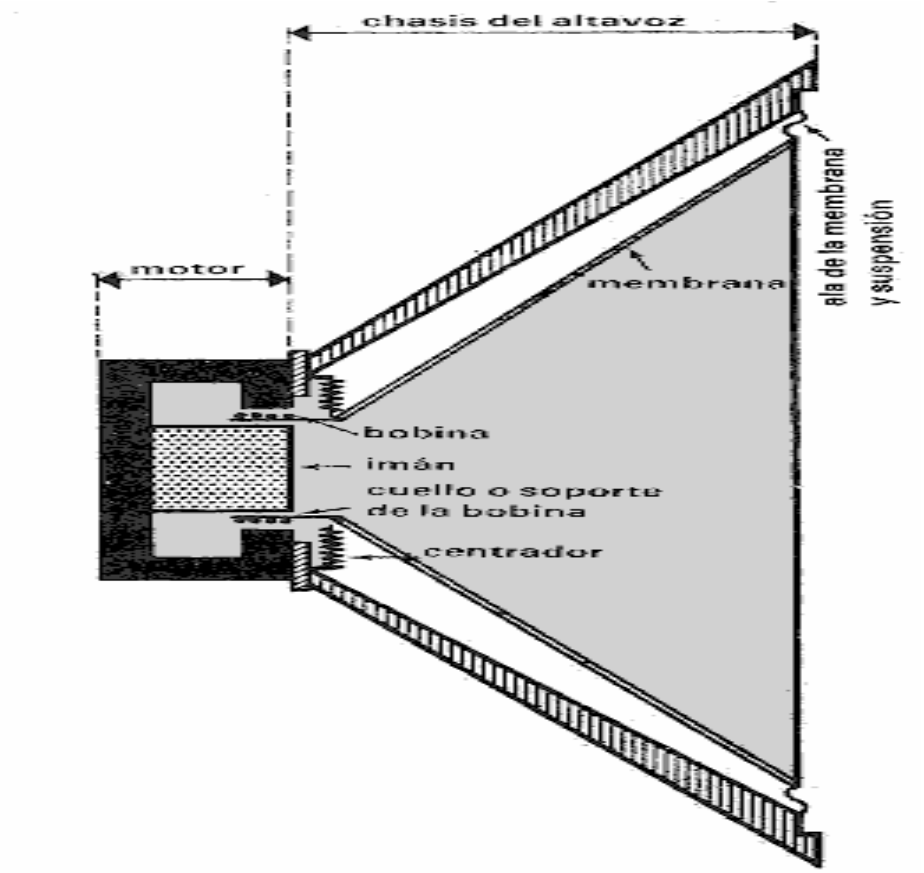


Figura 96. Altavoz electrodinámico.

Funcionamiento de un altavoz electrodinámico.

Para que el transductor funcione la bobina móvil del altavoz se conecta a la salida del amplificador a través de las terminales, debido a esto por ella circula una corriente con forma, frecuencia y amplitud determinada por la señal que le envía el amplificador.

Alrededor de los alambres de la bobina se produce un campo magnético cuya magnitud es proporcional a la corriente que lo atraviesa y como la bobina se encuentra dentro del campo magnético creado por el imán permanente se origina una fuerza que tiende a hacer que la bobina se aleje de dicho campo magnético permanente.

Esta fuerza depende del flujo magnético en el entrehierro, de la longitud de la bobina y de la magnitud de la corriente que la atraviesa (como se puede ver en la siguiente formula):

$$f_f = Bli$$

Donde:

f_f es la fuerza en newton [N].
B es la densidad de campo magnético en el entrehierro en [Wb m^{-2}] (Weber por metro cuadrado)
l es la longitud efectiva en metros [m] del conductor eléctrico dentro de las líneas de flujo
i es la corriente eléctrica en amperes [A].

El cono del altavoz se moverá hacia adentro o hacia fuera (debido al movimiento de la bobina) en función del sentido en que circule la corriente. Cada vez que el cono se mueva este producirá compresiones en el medio (aire) en una y otra cara de él, formándose ondas acústicas que son transmitidas mediante el aire asta nuestros oídos, chocan y provocan una serie de movimientos en algunos mecanismos que lo conforman, que dan como resultado impulsos eléctricos que terminan en el cerebro y crea en nosotros la sensación de la audición.

3.12.2.2 Altavoz piezoeléctrico.

El altavoz piezoeléctrico tiene básicamente el mismo principio de operación que el micrófono piezoeléctrico (estudiado es este capitulo).

Las propiedades piezoeléctricas de un material consisten en que cuando dicho material es deformado por presión o torsión genera un voltaje.

En el caso de los micrófonos piezoeléctricos hay un perno deforma al diafragma cada ves que las ondas sonoras provocan vibración y de esta forma es generado un voltaje, y para los altavoces es de manera inversa; son aplicados impulsos eléctricos al dispositivo y resulta la contracción del material piezoeléctrico.
La superficie de radiación es muy pequeña, lo que hace que sea muy empleado para trabajar con frecuencias altas. Este tipo de altavoz tiene la virtud de lograr emitir frecuencias mayores a las del rango audible, por lo que puede tener aplicaciones distintas a sonorización.

3.12.2.3 Altavoces electrostáticos.

El altavoz electrostático tiene un funcionamiento basado en la variación de la distancia entre las placas de un condensador (una fija y otra móvil).

Sus principales ventajas son:

Respuesta de frecuencia muy amplia dentro de la gama de audio.
Respuesta en frecuencia plana dentro de la gama de audio.

Sus principales limitaciones son:

- Altos precios.
- Muy voluminosos.
- Muy delicados.
- Requieren alimentación eléctrica.

3.12.3 Características técnicas de los altavoces.

Debido a la importancia de interpretar correctamente las especificaciones eléctricas de los sistemas de bocinas, a continuación se definirán las más comunes.

3.12.3.1 Respuesta en frecuencia.

La respuesta en frecuencia de un altavoz nos indica la precisión con la que puede reproducir todo el rango de frecuencias.

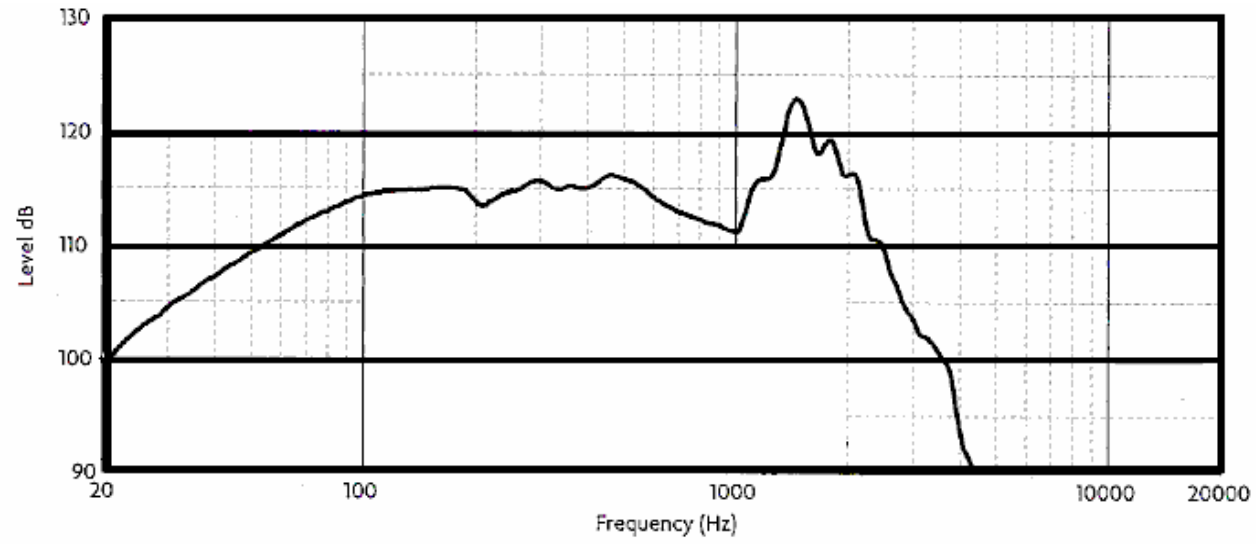


Figura 97.Respuesta en frecuencia de un altavoz.

3.12.3.2 Eficiencia.

La eficiencia se define como la relación entre la potencia acústica radiada por la bocina con la potencia eléctrica consumida.

Eficiencia = (Pot. acústica radiada / Pot. Eléctrica consumida).

3.12.3.3 Sensibilidad.

La sensibilidad nos indica la relación entre el SPL generado y la energía que requerirá la bocina para lograr dicho objetivo.

Para estandarizar dicha propiedad se han tomado como valores de medición
1 metro de distancia en la dirección del eje de mayor radiación de la bocina cuando es excitado con 1 Watt de potencia eléctrica.

3.12.3.4 Impedancia.

La impedancia de un altavoz es una característica técnica muy importante a considerar; los factores que determinan su valor son:

- La resistencia medida en ohms del hilo de la bobina móvil, dependiente de la longitud, sección y material del hilo.
- La reactancia inductiva de la bobina móvil, dependiente de la frecuencia aplicada y del coeficiente de autoinducción de la misma.
- Las corrientes inducidas “Hedí” en la bobina móvil, a causa de sus desplazamientos dentro del campo magnético de excitación del imán permanente.

Impedancia equivalente de arreglos de altavoces.

Las configuraciones básicas para conectar bocinas o sistemas de bocinas son:

En paralelo.

La conexión o configuración en paralelo tiene una impedancia equivalente determinada por la siguiente formula:

$$Z_T = \frac{1}{1/Z_1 + 1/Z_2 + 1/Z_3 + \cdots + 1/Z_n}$$

En serie.

La conexión en serie tiene una impedancia equivalente determinada por la siguiente formula:

$$Z_T = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \cdots + Z_n$$

3.12.3.5 Frecuencia de resonancia.

La frecuencia de resonancia nos indica el valor de frecuencia donde el sistema mecánico en conjunto entra en resonancia
La resonancia se define como la coincidencia de frecuencias entre los estados de vibración de dos o mas elementos. La vibración podrá ser mas o menos intensa, según el estimulo recibido, pero la frecuencia es invariable.

Cuando dos cuerpos de frecuencia común se influyen, se dice que están en resonancia.
Este parámetro es de gran importancia dentro del audio para lograr un buen acoplamiento entre cajas acústicas y bocinas.

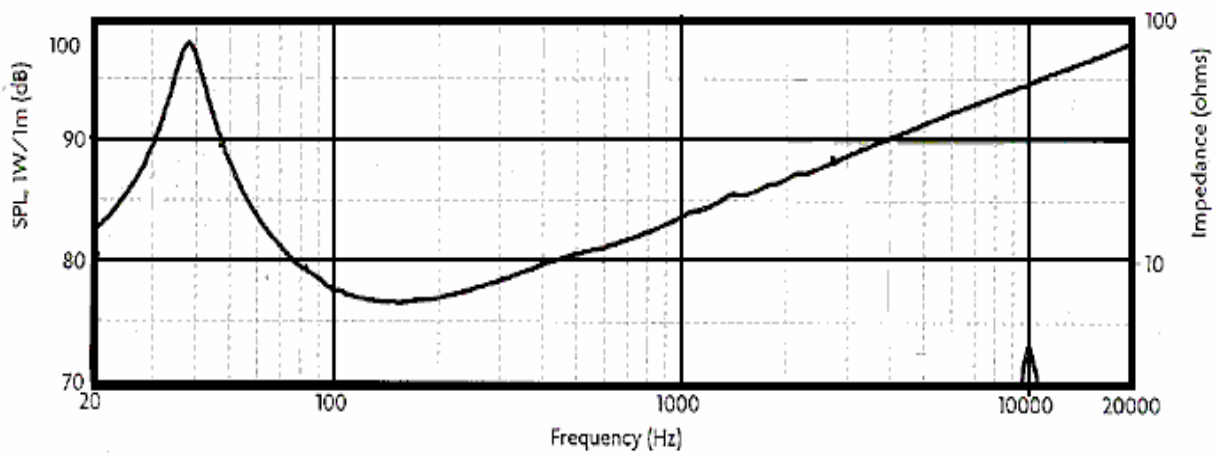


Figura 98. Frecuencia de resonancia.

3.12.3.6 Capacidad de potencia

La capacidad de potencia de un altavoz depende de ciertos factores.

- La duración de la señal reproducida (a menor tiempo la capacidad de potencia aumenta).
- El intervalo de frecuencias reproducida (a menor frecuencia la capacidad de potencia aumenta).
- El valor de la impedancia de entrada del transductor (a menor impedancia la capacidad de potencia aumenta).
- El nivel de distorsión aceptado (a menor distorsión la capacidad de potencia disminuye).

La capacidad de potencia de los altavoces se puede separar en:

<u>Capacidad de potencia térmica.</u>
Se refiere al nivel máximo de potencia que puede soportar la bobina de un altavoz sin sufrir daño. Se relaciona con la temperatura que puede soportar la bobina (al exceder dicho nivel la bobina se quema).

<u>Capacidad de potencia mecánica.</u>
Se refiere al nivel máximo de potencia que pueden soportar los componentes del altavoz sin sufrir desperfectos mecánicos. Se relaciona con el desplazamiento (excursión) del cono o diafragma (al exceder dicho nivel el altavoz se daña, aunque la bobina no se haya quemado).

Para estandarizar especificaciones entre los diversos fabricantes se han establecido distintas condiciones de medición y pruebas:

Continuous o Long Term o RMS

Señal de prueba de larga duración. Mayor a una hora. Se puede llamar continuous pink noise (en caso de que utilice ruido rosa), se le puede llamar long term sine wave (en caso de que se utilice una barrido de onda senoidal). Esta medición proporciona el valor de potencia más bajo.

Program o Music

Señal de prueba de características musicales. Aproximadamente un segundo. Se le puede llamar continuous program (en caso de que la señal de prueba sea pink noise). Esta medición proporciona un valor de potencia 3 dB mayor (el doble de potencia) que la medición continuous/RMS.

Peak o Short Tearm

Señal de prueba de corta duración. Menor a 0.1 segundos. Esta medición proporciona el valor de potencia más alto. 6 dB mayor (cuatro veces más potencia) que la medición continuous / RMS.

Nota: El principal problema es que mientras algunos fabricantes de altavoces presentan sus mediciones basadas en continuous / RMS, otros las presentan basadas en mediciones program / Music, y otros lo presentan basadas en mediciones Peak / Short Term. Lo anterior puede crear confusión y conducir a interpretaciones erróneas.

3.12.3.7. Direccionalidad.

La direccionalidad de un altavoz es la capacidad de dirigir el sonido a una distancia fija en función a su ángulo de giro.

Es importante considerar que la direccionalidad depende directamente de la frecuencia reproducida. Las bajas frecuencias debido a sus longitudes de onda tan grandes se pueden considerar menos direccionales que las frecuencias altas con longitudes de onda muy pequeñas.

La forma de representar la direccionalidad es mediante patrones polares o mapas de presión (cobertura [grados (º)] vs frecuencia).

3.12.3.8. Cobertura.

Esta propiedad tiene una gran importancia en el área de la sonorización, ya que es un factor muy importante para determinar el número de altavoces a utilizar dentro de un recinto, así como su ubicación para lograr un nivel de audio adecuado y uniforme.

Si consideramos por ejemplo un fabricante de altavoces que nos da como especificación una cobertura horizontal de 75º verticales, querrá decir que en el limite de los 75º horizontales el SPL máximo (nivel de presión sonora máximo sobre el eje) disminuirá 6 db, mientras que dentro de dicho ángulo y con una distancia igual o menor que la del SPL max será siempre menor de 6 db la pérdida.

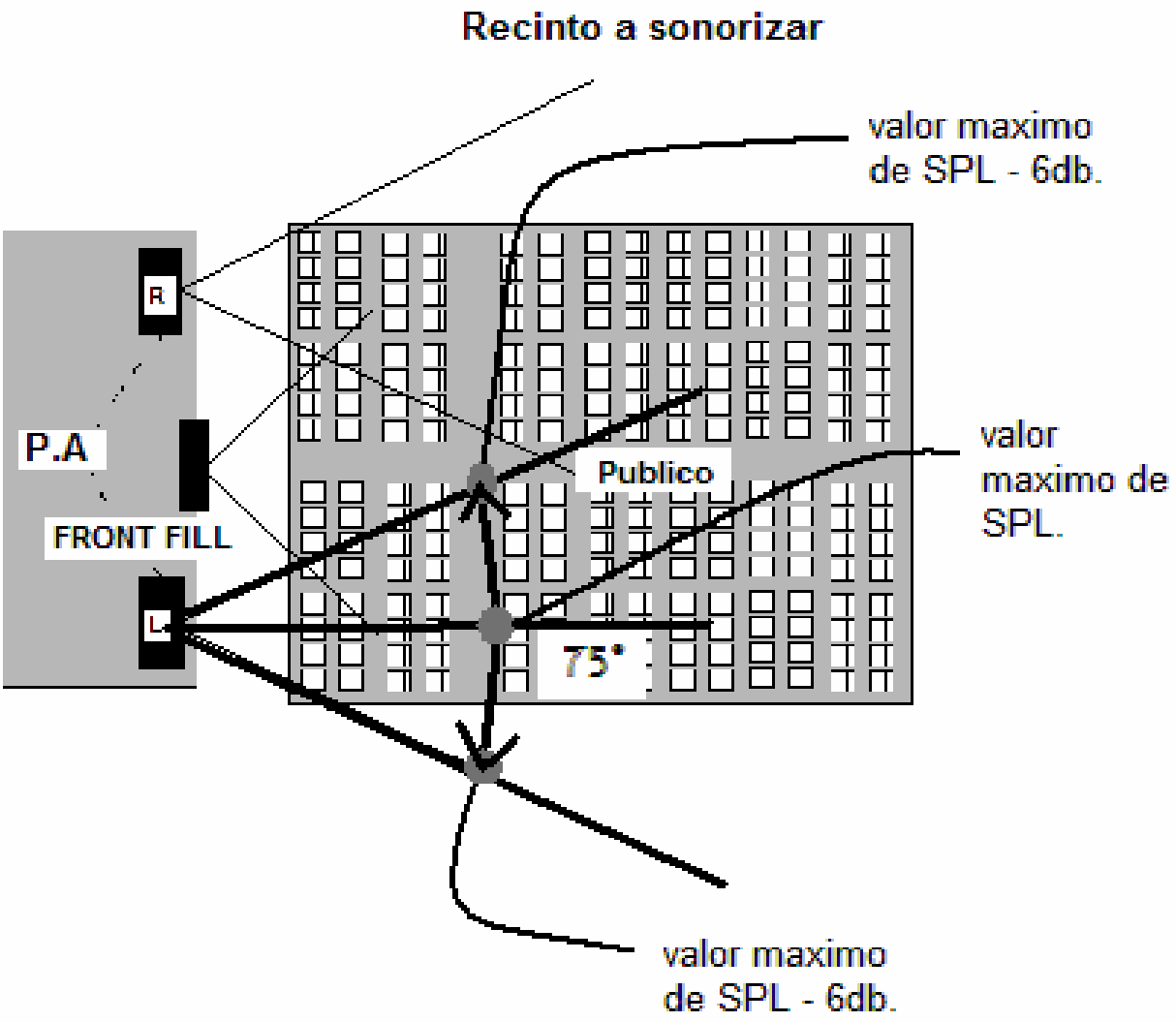


Figura 99. Altavoz con cobertura horizontal de 75º.

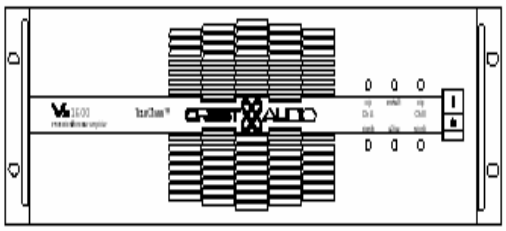
4. Anexo de especificaciones técnicas.

VS1600. AMPLIFICADOR.

CREST AUDIO

Especificaciónes

8Ω Stereo Power †	300 Watts
4Ω Stereo Power †	550 Watts
2Ω Stereo Power †	700 Watts
8Ω Bridged Power †	1100 Watts
4Ω Bridged Power †	1400 Watts
Max RMS Output Voltage (each channel)	55.9V
Peak Output Voltage (each channel)	158V
Frequency Response (+0/-0.3dB, 1W/8Ω)	10Hz-20kHz, -3dB @ 165kHz
Power Bandwidth (Rated power at 4Ω, 1% THD+N)	20Hz-20kHz
TourClass Protection	ACL, IGM, AutoRamp, short circuit, DC voltage, turn-on/off transient, current inrush, sub/ultrasonic input.
THD+N (rated power at 4Ω, 1kHz)	<1.0%
SMPTE IMD (rated power at 8Ω, 60Hz & 7kHz)	<0.1%
Slew Rate	30V/µs
Damping Factor (10-400Hz at 8Ω)	>1000:1
Input CMRR (1 kHz)	> - 64dB
Input Sensitivity (rated power at 8Ω)	1.0V
Voltage Gain	46X
Input Impedance (balanced/unbalanced)	>20kΩ/>10kΩ
Hum & Noise ("A" weighted, full power at 4Ω)	-105 dB
Crosstalk ("A" weighted, full power at 4Ω)	> - 60 dB
Class	AB
Input Connectors (per channel)	TRS (tip +) & Barrier Strip
Output Connectors (per channel)	5-way binding posts or Speakon (market dependent)
Filter Storage	36,000 µF
Power Supply (factory configured)	100V-240V, 50-60 Hz
Idle Current Draw (120V)	2.0A
1/8 Power Curr. Draw (typical music, 120V/4Ω)	8.6A
1/3 Power Curr. Draw (continuous music, 120V/4Ω)	12.4A
Max Curr. Draw (circuit breaker rating, 120V/4Ω)	18.0A
Thermal Emissions (1/8 Power, 4Ω)	2400 BTU/hr
Thermal Emissions (1/3 Power, 4Ω)	2900 BTU/hr
Cooling	Front to Side, one 110 CFM, 2-Speed fan
Controls	Front panel: magnetic circuit breaker/power switch. Rear Panel: 2 attenuators, mode select switch.
LED Indicators (per channel)	1 Clip, 1 Signal per channel, Protect,



Construction	14 gauge steel
Dimensions (Height x Width x Depth to rear rack ears)	5.25" x 19" x 13.33" / 133 x 483 x 339mm
Gross Weight, Net Weight	46 lbs. / 20.9 kg., 43 lbs. / 19.5 kg.
Warranty	5 years*

XLS 602. AMPLIFICADOR.



XLS 602

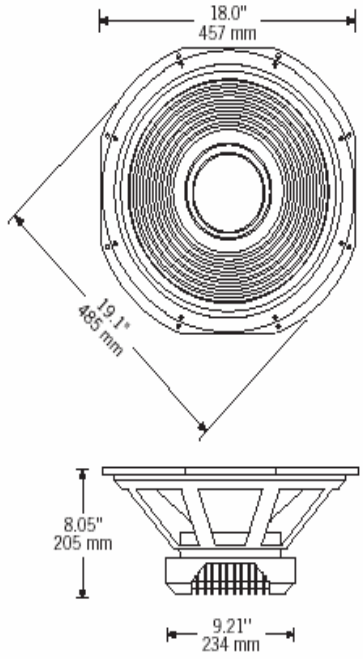
6 Specifications 6 Caractéristiques 6 Technische Daten 6 Especificaciones

Minimum Guaranteed Power Puissance minimum garantie Garantierte Mindestleistung Potencia Mínima garantizada	XLS 202	XLS 402	XLS 602
120 VAC, 60 Hz Units, per channel, both channels driven Unités CA 120V, 60 Hz, par canal, les deux canaux pilotés 120 VAC, 60 Hz-Geräte, pro Kanal, beide Kanäle in Betrieb Unidades de 120 VAC, 60Hz, por canal, ambos canales operando			
1 kHz with 0.5% THD Stereo, 2 ohms (per ch.) Stereo, 4 ohms (per ch.) Stereo, 8 ohms (per ch.) Bridge-Mono, 8 ohms Bridge-Mono, 4 ohms	 250W 200W 145W 400W 500W	 570W 400W 260W 800W 1,140W	 840W 600W 370W 1,200W 1,680W
240 VAC, 50 Hz Units, per channel, both channels driven Unités CA 240V, 50 Hz, par canal, les deux canaux pilotés 240 VAC, 50 Hz-Geräte, pro Kanal, beide Kanäle in Betrieb Unidades de 240VAC, 50 Hz, por canal, ambos canales operando			
1 kHz with 0.5% THD Stereo, 2 ohms (per ch.) Stereo, 4 ohms (per ch.) Bridge-Mono, 4 ohms	 250W 225W 500W	 610W 445W 1,120W	 880W 670W 1,760W

Sensitivity (volts RMS) for full rated power at 4 ohms	XLS 202: 0.725 XLS 402: 1.025 XLS 602: 1.26
Frequency Response (at 1 watt, 22 Hz - 20 kHz)	± 0.75 dB
Phase Response (at 1 watt, 10 Hz, 20 kHz)	+10°, –19°
Signal to Noise Ratio below rated power (20 Hz to 20 kHz) A-weighted, below rated power No weighting, below rated power	 > 100 dB > 95 dB
Total Harmonic Distortion (THD) at 1 full bandwidth power, from 20 Hz to 1 kHz	< 0.5%
Intermodulation Distortion (IMD) 60 Hz and 7 kHz at 4:1, from full rated output to –40 dB	< 0.3%
Damping Factor (8 ohm): 10 Hz to 400 Hz	> 200

Crosstalk (below rated power) at 1 kHz at 20 kHz	 –82 dB –58 dB
DC Output Offset (Shorted Input)	± 10 mV
Input Impedance (nominal) (balanced, unbalanced)	20 kilohms, 10 kilohms
Load Impedance (note: safe with all types of loads) Stereo Bridge mono	 2-8 ohms 8 ohms
Voltage Gain (at maximum level setting)	31 dB
AC Line Voltage and Frequency Configurations Available (± 10%)	120 VAC/60 Hz and 230 VAC/50 Hz
Ventilation	Flow-through ventilation from front to back Luftstrom von Front zu Rückseite Ventilación de circulación de flujo del frente hacia atrás
Cooling	Internal heat sinks with forced-air cooling Interne Kühlrippen mit Zwangskühlung Disipadores de calor internos con enfriamiento de aire forzado
Air Volume Requirements (per minute per unit)	80.15 ft^3 (2.27 m^3)
Dimensions: Width, Height, Depth (behind mounting surface)	EIA Standard 19"W (EIA RS-310-B) x 3.5" (8.9 cm) H x 14" (35.6cm) D EIA Standard 19" Breite (EIA RS-310-B) Estándar EIA 19" de ancho (EIA RS-310-B)
Net Weight, Shipping Weight	XLS 202: 21.0 lb (9.5 kg), 26.0 lb (11.8 kg) XLS 402: 25.3 lb (11.5 kg), 30.3 lb (13.8 kg) XLS 602: 27.2 lb (12.3 kg), 32.2 lb (14.6 kg)

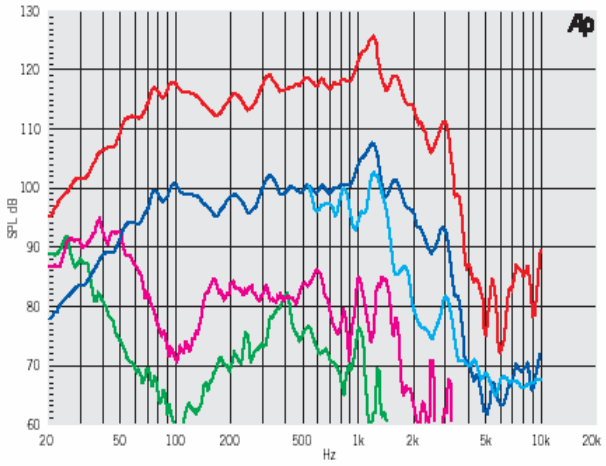
ALTAVOZ DE BAJAS FRECUENCIAS.



Mounting information

Overall diameter	19.1 inch/485 mm
Width across flats	18 inch/457mm
Flange thickness	.465 inch/11.8 mm
Baffle hole diameter, front mount	16.53 inch/420 mm
Baffle hole diameter, rear mount	16.33 inch/ 414 mm
Gasket Supplied	Front & Rear
Fixing holes	8 x 7 dia on 468 PCD
	8 x 7 dia on 438.15 PCD
Depth	8.5 inch/205 mm
Weight	31.24 lb/14.2 kg
Recommended enclosure volume	3.5-8.8 cu ft/100-250 litres
Volume displaced by driver	0.269 cu ft/7.6 litres
Shipping weight	35.64 lb/16.2 kg
Packing Carton dimensions (mm x mm x mm)	485 x 485 x 276 mm

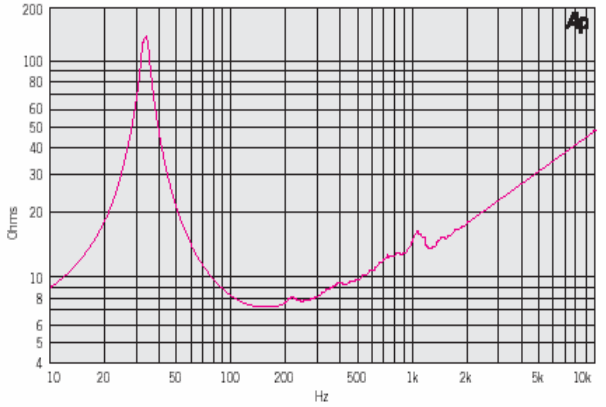
Frequency response data



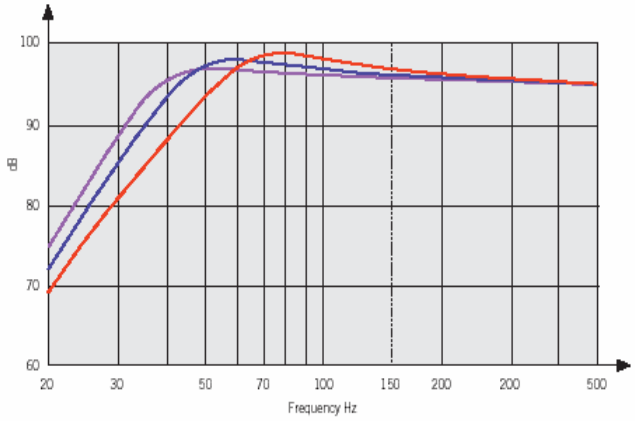
Fundamental 10 % Power
Fundamental on-axis 1 Watt
Fundamental 45° off-axis 1 Watt
2nd Harmonic 10 % Power
3rd Harmonic 10 % Power

Data measured using swept sine wave input on an open baffle of dimensions 2.5 x 3.7 metres with a microphone distance of 1 metre.

Impedance



Computer predicted bass response



250L fb 40Hz
100L fb 50Hz
180L fb 45Hz

Electro mechanical specifications

Nominal chassis diameter (inches-mm)	18 inch/457 mm
Impedance (ohms)	4,8 or 16
Power Handling (A.E.S)[1]	600 (A.E.S.)[1]
Maximum output (dB) continuous/peak	122/128 dB
Power compression at rated power (dB)	3.3 dB
Usable Frequency range (-6dB) Hz-kHz	27 Hz-1 kHz
Average Sensitivity (in above range) 1W/1m	97.5 dB
Resonance (Hz)	30 Hz
Moving mass inc. air load (grams)	161 grams
BL product (Newtons/amp)	24.6
Minimum impedace (Zmin) (ohms)	7.3
Effective piston diameter (mm)	14.84 inch/377 mm
Flux Density (Tesla)	1.0 Tesla
Magnetic gap depth	0.39 inch/10 mm
Coil winding height	0.87 inch/22 mm
Voice coil length	115 feet/35 M
Magnet weight	120 oz/3.4 Kg
Maximum cone displacement	0.70 inch/18 mm
Peak displacement volume of cone, Vd	1.61 Litres
Voice coil diameter	4.0 inch/101.6 mm

Construction materials

Coil former	Fibreglass
Voice coil material	Copper
Magnet	Ferrite
Chassis	Die Cast Aluminium
Cone	Paper
Surround/edge termination	Polyvinyl Damped Fabric
Dust dome	Paper
Connectors	Push Button Spring Terminals
Polarity	Positive voltage at red terminal causes forward motion of cone

Thiele-Small parameters

Resonant frequency fs (Hz)	33 Hz
D.C resistance Re (ohms)	6.0
Qts	0.323
Qes	0.34
Qms	6.58
Mms (grams)	161
Cms (microns per Newton)	141
BL product (Tesla metres)	24.59 Tesla metres
Vas (litres)	246 litres
Reference efficiency no (%)	2.61%
Piston area Sd (m2)	0.112 m^2
Xmax (mm)	7.2 mm

[1] A.E.S. power handling test. Pink noise bandpass filtered at 12 dB per octave with cutoff frequencies of 30 Hz and 300 Hz. Driver mounted in free air, test signal applied at rated power for two hours.



Performance Series
Y253 - Speaker - 400w, 2 x 15 inch / 1 inch

Specifications

System Type	3-Way
Active or Passive	Passive
Program Power (Watts)	400
Nominal Impedance (Ohms)	4
Sensitivity (dB @1Watt/1m)	101
Max SPL (dB)	127
Frequency Response (Hz +/- 3db)	60 - 19,000
Crossover Frequency (Hz)	3000, 8000
Driver Configuration	1 inch / 2x 15 inch
HF Driver(s)	1
HF Dispersion (°H x °V)	60x30
HF Protection	CTL™
LF Driver(s)	2x 15
Inputs	3
Inputs - 1/4" Jacks	2
Inputs - Speakon 4-pin	1
Corners	Black Metal
Feet	Plastic Glides
Bar Handles	2x side mounted
Pole Mount Adapter (1 3/8"-3.5cm)	No
Enclosure Materials	3/4 inch 7-ply plywood
Grille	Heavy gauge black perforated metal
Covering / Finish	Blue/Black Carpet
Other Details	Available with optional Biamp mode switch (Y253BA)
Dimensions (DWH xbackW, inches)	18 x 22 x 42 x 13
Dimensions (DWH xbackW, cm)	46 x 56 x 107 x 33
Weight (lbs/kg)	75 / 34

Descripción General

El e 825 S es un micrófono cardioide de uso general, ideal para presentaciones y microfoneo vocal e instrumental. Con rejilla de acero de alta calidad.

Características

- Sólida construcción de metal
- Excelente claridad de la señal y rechazo a la retroalimentación
- Eliminación del ruido causado por el manejo del micrófono
- Respuesta balanceada de la frecuencia
- Respuesta tonal cálida y transparente
- Interruptor de ENCENDIDO/APAGADO silencioso

e 825

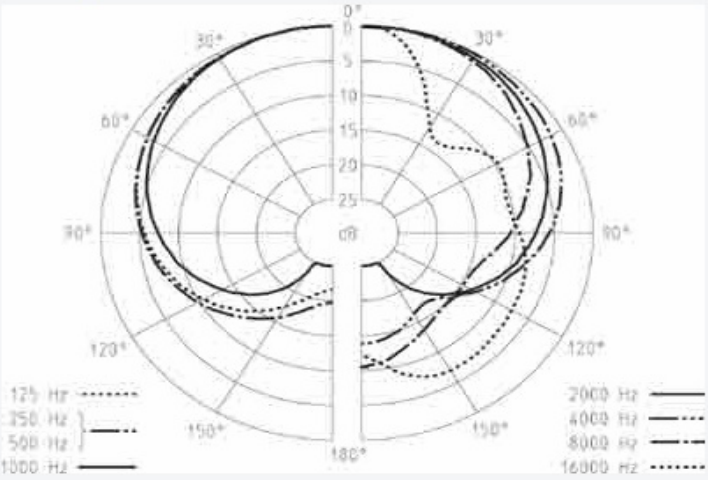
e 825-S Nº de artículo 04511



Datos Técnicos

Patrón de captación	cardioid
Sensibilidad (a campo abierto, sin carga, a 1 kHz)	1,5 mV/Pa
Impedancia nominal	350 Ohm
Impedancia terminal min.	1000 Ohm
Dimensiones	d 48 x 180 mm
Peso sin cable	330 g
respuesta de (audio) frecuencia (micrófono)	80.....15000 Hz

Patrón polar



ZOOM
PRINT
BACK

Más Info

- Descripción General
- Datos Técnicos
- Glosario

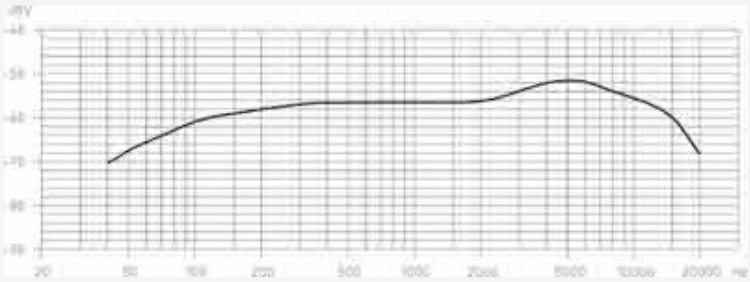
Descargas

- E825-S_esp.Pdf (152,0 KB)
- Instrucciones para el uso e825S_bda.pdf (2.340,0 KB)

Productos relacionados

- e 815 S-C
- e 825-S
- e 835
- e 840 Sixty Years Edition
- e 840
- e 845
- e 865

Respuesta en frecuencia



Descripción

Cardioid vocal and instrument microphone, frequency response 80 Hz - 15 kHz, sensitivity (free field, no load) 1.5 mV/Pa at 1 kHz, nominal impedance 350 Ohm, min. terminating impedance 1 kOhm, dimensions Ø 48 x 180 mm, weight 330 g.

MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

Micrófono de condensador omnidireccional para mediciones



La respuesta de frecuencia lineal del ECM8000 y el diagrama polar omnidireccional le permite realizar las tareas de medición y alineación con el mínimo problema y la máxima precisión, convirtiéndolo en el complemento perfecto para nuestro ULTRA-CURVE PRO DSP8024 o cualquier otro analizador en tiempo real. Su resistente construcción le garantiza años de uso sin problemas.

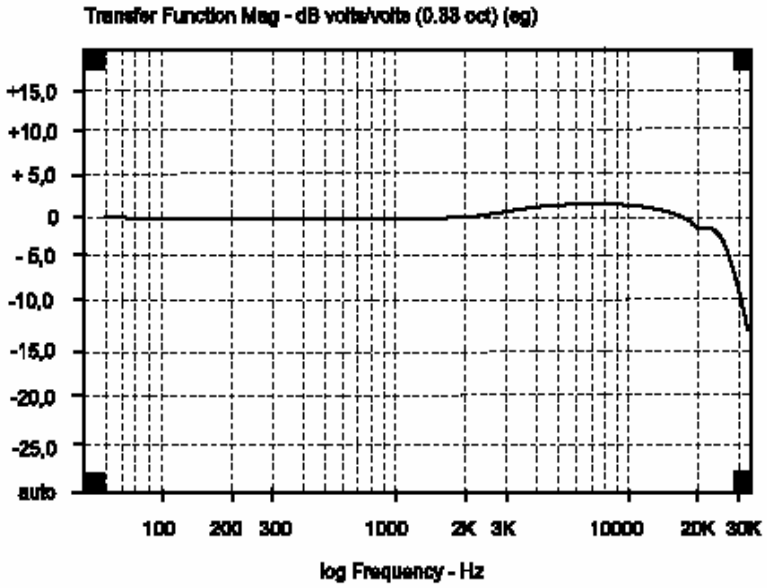
MEASUREMENT MICROPHONE

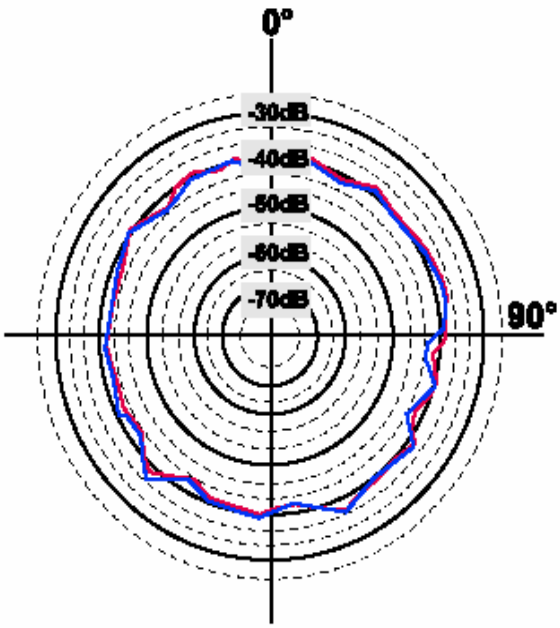
FEATURES

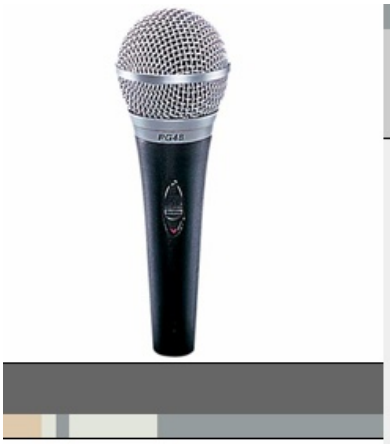
- ▲ Precise electret condenser measurement microphone
- ▲ Ultra-linear frequency response
- ▲ Well-balanced, true omni-directional pattern
- ▲ Optimally suited for room correction applications
- ▲ Phantom powered, +15 V to +48 V
- ▲ Rugged construction and sleek, modern design
- ▲ Microphone stand adapter and windscreen for outdoor measurement included
- ▲ Perfect for use with the ULTRA-CURVE DSP8000 / ULTRA-CURVE PRO DSP8024 or any other real-time analyzer
- ▲ Manufactured under the BEHRINGER quality control

SPECIFICATIONS

Type	electret condenser, omni-directional
Impedance	600 Ohms
Sensitivity	-60 dB
Frequency response	15 Hz to 20 kHz
Connector	gold-plated XLR
Phantom power	+15 V to +48 V
Weight	app. 120 g


Transfer Function Mag - dB volts/volts (0.33 oct) (eg)
+15,0
+10,0
+ 5,0
0
- 5,0
-10,0
-15,0
-20,0
-25,0
auto
100
200
300
1000
2K
3K
10000
20K
30K
log Frequency - Hz


0°
-30dB
-40dB
-50dB
-60dB
-70dB
90°



PG48

Micrófono para voz y discurso, dinámico cardioide respuesta en frecuencia de 70 Hz. A 15 Khz.

Excelente micrófono para aplicaciones de voz en discursos y oratoria.

Características:

- Respuesta de frecuencias plana y extendida.
- Diseñado específicamente para aplicaciones vocales.
- Patrón polar cardioide que responde perfectamente al sonido proveniente frente al micrófono y con menos percepción en los costados, menos susceptible al feed back en aplicaciones de alto volumen.
- La pastilla de tipo dinámico tiene una bobina simple, fuerte. Maneja altos niveles de presión sonora sin presentar problemas de distorsión.
- La pastilla incluye un imán de neodimio para el alto nivel de salida .
- Construido en metal altamente durable.
- Switch de encendido y apagado.
- La rejilla de acero incluye un filtro anti "pop" que ayuda a reducir ruidos por viento y manipulación.
- Incluye un cable de 4.5m y una funda.

APLICACIONES SUGERIDAS:

- Conferencistas y Oradores
- Karaoke

> Home

> Micrófonos

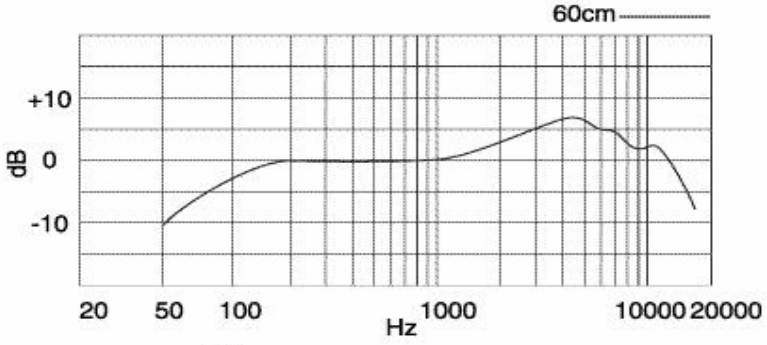
> Inalámbricos

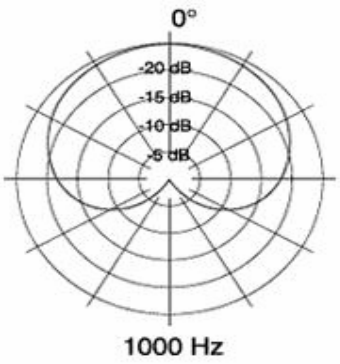
> Monitores Personales

> Mixers / DSP

> Fonocaptores

> Accesorios







PG52

Micrófono para bombo, dinámico cardioide, respuesta en frecuencias de 30 Hz. A 13 Khz.

Un micrófono diseñado para capturar las bajas frecuencias y el poder de este instrumento.

Características:

- Respuesta de frecuencia plana y extendida.
- Diseñado específicamente para aplicaciones de bombo.
- Patrón polar cardioide que responde perfectamente al sonido proveniente frente al micrófono y con menos percepción en los costados, menos susceptible al feed back en aplicaciones de alto volumen.
- La pastilla de tipo dinámico tiene una bobina simple, fuerte. Maneja altos niveles de presión sonora sin presentar problemas de distorsión.
- La pastilla incluye un imán de neodimio para el alto nivel de salida.
- Construido en metal altamente durable.
- Switch de encendido y apagado.
- La rejilla de acero incluye un filtro anti "pop" que ayuda a reducir ruidos por viento y manipulación.
- Incluye un cable de 4.5m y una funda

> Home

> Micrófonos

> Inalámbricos

> Monitores Personales

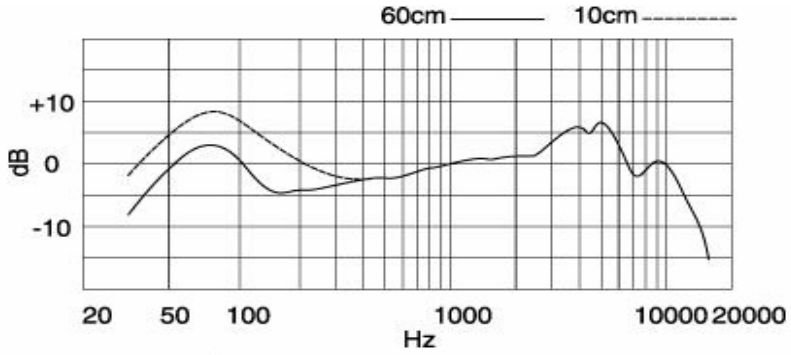
> Mixers / DSP

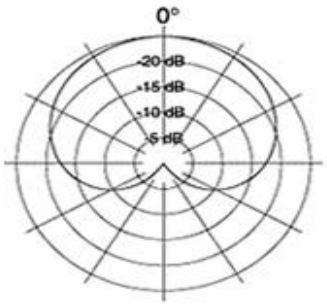
> Fonocaptores

> Accesorios

APLICACIONES SUGERIDAS:

- Bombo
- Amplificador de bajo





1000 Hz



PG56

Micrófono para tarola y toms, dinámico cardioide, respuesta en frecuencias de 50 Hz. A 15 Khz.

Un micrófono compacto para aplicaciones muy cercanas.

Características:

- Respuesta de frecuencias plana y extendida.
- Diseñado específicamente para aplicaciones de toms y percusiones.
- Patrón polar cardioide que responde perfectamente al sonido proveniente frente al micrófono y con menos percepción en los costados, menos susceptible al feed back en aplicaciones de alto volumen.
- La pastilla de tipo dinámico tiene una bobina simple, fuerte. Maneja altos niveles de presión sonora sin presentar problemas de distorsión.
- La pastilla incluye un imán de neodimio para el alto nivel de salida.
- Construido en metal altamente durable.
- Switch de encendido y apagado.
- La rejilla de acero incluye un filtro anti "pop" que ayuda a reducir ruidos por viento y manipulación.
- Incluye un cable de 4.5m, montaje A56D y una funda.

> Home

> Micrófonos

> Inalámbricos

> Monitores Personales

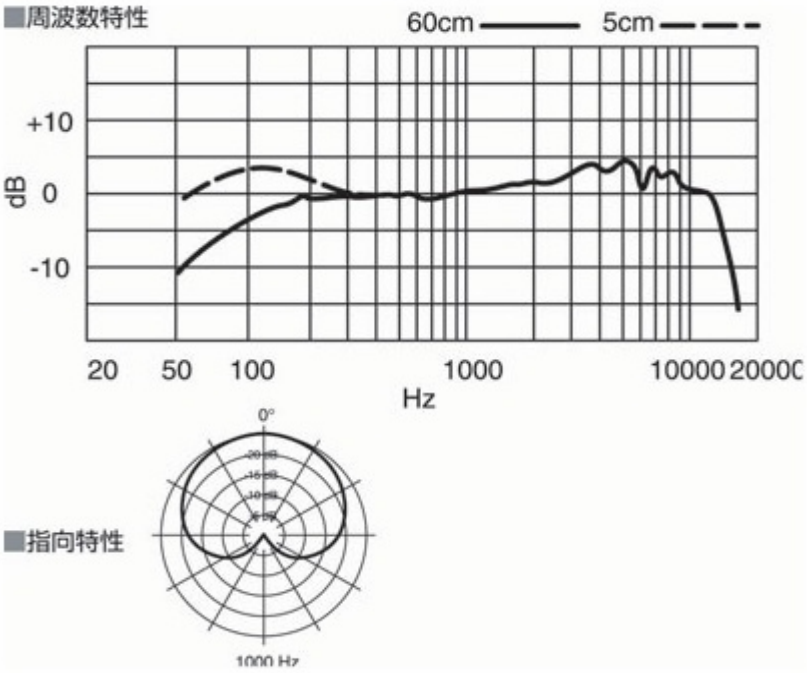
> Mixers / DSP

> Fonocaptores

> Accesorios

APLICACIONES SUGERIDAS:

- Tarola
- Tom de aire y piso
- Percusiones





SM58®

Es sin duda alguna, la primer elección de los cantantes alrededor del mundo, el SM58® es un standard para aplicaciones de voz y una verdadera leyenda en el mundo de la música.

El SM58® es un micrófono dinámico unidireccional,, diseñado básicamente para aplicaciones profesionales de voz en vivo, grabación y para refuerzo de sonido es altamente efectivo.

Su filtro esférico minimiza el sonido del aire y popeo, su patrón polar cardioide minimiza los sonidos no deseados del ambiente. El SM58® tiene una respuesta adaptada para la mejor definición en aplicaciones de voz que lo han instalado como el ·standard· en el mundo. Su fuerte construcción y su sistema ·shock mount· reducen los ruidos por manipulación. El SM58® funciona perfecto en aplicaciones al aire libre o dentro de un foro, para cantantes u oradores, por todo esto el la única elección por los profesionales en todo el mundo

> Home

> Micrófonos

> Inalámbricos

> Monitores Personales

> Mixers / DSP

> Fonocaptores

> Accesorios

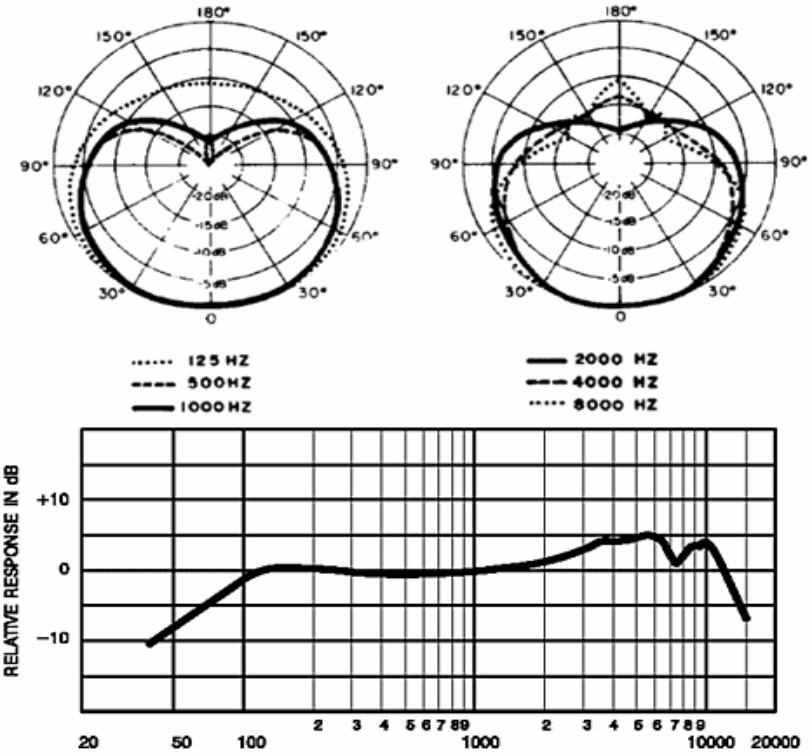
CARACTERÍSTICAS:

- Respuesta en frecuencias adaptada para aplicaciones de voz, con brillo en el rango medio.
- Patrón polar cardioide estable que aísla la fuente cercana de sonidos no deseables por ambiente.
- Sistema de montaje neumático · shock mount · que corta los ruidos producidos por manipulación.
- Excelente rejilla esférica. Para reducir ruidos explosivos como el popeo.
- Montaje para micrófono muy resistente capaz de rotar 180°.
- La legendaria calidad, resistencia y durabilidad de Shure.
- Dinámico con patrón polar cardioide unidireccional.

SHURE
IT'S YOUR SOUND™

Shure SM58





Micrófono inalámbrico SHURE T2/PG58

Performance Gear ™ **UHF 8 SISTEMAS COMPATIBLES**
VHF 6 SISTEMAS COMPATIBLES

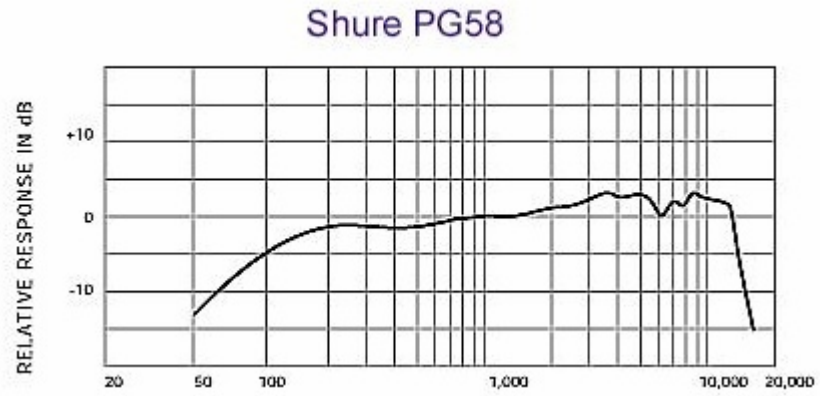
Fácil de usar y fácil de elegir entre sistemas UHF y VHF, con configuraciones que soportan las diversas necesidades de los músicos que manejan su propio sonido.



UT2/Beta58 Micrófono de mano



T2 /PG58 Micrófono de mano



Componentes de UHF



Receptor Diversity UT4A:

- Hasta 8 sistemas compatibles
- Luz indicadora de alimentación
- Luz indicadora de antena
- Luz indicadora de pico del transmisor
- Mando de volumen
- Salidas de 1/4" y XLR
- Interruptor de línea/micrófono para XLR
- Chasis de plástico resistente



Transmisor UT1:

- Indicador de encendido y batería baja
- Interruptor de encendido y silenciador
- Más de 12 horas de vida de la batería

Performance Gear™ UHF		
Modelo	**Aplicación**	**Micrófono**
UT24/Beta58	Vocal	Beta58A®
UT24/58	Vocal	SM58®
UT24/PG58	Vocal	PG58
UT14/30	Diadema	WH30
UT14/20	Diadema	WH20
UT14/98H	Instrumento	WB98H/C
UT14	Guitarra	WA303/WA302 (Cable)
UT14/84	Lavalier	WL184
UT14/93	Lavalier	WL93
UT124/85	Vocal/Lavalier	WL185 y SM58®

Componentes de VHF



Receptor Diversity T4A:

- Hasta 6 sistemas compatibles
- Luz indicadora de alimentacion
- Luz indicadora de antena
- Luz indicadora de pico del transmisor
- Mando de volumen
- Salidas de 1/4" y XLR
- Chasis de plastico resistente



Transmisor T1:

- Indicador de encendido y bateria baja
- Interruptor de encendido y silenciador
- Mas de 18 horas de vida de la bateria
- T1G Transmisor de bolsillo con conector 1.4?h
- T1 Transmisor de bolsillo con mini conector de 4 pines

Performance Gear™ VHF		
Modelo	**Aplicación**	**Micrófono**
TV58D	Vocal	SM58®
TVD/PG58	Vocal	PG58
THCD	Diadema	WH30
THD	Diadema	WH20
TGD	Guitarra	WA303(Cable)
TPD/84	Lavalier	WL184
TPD	Lavalier	WL93

266XL Compressor / Gate

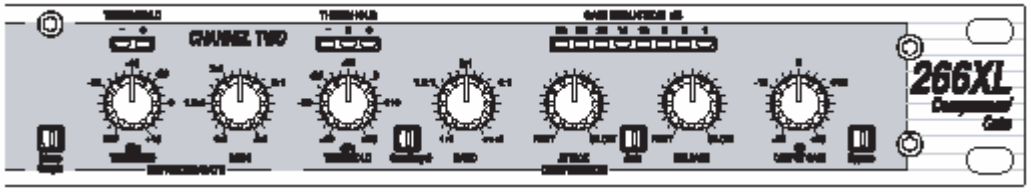
SPECIFICATIONS / SPECIFICATIONS / TECHNISCHE DATEN / E

Note / Note / Anm. / Nota: 0dBu = 0.775VRMS — Specifications are subject to change. / Les spécifications peuvent être modifiées. / Technische Än
están sometidas a cambio.

Frequency Response / Réponse en fréquence / Frequenzgang / Respuesta de frecuencia	
Flat	20Hz - 20kHz, +0, -0.5dB
Bandwidth	0.35Hz - 90kHz, +0, -3dB
Input (Balanced or Unbalanced) / Entrée (symétrique ou asymétrique) / Eingang (symmetrisch/asymmetrisch / Entrada (equilibrada o desequilibrada)	
Impedance	>40kΩ
Max Level	+22dBu
Output (Impedance Balanced) / Sortie (Impédance symétrique) / Ausgang (impedanzsymmetriert) / Salida (impedancia equilibrada)	
Impedance	+4dBu: Balanced: 100Ω Unbalanced: 50Ω -10dBV: Balanced: 1kΩ Unbalanced: 500Ω
Max Level	>+21dBu, >+18dBm (into 600Ω)
Sidechain Insert / Insert Sidechain / Sidechain-Anschluss / Sidechain Insert	
Input Impedance	>10kΩ
Output Impedance	2kΩ
Max Input Level	+22dBu
Max Output Level	>+20dBu
Distortion + Noise	<0.2%; any amount of compression at 1kHz
Klirrfaktor + Rauschen	<0,2% bei jedem Kompressionsgrad bei 1 kHz
Distorsion + Bruit	<0.2%; tout taux de compression à 1kHz
Distosión + ruido	<0,2%; cualquier cantidad de compresión a 1kHz
Intermodulation Distortion	<0.2% SMPTE
Distorsion Intermodulation	<0,2% SMPTE
Intermodulationsverzerrungen	<0,2% (SMPTE)
Distorsión de intermodulación	<0,2% SMPTE
Noise	<-93dB, unweighted (22kHz measurement bandwidth)
Bruit	<-93dB, non pondéré (22kHz)
Rauschen	<-93dB, unbewertet (22kHz Messbandbreite))
Ruido	<-93dB, no ponderado (ancho de banda de misura: 22kHz)

Dynamic Range Dynamique Dynamikbereich Gama dinámica	>114dB, unweighted >114dB, non pondéré >114dB, unbewertet >114dB, no ponderado
Interchannel Crosstalk Diaphonie Übersprechen zwischen Kanälen Diafonía entre los canales	<-95dB, 20Hz to 20kHz <-95dB, 20Hz à 20kHz <-95dB, 20Hz bis 20kHz <-95dB, 20Hz a 20kHz
Common Mode Rejection Réjection de Mode Commun Gleichtaktunterdrückung Rechazo de modo común	>40dB, typically >55dB @ 1kHz >40dB, typique >55dB @ 1kHz >40dB, typisch >55dB bei 1kHz >40dB, típico >55dB a 1kHz
Stereo Coupling Couplage Stéréo Stereokopplung Acoplamiento estéreo	True RMS Power Summing™ Sommation en énergie True RMS Power Summing™ True RMS Power Summing™
THRESHOLD Compressor Expander/Gate RATIO Compressor Expander/Gate ATTACK Time Compressor Expander/Gate RELEASE Time Compressor Expander/Gate	 OverEasy® or hard-knee; -40 to +20dBu -60 to +10dBu 1:1 to Infinity:1 1:1 to 4:1 Scalable Program-Dependent AutoDynamic™ <100µSec Scalable Program-Dependent AutoDynamic™ Program-Dependent
Operating Voltage Tension Netzspannung Tensión de servicio	 100VAC -120VAC 50/60Hz; 230VAC 50/60Hz
Power Consumption Consommation Leistungsaufnahme Consumo de energía	15 Watts 15W

Operating Temperature Température de fonctionnement Betriebstemperatur Temperatura de funcionamiento	32°F to 113°F 0°C à 45°C 0°C bis 45°C 0°C a 45°C
Dimensions (H x D x W) Dimensions (H x P x L) Abmessungen (H x T x B) Dimensiones alto x prof x ancho)	1.75" x 5.75" x 19" 45 x 146 x 485 mm
Weight Poids Gewicht: Peso	Net Weight: 4.84 lbs; Shipping Weight: 6.6 lbs Poids Net : 2,19 kg; Poids brut : 2,99 kg 2,19 kg netto; 2,99 kg brutto peso neto: 2,19 kg; peso bruto: 2,99 kg



882. MAXIMIZADOR.

Specifications

Frequency Response,
process mode: .....Program controlled
bypass mode: .....10Hz to 50kHz +/-0.5dBu, 0dBu input
Signal to Noise: .....-92dBu
THD, process mode: .....less than 0.025% at -0dBu input, 20-20kHz
bypass mode: .....less than 0.002% at -0dBu input, 20-20kHz
Maximum Output: .....+23dBu (may vary due to control settings)
Input Impedance: .....14.7k Ohms, balanced 1/4" TRS phone jack or XLR jack Pin #2 hot or "+".
Output Impedance: .....600 Ohms, balanced 1/4" TRS phone jack or XLR jack Pin #2 hot or "+".
Sensitivity: .....-45dBu for maximum process
Maximum Process: .....+12dBu boost at 5kHz, 0dBu input
Lo Contour: .....+12dBu boost at 50Hz, 0dBu input

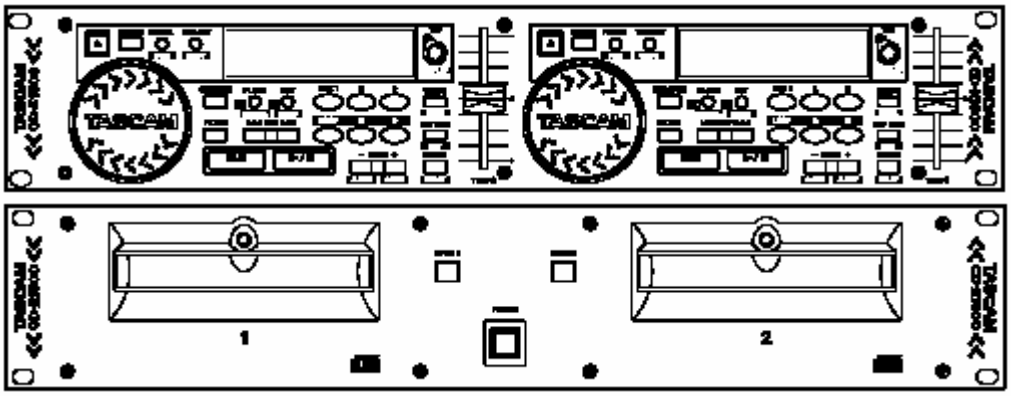
* 0dBu = 0.775mVrms

Power Requirements: .....U.S., Canada & Japan models: 120VAC, 50/60Hz, 8 WATTS
Standard model: 220VAC, 50/60Hz, 8 WATTS
Fuse: .....Replace with the same type FASTBLOW fuse
U.S., Canada & Japan models: 250Vac, 1 /2A Fast blow type fuse.
Standard model: 250Vac, .125A Fastblow type fuse
Dimensions: .....19"(W) x 5.5"(D) x 1.7"(H)
Shipping Weight: .....7 lbs.



CD-X1500

DUAL CD PLAYER



Especificaciones.

Número de canales:	2 canales
Resolución:	16 bits
Frecuencia de muestreo:	44.1 kHz
Salida analógica:	Conector RCA
Impedancia de salida:	<1 kohmio
Nivel máximo salida:	+6 dBV
Salida digital:	Coaxial
Formato:	IEC60958 Tipo II
Alimentación	
USA/Canadá:	120 V CA, 60 Hz
UK/Europa:	230 V CA, 50 Hz
Australia:	240 V CA, 50 Hz
Consumo:	27 vatios

Unidad principal:	482 x 94 x 272
Control remoto:	482 x 88 x 83
Peso	
Unidad principal:	5,7 kg
Control remoto:	1,8 kg

Los valores siguientes son aplicables cuando los valores de tempo y de clave están ajustados a 0.

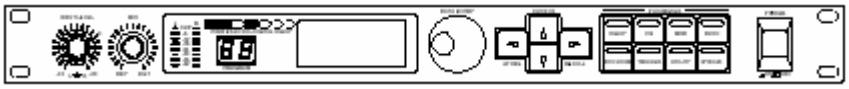
Respuesta de frecuencia:	20 – 20 kHz, +0.5/ -1.0 dB
Rango dinámico:	>95 dB
Relación señal-ruido:	>95 dB
Distorsión armónica total:	<0.01%

YAMAHA

PROFESSIONAL DIGITAL DELAY

D5000

OPERATING MANUAL
MANUEL D'UTILISATION
BEDIENUNGSHANDBUCH



Specifications

Audio quality ("WET" circuit)	Frequency Response	20 Hz to 20 kHz +/-1.0 dB
	Dynamic Range	greater than 100 dB
	Hum and Noise	less than -76 dB
	Distortion	less than 0.007% (max. level at 1 kHz)
Inputs	Number of channels	2 (balanced)
	Nominal input level	+4/-20 dBm (switchable)
	Maximum input level	+24 dBm (switch at +4 dB setting)
	Input impedance	20 kΩ
Outputs	Number of channels	2 (balanced)
	Nominal output level	+4/-20 dBm (switchable)
	Maximum output level	+24 dBm (switch at +4 dB setting)
	Output impedance	150Ω
A/D and D/A converters	A/D resolution	20-bit linear
	D/A resolution	20-bit linear
	Sampling frequency	50 kHz
	Propagation delay	2.8 ms
Number of memory locations		100 (all user-programmable)
MIDI control	Program change	Program select (receive)
	Control change	Parameter control (receive)
	Note On/Off	Freeze control, Trigger (receive)
	Bulk dump	System, program, bank (send & receive)
	Bulk dump request	System, program, bank (receive)
	Condition set-up	Bank change (receive)
	MIDI clock	Tempo control (receive)
	Parameter change	Parameter control (send, receive)
	Parameter value request	Parameter data (receive)
Power requirements	USA and Canada	120 V AC, 60 Hz
	General	230 V AC, 50 Hz
	UK	240 V AC, 50 Hz
Power consumption		25 W
Dimensions (w x d x h)		480 x 336.4 x 45.2 mm
Weight		4.7 kg

Preset Program Library

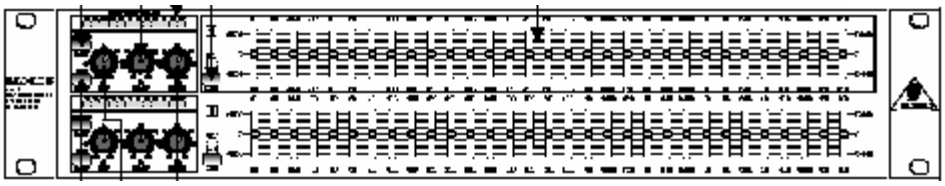
Program number	Title	Type	Input Mode	Explanation
1	T120 Single 1S	DUAL delay	STEREO	Simple delay program with single active tap. TEMPO specified.
2	T120 1/4 & 1/8			Simple delay program with two active taps. TEMPO specified.
3	Double Slap			Basic delay program. TIME specified.
4	Short Single			
5	Short Double			
6	Medium Double			
7	Long Single			
8	Long Double			
9	Long FB Double			
10	Long FB Duck			
11	Long FB Gate			
12	Light Vocal			Delay program adding echo and thick effects to vocals.
13	Vocal Template 1			
14	Vocal Template 2			
15	Vocal Template 3			
16	Ambience	SINGLE delay		Delay program adding a more dimensional feeling.
17	Dimension	DUAL delay		
18	Mod. Dimension			
19	T120 Six 8ths	SINGLE delay		Delay program applying echo reflections according to the selected tempo.
20	T120 Six 4ths			
21	T60 Mod. Bounce			
22	T120 Bounce			
23	T120 Triplets 1	DUAL delay		
24	T120 Triplets 2			
25	T120 Triplets 3			
26	Chord Pan 1			
27	Chord Pan 2			
28	Perc. Pattern	SINGLE delay		
29	Accent Pattern	DUAL delay		
30	Accent Loops			
31	Spaced Pairs			
32	Chorus Delay 1			Delay program adding modulation effects.
33	Chorus Delay 2			
34	Fast Wow			
35	Mod. Bends	SINGLE delay		
36	Stereo Chorus	DUAL delay		Basic modulation program.
37	Stereo Flange			
38	Stereo Auto Pan			
39	Stereo Tremolo			
40	Deep Flange 1			Heavily modulated program.
41	Deep Flange 2			
42	Wild Flange			
43	Auto Pan Delay	SINGLE delay		
44	Deep Tremolo	DUAL delay		
45	Guitar Delay		L-MONO	Delay program for serially-connected monaural-output instruments, such as guitars, basses, etc. Programmed for aggressive playing.
46	Mod. Delay 1			
47	Mod. Delay 2			
48	Mod. Delay 3			
49	R->L Repeat Pan	SINGLE delay		
50	Random Bounce	DUAL delay		
51	Random Echo	SINGLE delay		
52	Light Chorus			
53	Light Flange	DUAL delay		
54	Long Wow			
55	Gated Loop			
97	Sample & Hold	S&H		Sampling program for duplicating part of a performance.
98	Capture Freeze	FREEZE		Mono freeze program records the latest sounds for 10.4 seconds.
99	Mono Freeze			Mono freeze program records 10.4 seconds.
00	Stereo Freeze		STEREO	Stereo freeze program records 5.2 seconds.

* As shipped from the factory, the program numbers from 56 to 96 contain the same programs as from 1 to 41.

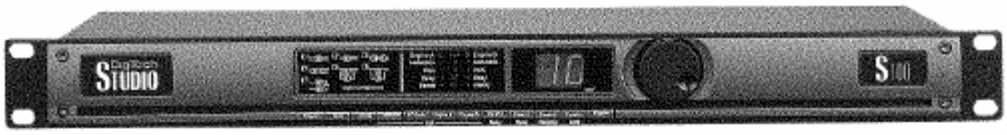
GEQ 3102 ECUALIZADOR.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ENTRADAS AUDIO		
Conectores	conectores XLR y jack 6,3 mm	
Tip	entradas servo balanceadas, con supresión HF	
Impedancia	50 kOhm (balanceado), 25 kOhm (no balanceado)	
Nivel Máx. de Entrada	+21 dBu (balanceado y no balanceado)	
CMRR	normalmente 40 dB, > 53 dB @ 1 kHz	
SALIDAS AUDIO		
Conectores	conectores XLR y jack 6,3 mm	
Tipo	salidas servo balanceadas, controladas electrónicamente	
Impedancia	60 Ohm (balanceado), 30 Ohm (no balanceado)	
Nivel Máx. de Salida	+21 dBu (balanceado y no balanceado)	
DATOS DEL SISTEMA		
Respuesta en frecuencia	10 Hz to 35 kHz, +/-3 dB	
Ruido	>92,3 dBu, no ponderado, 22 Hz to 22 kHz	
Distorsión armónica	0,004 % norm. @ +4 dBu, 1 kHz, amplif. 1	
Crosstalk	< -85 dB, 22 Hz to 2 kHz	
SECCIÓN DE FILTRADO		
Tipo	12 dB/Oct. Butterworth	
Entrada	variable (-15 dB a +15 dB)	
Corte inferior	variable (10 Hz a 400 Hz)	
Corte superior	varaible (2,5 kHz a 30 kHz)	
ECUALIZADOR GRÁFICO		
Tipo	ecualizador analógico de tercio de octava	
Rango de frecuencia	20 Hz a 20 kHz en 31 cortes, según frecuencias ISO estándar	
Ancho de banda	1/3 octava	
Rango de los controles	+/-6 dB or +/-12 dB (seleccionable)	
CONMUTADORES		
Audio in/out	activa / desactiva la sección de ecualización	
I/O meter in/out	selecciona la monitorización de los niveles de entrada o salida	
Range	selecciona los valores máximos de incremento / decremento de los 31 cortes	
DISPLAYS		
Input/output level	Display LED de 12 digitos: -30/-24/-18/-12/-6/-3/0/+3/+6/+9/+12/+18 dB	
Conmutador de función	LED de actividad para cada uno de los conmutadores	
ALIMENTACIÓN		
Voltaje	E.E.U.U./Canada	120 V ~, 60 Hz
	R.Unido/Australia	240 V ~, 50 Hz
	Europa	230 V ~, 50 Hz
	Modelo general para exportación	100-120 V ~, 200 - 240 V ~, 50 - 60 Hz
Consumo	máximo 20 W	
Fusible	100 - 120 V ~: **T 400 mA H**	
	200 - 240 V ~: **T 200 mA H**	
Cable de alimentación	Cable IEC estándar	
DIMENSIONES/PESO		
Dimensiones (alto x ancho x profundo)	aprox. 3,5" (89,0 mm) x 19" (482,6 mm) x 5,3" (135 mm)	
Peso	aprox. 2,5 kg	



S100. PROCESADOR DE EFECTOS



Specifications

Frequency Response:	20-20kHz +/-0.5dB
Signal-to-Noise Ratio:	96dB (A-Weighted ref=Max signal 22kHz measurement ban
THD:	Less than 0.008%
Memory Allocations:	99 User - 99 Factory Programs
Sampling Rate:	46.875kHz
A/D Converter:	20 bit, 128 oversampled
D/A Converter:	20 bit, 128 oversampled
External Signal Path Width:	24 bits
Internal Signal Path Width:	24 bits
Multiplier Size:	24 bits x 24 bits
Inputs:	Stereo (2) 1/4" Unbalanced - Max In + 18 dBu
Outputs:	Stereo (2) 1/4" Impedance Balanced - Max + 18 dBu
MIDI:	MIDI In Program Changes
Power Consumption:	5 watts
Power Requirements:	Included external power supply (PS 750)
Net Weight:	4.2lbs (1.91kg)

Program List

The following is a list of all the factory Programs in the S-100

Showcase

1 Stereo Large Hall
2 Deep Phaser and Delay
3 Deep Chorus and Reverb Parallel
4 Gold Foil Plate
5 Octave Down Pitch & Parallel Detune
6 4 Voice Chorus
7 Stereo Karaoke Delay
8 Panning Detune
9 Deep Space

Reverbs

10 Bright Mid-Size Hall
11 Stereo Dark Hall
12 Extra Thick Hall
13 Large Empty Arena
14 Sold Out Arena
15 Forever In Reverb
16 High Vaulted Cathedral
17 Vocal Cathedral
18 Small Bright Room
19 Split Vocal Room
20 Wood Recording Studio
21 Thick Studio with Slow Modulation
22 Sparse Vocal Chamber
23 Warm Chamber
24 Percussion Plate
25 Industrial Plate
26 100ms Gated Reverb
27 300ms Gated Reverb
28 600ms Gated Reverb
29 Stereo Reverse Reverb 400ms

Delays

30 Stereo Doubling Delay
31 Stereo Slapback Delay
32 Stereo Slap Right/Left Delay
33 Stereo 500ms Echo
34 Stereo 400ms 30% Feedback
35 2 Second 2 Tap Delay
36 Stereo 500ms 25% Feedback Delay
37 Stereo 800ms 20% Feedback Delay
38 Ping-Pong 1500ms 20% Feedback Delay
39 Mono 2 Second Delay Loop

Modulation

40 Medium Chorus
41 Deep Chorus
42 4 Voice Medium Chorus
43 Deep Depth Chorus
44 Shimmery Chorus
45 Flange Hi Sweep 40%
46 Flange Hi Sweep 70%
47 Slow Shallow Phaser
48 Medium Phaser
49 Deep Phaser
50 Deep Slow Tremolo
51 Fast Shallow Tremolo
52 Wide Mid-Speed Panner
53 Slow Wide Panner
54 Leslie Slow to Fast
55 5th Up Pitch Shift
56 4th Down Pitch Shift
57 Octave Down Pitch Shift
58 Octave Up Pitch Shift
59 Mild Detune
60 Heavy Detune
61 Vocoder 1
62 Vocoder 2
63 Compressor
64 Ring Modulator

Multi-Effects

65 Medium Chorus and Arena Reverb
66 Shallow Chorus with Delay
67 Deep Chorus Hall
68 Bright Panning Chorus
69 Panning Shimmery Chorus
70 Warm Flanger and Hall Reverb
71 Deep Flange and 1 Second Echo
72 Shallow Phaser and Plate
73 Deep Phase and Pong Delay
74 Tremolo and Chamber
75 Tremolo and Echo
76 Panner and Cathedral
77 Panning Arena
78 Panning Delay
79 Pitch 5th Up and Plate Reverb
80 Pitch Octave Down and Ping Pong Delay
81 Detune and Room Reverb
82 Deep Detune and Echo
83 1/2 Sec Delay and Hall Reverb
84 Delay and Plate Reverb
85 Delayed Reverb
86 Compressed Hall Reverb
87 Compressed Delay
88 Compressed Chorus
89 Ping Pong Gated Reverb

Split Effects

90 Chorus Left - Reverb Right Summed
91 Phaser Left - Pitch Right Split
92 Delay Left - Gated Reverb Right Summed
93 2 Tap Room Delay
94 Short Plate Left - Hall Right Summed
95 Panner Left - Compressor Right Summed
96 Reverse Reverb Left - Ring Modulator Right Split
97 Slap Delay Left - Room Reverb Right Split
98 Octave Up Left - Octave Down Right Summed
99 Fast Phase Left - Arena Reverb Right Split

SPX1000. PROCESADOR DE EFECTOS

SPECIFICATIONS

ELECTRICAL CHARACTERRISTICS	
FREQ. RESPONSE	20Hz ~ 20kHz
DYNAMIC RANGE	90dB (TYPICAL)
DISTORTION	0.03% (@1kHz)
INPUT	
NUMBER OF CHANNEL	UNBALANCED x 2(PHONE JACK)
NOMINAL LEVEL	+4/-20dBm SWITCHABLE
IMPEDANCE	50kΩ (STEREO-IN), 25kΩ (MONO)
LEVEL CONTROL	ROTARY CONTINUOUS
A/D CONVERSION	
NUMBER OF CHANNELS	2 (AD CONVERTER x 1)
SAMPLING FREQ.	44.1kHz (EXCEPT D-IN)
QUANTIZATION	16bits
D/A CONVERSION	
NUMBER OF CHANNELS	2
SAMPLING FREQ.	44.1 kHz (EXCEPT D-IN)
QUANTIZATION	16bits
OUTPUT	
NUMBER OF CHANNEL	UNBALANCED x 2(PHONE JACK)
NOMINAL LEVEL	+4/-20dBm SWITCHABLE
IMPEDANCE	220Ω
MEMORY	
PRESETS (ROM)	1 ~40
USER MEMORY (RAM)	41~99
MIDI CONTROL	
	PROGRAM CHANGE (MEMORY SELECT)
	NOTE ON (MIDI BASE KEY SELECT, TRIGGER)
	CONTROL CHANGE
	BULKDUMP & LOAD (PARAMERTER DUMP)
FRONT PANEL	
CONTROLS	INPUT LEVEL
KEYS	PARAM. INC/DEC, PARAMETER, SCROLL BACK, LEVEL EQ, INT. PARAM, EXT CTRL ASSIGN STORE, MEMORY INC/DEC, RECALL, UTILITY, TRIGGER, BYPASS
DISPLAY	16 CHARA. x 2 LINE LCD 2 DIGIT 7 SEGMENT LED (MEM#) 2 ch. 8 SEGMENT LED (LEVEL METER)
CONNECTORS	EXT CTRL/FOOT VOL JACK x 2
REAR PANEL	
CONNECTORS	INPUT (PHONE JACK x 2) OUTPUT (PHONE JACK x 2) MIDI IN, THRU/OUT (DIN 5P x 2) DIGITAL I/O (DIP 8P x 2) TRIGGER1 SW (PHONE JACK) TRIGGER2 SW (ANALOG) (PHONE JACK) MEMORY INC/DEC (PHONE JACK) BYPASS (PHONE JACK)
SWITCHS	INPUT LEVEL SW, OUTPUT LEVEL SW MIDI THRU/OUT SW TRIGGER2 (ANALOG) LEVEL SW
GENERAL	
POWERSUPPLY	US & CANADA: 120V, 60Hz, 22W GENERAL: 220-240V, 50/60Hz, 22W
DIMENSIONS (W x H x D)	480 x 45.2 x 319 (mm)

• (0db=0.775V. r.m.s.
• Specifications and appearance subject to change without notice.

SPX1000 USER PROGRAMMING TABLE

Memory No.	Program Title	Memory No.	Program Title	Memory No.	Program Title
1	REV1 HALL	34	CHORUS + REV	67	
2	REV2 ROOM	35	PAN + PAN	68	
3	REV3 VOCAL	36	COMPRESSOR	69	
4	REV 4 PLATE	37	LO LVL EXPANDER	70	
5	REV5 ECHO ROOM	38	EXCITER	71	
6	EARLY REF. 1	39	STEREO PITCH	72	
7	EARLY REF. 2	40	STEREO FREEZE	73	
8	EARLY REF. 3	41		74	
9	GATE REVERB	42		75	
10	REVERSE GATE	43		76	
11	DELAY L, C, R	44		77	
12	STEREO ECHO	45		78	
13	STEREO FLANGE A	46		79	
14	STEREO FLANGE B	47		80	
15	CHORUS	48		81	
16	STEREO PHASING	49		82	
17	TREMOLO	50		83	
18	SYMPHONIC	51		84	
19	ADR-NOISE GATE	52		85	
20	PITCH CHANGE-1	53		86	
21	PITCH CHANGE-2	54		87	
22	PITCH CHANGE-3	55		88	
23	FREEZE 1	56		89	
24	FREEZE 2	57		90	
25	PAN	58		91	
26	TRIGGERED PAN	59		92	
27	DISTORTION	60		93	
28	MULTI (CHO & REV)	61		94	
29	MULTI (SYM + REV)	62		95	
30	MULTI (EXC & REV)	63		96	
31	PLATE + HALL	64		97	
32	ER + REV	65		98	
33	ECHO + REV	66		99	

XR 1001. CROSSOVER.



10. ESPECIFICACIONES

10.1	Control de Nivel de Entrada	∞ a +8.5 dB
10.2	Amortiguamiento / Respuesta	2dB – 12dB
10.3	Control de Nivel de Salida	∞ a +15dB
10.4	Impedancia de Entrada	20KΩ Balanceada
10.5	Impedancia de Salida	200KΩ Quasi-Balanceada
10.6	Nivel Máximo de Entrada	+13dBu
10.7	Nivel Máximo de Salida	+23dBu
10.8	Respuesta en Frecuencia	±.5dB 20Hz – 20kHz
10.9	Distorsión	<.05% THD (+10dBu 20Hz – 20kHz)
10.10	Respuesta al Impulso	6V/µS
10.11	Ruido y "Hum"	<-90dBu sin peso 20Hz – 20kHz
10.12	Requerimientos de Energía	120VAC 50-60Hz 92VAC Mínimo Disponible en 240VAC 15 Watts Max.
10.13	Peso con Empaque	
	XR1001	3,700 Kg
	XR2001	4,500 Kg
	XR4001	4,500 Kg

G2412. CONSOLA DE AUDIO.

Especificaciones

Especificaciones generales

Respuesta en frecuencia	20 Hz–20 kHz +1 dB, –3 dB @+4 dB con 600Ω (GROUP OUT, AUX OUT, ST OUT, MONO OUT)	Control de ganancia: mínimo
Distorsión armónica total	Menos del 0,1%, @20 Hz–20 kHz, +14 dB con 600Ω (GROUP OUT, AUX OUT, ST OUT, MONO OUT)	
Zumbido y ruido (Media: Rs = 150Ω) (filtro de paso bajo (BPF) de 20 Hz–20k Hz)	Ruido de entrada equivalente de –128 dB	
	Ruido de salida residual de –95 dB (GROUP OUT, AUX OUT, ST OUT, MONO OUT)	
	–86 dB (GROUP OUT, ST OUT, MONO OUT)	Regulador de nivel principal: nivel nominal Reguladores de nivel de todos los canales: mínimo Todos los controles de nivel auxiliar: Desactivados
	–81 dB (AUX OUT)	Regulador de nivel principal: nivel nominal Reguladores de nivel de todos los canales, todos los controles de nivel auxiliar: mínimo
	–64 dB (relación señal/ruido de 68dB) (GROUP OUT, AUX OUT, ST OUT)	Regulador de nivel principal, regulador de nivel de un canal, control de nivel auxiliar: nivel nominal Interruptor de asignación: ON Control de ganancia de un canal: máximo
Ganancia máxima de tensión	84 dB CH IN a ST OUT 84 dB CH IN a GROUP OUT 58 dB ST IN a ST OUT 58 dB ST IN a GROUP OUT	
Diafonía (a 1 kHz)	Entrada adyacente de 70 dB, Entrada a salida de 70 dB	
Control de ganancia de entrada de canal	44 dB, variable	
Atenuador fijo de entrada de canal	0 dB/26 dB	
Filtro de paso alto de entrada de canal	80 Hz 12 dB/oct	
Ecualización de canal de entrada	±15 dB como máximo HIGH 10 kHz aplanamiento* MID 250 Hz–5 kHz agudizamiento LOW 100 Hz aplanamiento* * Frecuencia de transición/atenuación progresiva de aplanamiento: 3 dB por debajo del nivel variable máximo.	
Ecualización de entrada de estéreo	±15 dB como máximo HIGH 10 kHz aplanamiento* MID 2,5 kHz agudizamiento LOW 100 Hz aplanamiento* * Frecuencia de transición/atenuación progresiva de aplanamiento: 3 dB por debajo del nivel variable máximo.	
Medidores	LED METER de 13 elementos x4 (GROUP 1–4 /ST L R, PFL•AFL•TAPE IN L R)	
Indicadores de pico de canal	El LED rojo de cada canal se encenderá cuando la señal de post-ecualización alcance un nivel de –3 dB por debajo del de recorte.	
Alimentación fantasma	+48 V se suministran a entradas eléctricamente equilibradas.	
Alimentación	EE.UU. y Canadá: 120 V AC 60 Hz Otros: 230 V AC 50 Hz	
Consumo	GF24/12: 70 W, GF16/12: 70 W, GF12/12: 70 W	
Dimensiones (An x Al x Prf)	GF24/12: 938×157×487 mm GF16/12: 701×157×487 mm GF12/12: 587×157×487 mm	
Peso	GF24/12: 20 kg, GF16/12: 16 kg, GF12/12: 14 kg	

• 0 dB se toma como referencia a 0,775 V eficaces.

Especificaciones de entrada

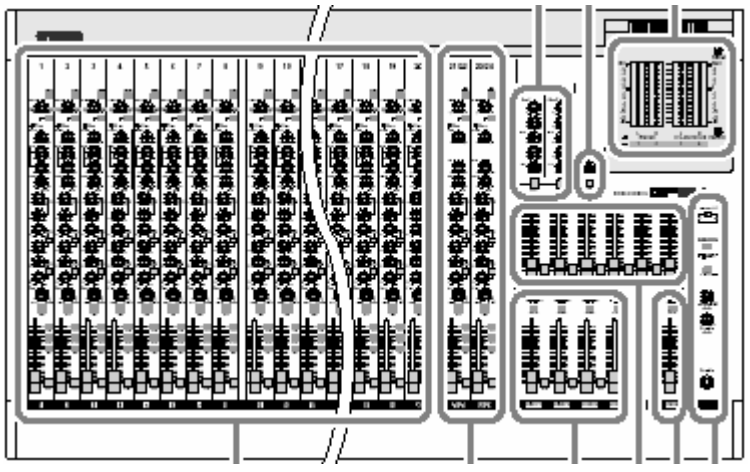
Conectores de entrada	Gain trim	Impedancia de carga actual	Impedancia nominal	Nivel de entrada			Tipo de conector
				Sensibilidad†1	Nominal	Máx. antes del descrestamiento	
INPUT A, B (1–20, 1–12, 1–8)	MÁX	3 kΩ	50–600Ω mic & 600Ω línea	–86 dB (38,8 µV)	–60 dB (0,775 mV)	–40 dB (7,75 mV)	A: Tipo XLR-3-31†2 B: Toma telefónica†2
	MIN			–42 dB (6,16 mV)	–16 dB (123 mV)	+4 dB (1,23 V)	
ST INPUT A, B (21–24, 13–16, 9–12)	MÁX	10 kΩ	600Ω línea	–60 dB (0,775 mV)	–34 dB (15,5 mV)	–14 dB (155 mV)	A: Toma fono†3 B: Toma telefónica†3
	MIN			–16 dB (123 mV)	+10 dB (2,45 V)	+30 dB (24,5 V)	
AUX RTN IN (1, 2)				–12 dB (195 mV)	+4 dB (1,23 V)	+20 dB (7,75 V)	Toma telefónica†3
TAPE IN (L, R)				–26 dBV (50,1 mV)	–10 dBV (316 mV)	+8 dBV (2,51 V)	Toma fono†3
CH INSERT IN (1–20, 1–12, 1–8)				–26 dB (38,8 mV)	0 dB (775 mV)	+20 dB (7,75 V)	Toma telefónica (I/O)†3
ST INSERT IN (L, R)				–10 dB (245 mV)			

†1. Sensibilidad es el nivel más bajo que producirá una salida de +4 dB (1,23 V) o el nivel de salida nominal cuando la unidad está ajustada a la ganancia máxima. (Todos los reguladores y controles de nivel en las posiciones máximas.)
†2. Equilibrados.
†3. Desequilibradas.
• Donde dB representa una tensión específica, 0 dB se toma como referencia a 0,775 V eficaces, 0 dBV se toma como referencia a 1 V eficaces.

Especificaciones de salida

Conectores de salida	Impedancia la fuente actual	Impedancia nominal	Nivel de salida		Tipo de conector
			Nominal	Máx. antes del descrestamiento	
ST OUT (L, R)	150Ω	600Ω línea	+4 dB (1,23 V)	+24 dB (12,3 V)	Tipo XLR-3-32†1
MONO OUT					
GROUP OUT (1–4)	75Ω			+20 dB (7,75 V)	Toma telefónica†2
AUX OUT (1–6)	150Ω			+24 dB (12,3 V)	Toma telefónica†1
C-R OUT (L, R)	75Ω			+20 dB (7,75 V)	Toma telefónica†2
REC OUT (L, R)	600Ω	10 kΩ línea	–10 dBV (316 mV)	+10 dBV (3,16 V)	Toma fono†2
CH INSERT OUT (1–20, 1–12, 1–8)			0 dB (775 mV)	+20 dB (7,75 V)	Toma telefónica (I/O)†2
ST INSERT OUT (L, R)					
PHONES OUT	100Ω	40Ω casque	3 mW	100 mW	Toma telefónica estéreo†2

†1. Equilibrados.
†2. Desequilibradas.
• Donde dB representa una tensión específica, 0 dB se toma como referencia a 0,775 V eficaces, 0 dBV se toma como referencia a 1 V eficaces.



US122. INTERFASE.

10 – Especificaciones técnicas

Especificaciones audio

Niveles de entrada nominales	
MIC L y R (XLR balanceado)	–54dBu (TRIM=max) a –16dBu (TRIM=min)
Entrada LINE/GUITAR en posición LINE (conector de 6,3 mm, balanceado)	–34dBu (TRIM=max) a +4dBu (TRIM=min)
Entrada LINE/GUITAR en posición GUITAR (6,3 mm, no balanceado)	–42.2dBV (TRIM=max) a –4.22dBV (TRIM=min)
Retornos INSERT	–10dBV
Niveles de entrada máximos	
MIC L y R (XLR balanceado)	0dBu
Entrada LINE/GUITAR en posición LINE (conector de 6,3 mm, balanceado)	+20dBu
Entrada LINE/GUITAR en posición GUITAR (6,3 mm, no balanceado)	+11.8dBV
Retornos INSERT	+6dBV
Impedancia de entrada	
Entradas MIC (XLR balanceado)	2.2kΩ
Entrada LINE/GUITAR en posición LINE (conector de 6,3 mm, balanceado)	22kΩ
Entrada LINE/GUITAR en posición GUITAR (6,3 mm, no balanceado)	910kΩ
Retornos INSERT	100kΩ
Niveles de salida nominales	
Salidas LINE OUTPUT (RCA no bal.)	–10dBV
Envíos INSERT	–10dBV
Niveles máximos de salida	
Salidas LINE OUTPUT (RCA no ba.l.)	+6dBV
Envíos INSERT	+6dBV
PHONES (conector de 6,3 mm stereo)	+4.2dBV (100kΩ), nivel de auriculares a –3dB

Máxima potencia de salida	
PHONES (conector de 6,3 mm stereo)	10 mW + 10 mW (40Ω), nivel de auriculares a –3dB

Rendimiento audio

Relación señal-ruido y rango dinámico	
MIC IN a envío INSERT	>100dB (medición A, TRIM=min, impedancia de entrada a 150Ω)
LINE IN a envío INSERT	>100dB (medición A, TRIM=min, impedancia de entrada a 150Ω)
LINE IN (a través de Conversor AD y Conversor DA) a LINE OUT	>93dB (medición A, TRIM=min, impedancia de entrada a 150Ω, LINE OUT=–3dB)
LINE IN (a través de monitor directo) a LINE OUT	>97dB (medición A, TRIM=min, impedancia de entrada a 150Ω, LINE OUT=–3dB)
GUITAR IN a envío INSERT	>98dB (medición A, TRIM=min, impedancia de salida a 600Ω)
LINE OUT (de fuente digital)	>99dB (medición A, LINE OUT=–3dB)
Distorsión armónica total (THD)	
MIC IN a envío INSERT	<0.007% (TRIM=min, 1kHz, entrada +20dBu)
LINE IN a envío INSERT	<0.007% (TRIM=min, 1kHz, entrada +20dBu)
LINE IN (a través de CAD y CDA) a LINE OUT	<0.009%, entrada +20dBu, LINE OUT=–3dB, salida de auriculares al mínimo
LINE IN (a través de monitor directo) a LINE OUT	<0.009%, entrada +20dBu, LINE OUT=–3dB, salida de auriculares al mínimo
GUITAR IN a envío INSERT	<0.05% (TRIM=min, 1kHz, entrada –4.2dBV)

10 – Especificaciones técnicas

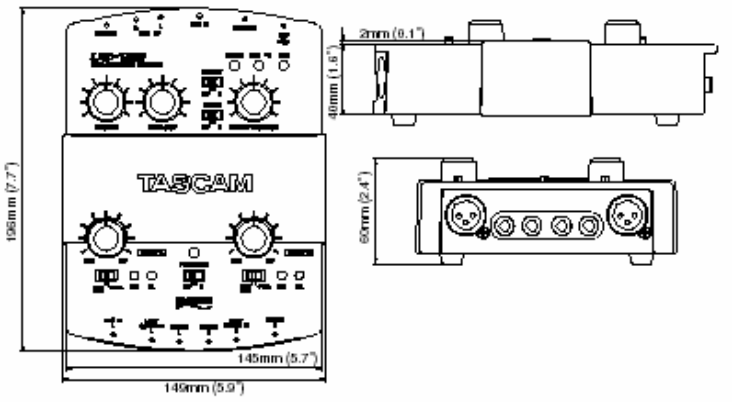
Otras características

Audio digital		
Conversión A/D		24 bits, 17 muestreos de retardo
Conversión D/A		24 bits, 15.4 muestreos de retardo
Frecuencias de muestreo		44.1kHz, 48kHz (seleccionable por software)
MIDI		
Puertos MIDI IN y MIDI OUT		De acuerdo a los standards MIDI
Compatibilidad con ordenador de control		
Sistema operativo	Windows	Windows 98SE, Windows Me, Windows 2000, Windows XP
	Macintosh	Mac OS 8.8 y posteriores (pre-OS X) o OS 10.2.3 y posteriores (OS X)
Comunicación		USB 1.1
Protocolos de interconexión Audio/ MIDI	Windows	ASIO, MME
	Macintosh	ASIO, Sound Manager, CoreAudio y CoreMIDI (OS X), OMS, Free MIDI
Software incluido		Cubasis (no válido para OS X), Giga24 (sólo para Windows)

Características físicas

Dimensiones		
	Dimensiones exteriores (l x a x p)	149 x 60 x 196 (mm)
	Peso	925 g
Alimentación		
	Recibida a través de la conexión USB	5 V, amperaje máximo 500 mA

Esquema de dimensiones



5. Anexo de formulas.

I. Ecuación de la onda viajera del sonido producido por el moviendo de un pistón.

$$S = so\ sen\ [\ \omega\ (\ t\ -\ (\ x / v\ )\ )\ ].$$

S - desplazamiento de una partícula en el aire.
so – posición de equilibrio de una partícula.
ω – frecuencia angular.
t - tiempo.
x – coordenadas a lo largo del tubo.
v – velocidad.

II. Valor de la velocidad del sonido considerando una cierta temperatura.

$$C = 331.6 + 0.6 * Te \quad [m/s].$$

Donde:
C – velocidad del sonido a cierta temperatura.
Te – es la temperatura a considerar en grados centígrados.

III. Expresión matemática de la onda senoidal.

$$f\ (\ t\ ) = Ap\ \cos\ (\omega o\ t + \emptyset).$$

Ap Amplitud de la señal (0 – pico).
ωo Frecuencia angular.
Ø ángulo de fase.

IV. formula para determinar el valor del periodo de una señal dada su frecuencia.

$$To = 1 / f. \quad \text{(Segundos / ciclo).}$$

f – frecuencia.

V. fórmula para determinar la longitud de onda de una señal.

$$\text{Longitud de onda } (\lambda) = c / f.$$

c – velocidad del sonido. (343m/s).
f – frecuencia.

VI. Fórmulas para obtener la relación entre dos cantidades de potencia, voltaje y presión en [db].

$$dB\ [watts] = 10 \times \log (\text{potencia 1} / \text{potencia 2}).$$

$$dB[volts] = 20 \times \log (\text{voltaje 1} / \text{voltaje 2})$$

$$dB_{presión} = 20 \times \log (\text{presión 1} / \text{presión 2})$$

VII. Nivel de presión sonora.

$$Lp = 20 \log (P / P\ ref).$$

P ref - (presión de referencia a la presión de un tono apenas audible (es decir 20 μPa).

P - presión sonora.

Donde log significa el logaritmo (en base 10).

VIII. Intervalo dinámico.

$$\text{Intervalo dinámico} = \text{nivel máx.} - \text{nivel mín.}$$

Nivel max. - Nivel máximo producido por un sistema de audio en un lapso de tiempo.

Nivel min. - nivel mínimo producido por un sistema en un lapso de tiempo.

IX. Absorción del sonido incidente en una superficie.

La absorción = a = St + Sd.
St - Sonido transmitido.
Sd – sonido disipado.

X. Coeficiente de absorción.

Coeficiente de absorción = α = (energía absorbida) / (energía incidente).

XI. Calculo de la frecuencia de cancelación en un punto dado un tiempo de retardo.

fc = [(1 / ta) / 2].
ta = tiempo de retardo.

XII. Calculo del tiempo de reverberación en una habitación construido por uno o n diferentes materiales (con diferentes coeficientes de absorción sonora).

$$T = 0.161 \cdot \frac{V}{\alpha S}$$

Donde:

V es el volumen de la habitación en m^3 .
S es el área de la superficie interior total en m^2.
α es el coeficiente de absorción sonora.

$$T = 0.161 \cdot \frac{V}{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + ... + \alpha_n S_n}$$ (para "n" materiales diferentes).

XIII. Tiempo de retraso entre dos señales provenientes desde diferentes ubicaciones.

Aplicable para ajuste entre arreglo P.A y arreglo de Delay.

t [s] = d [m] / v [m / s].

t [s] = (d [m] / 343 [m/s]).

t = Tiempo de retraso.
d = distancia entre P.A y delay.
v = velocidad del sonido 343 [m/s].

XIV. Frecuencia de corte del filtro paso bajas formado dentro de un cable blindado.

$$f_0 = \frac{1}{2pRC}$$

Donde: fo – frecuencia de corte (la amplitud cae 3 db).

Π = 3.1416

R – resistencia del cable [Ω].

C – capacitancia del cable [F].

XV. Ecuación que manifiesta la transducción de un micrófono dinámico.

$$e = Blv$$

donde:

e = diferencia de potencial inducido [V].
B = densidad de flujo magnético en teslas [T].
l = longitud del cable [m].
v = velocidad del movimiento del diafragma [metros / s].

XVI. Expresión matemática que describe el comportamiento del micrófono de condensador.

$$V+\Delta V=\frac{Q}{C+\Delta C}$$

Donde:
V - voltaje de polarización del micrófono, el cual no produce ninguna señal de audio
ΔV - voltaje que se obtiene al variar el espacio entre las placas (es la señal de audio).
Q - carga del capacitor en Coulombs
C - capacitancia, en Farads
ΔC - incremento en capacitancia creado a partir del movimiento de una de las placas.

XVII. Sensibilidad de un micrófono.

$$S = \frac{v}{p} \quad [\text{ v / Pa }].$$

S es la sensibilidad [v / Pa.]
v es el voltaje inducido en las terminales del micrófono [v].
p es la presión a que es expuesto el micrófono [Pa].

XVIII. Factor "Q" (factor de calidad).

Q = (frecuencia central) / (ancho de banda).

Frecuencia central – frecuencia sobre la que se realizará el ajuste.
Ancho de banda – conjunto de todas las frecuencias inferiores y superiores a la frecuencia central cuyo nivel no ha variado 3db.

XIX. Ganancia de voltaje en db, a partir del voltaje de salida y el voltaje de entrada de un amplificador.

$$G_{dB} = 20\log_{10} \frac{V_{salida}}{V_{entrada}}$$

XX. Factor de amortiguamiento de un amplificador.

F.A = (Z nom. De carga) / (Z real de salida).

XXI. Fuerza generada por el movimiento de la bobina dentro de un altavoz electrodinámico.

$$f_f = Bli$$

Donde:

f_f es la fuerza en newton [N].
B es la densidad de campo magnético en el entrehierro en $[Wb\ m^{-2}]$ (Weber por metro cuadrado)
l es la longitud efectiva en metros [m] del conductor eléctrico dentro de las líneas de flujo
i es la corriente eléctrica en amperes [A].

XXII. Impedancia equivalente de arreglos de altavoces en paralelo y en serie.

$$Z_T = \frac{1}{1/Z_1 + 1/Z_2 + 1/Z_3 + \cdots + 1/Z_n}$$ (en paralelo).

$$Z_T = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \cdots + Z_n$$ (en serie).

Zt – impedancia equivalente.

Zn – impedancia del n-esimo altavoz.

GLOSARIO.

Band with (Q). Ancho de banda.

Bridged. Arreglo en amplificadores de audio que permite sumar la potencia de salida de ambos canales.

Bypass. Switch que permite reestablecer a condiciones originales un proceso.

Cadena de audio. Flujo entre los componentes del sistema de sonorización.

Callejón de potencia. Eje donde se da suma máxima de SPL en baja frecuencia respecto a zonas laterales debido al fenómeno de filtro de peine.

"Clipear". Acción que indica que el equipo electrónico se encuentra trabajando bajo condiciones de saturación.

Cluster. Arreglo de altavoces.

Cobertura. Ángulo dentro del cual no se da una atenuación mayor a 6 db respecto al eje de mayor potencia.

Corneta. Difusor para altavoces.

Crossover. Elemento activo o pasivo que sirve para dividir el espectro de frecuencias.

Damping factor. El factor de amortiguamiento es una propiedad de los amplificadores que indica el control sobre la excursión del altavoz.

DAW. Estación de trabajo de audio digital.

Decibel. Unidad de medición que indica la relación entre dos potencias.

Delay. Retraso.

Direccionalidad. Capacidad de dirigir el sonido a una distancia fija en función a su ángulo de giro.

Down fill. Arreglo de altavoces colocado debajo del P.A para tiro corto.

Ear monitor. Sistema de monitoreo personal.

Faders. Control deslizable para ajustar niveles de señales.

Fatiga auditiva. Sensación auditiva molesta y/o dolorosa producida por niveles sonoros inadecuados.

Feedback. Retroalimentación.

Filtro peine. Fenómeno sonoro debido a la suma de dos señales retardadas entre si; lo que provoca interferencias destructivas.

Front fill. Arreglo de altavoces frontal.

Headroom. Reserva (diferencia entre el nivel máximo de operación y el nivel en que se encuentra operando un equipo del sistema de sonorizaron en un momento especifico).

“Hiss”. Ruido no deseado en alta frecuencia (comúnmente se presenta en reproductores deck).

HPF. Filtro paso-altas.

Intensidad. Característica del sonido determinado por la amplitud de la señal.

Lobe study. Procedimiento dentro del equipo de medición SIM SYSTEM que indica el grado de aislamiento entre subsistemas.

LPF. Filtro paso-bajas.

Monitor. Altavoz dentro del escenario con la capacidad de proveer una mezcla independiente.

MP3. Formato de audio basado en el concepto de enmascaramiento.

Nominal level (Nivel nominal). Nivel de operación del equipo electrónico, en que el fabricante garantiza un funcionamiento óptimo.

Octava. La octava representa una proporción de 2:1 en frecuencia.

Oscilograma. Gráfica que muestra la evolución de la magnitud de una señal con respecto al tiempo.

P.A. Arreglo de altavoces dirigido a satisfacer auditivamente al público.

“Panear”. Ajustar el control de balance de una señal en nuestro sistema.

Patrón polar. Propiedad que indica la sensibilidad según el ángulo en que inciden las ondas sonoras a un micrófono

Phantom power. Fuente eléctrica encargada principalmente para polarizar a los micrófonos de condensador.

Pink noise. Conocido como ruido rosa; creado intencionalmente para realizar diversas mediciones en equipos y sistemas de audio.

Polarizar. Proporcionar las condiciones eléctricas necesarias para que el equipo electrónico pueda funcionar.

“Popeo”. Sensación de saturación en el rango de baja frecuencia en una voz. Acentuando la letra “p”

Ripple. Rizo (en la respuesta en frecuencia en un punto).

RMS. Valor eficaz de una señal; relacionado como el 0.707 de su valor pico.

RTA. Analizador de tiempo real.

RT 60. Tiempo de reverberación.

Ruido. Señal inducida y no deseada que afecta o altera las cualidades de nuestra señal de interés.

Saturación. Se llama saturar a exceder las condiciones eléctricas máximas de trabajo de un equipo o sistema. (Lo cual produce mal desempeño y/o daño físico irreversible).

Side fill. Arreglo de altavoces lateral dentro del escenario.

Slew rate. Rapidez de respuesta (slew rate) es una propiedad de los amplificadores que indica la eficiencia con la que la señal es amplificada y se mide en volt/^{m} s, la rapidez de respuesta depende mucho del voltaje y su frecuencia.

Slope. Rampa o pendiente en una grafica.

Snake. Multiconductor encargado de transmitir señales desde el escenario hasta la consola de audio.

SPL. Nivel de presión sonora.

TDH. Distorsión armónica total.

Threshold- umbral. También se le denomina punto de arranque, y es el punto en el cual comenzará a trabajar el procesador.

Tono. Característica del sonido determinado por el rango de frecuencias emitido.

Transductor. Dispositivo que convierte un tipo de energía a otra.

Transparencia. Término empleado para expresar pureza en el sonido.

VX-1. Ecualizador virtual contenido en el software SmaartLive.

BIBLIOGRAFÍA

Diseño de sistemas de sonorización
Meyer sound Inc.
Berkeley, California U.S.A 1997.

Física para estudiantes de ciencias e ingeniería.
Resnick, Robert. Traducido por Salvador Mosqueira.
1923.

Compendio básico de acústica.
José Pérez M.
España 1969.

Curso básico de sonorización.
Ing. Oscar Barrientos.
México 1999.

Construcción practica y simplificada de cajas acústicas para hi.fi.
Ediciones técnicas REDE.
Barcelona.

Revistas, artículos y publicaciones.

Grabación para operadores de audio.
Coordinación de ingeniería. Televisa
Ing. Carlos Flores Zambrano.

Segundo seminario de sonorización.
Castañeda, Colasurdo, Ramírez y Walraven.
AES sección México. 1998.

Tercer seminario interactivo de sonorización.
Castañeda, Colasurdo, Ramírez y Walraven.
AES sección México. 1999.

Sound check. (Revista especializada en audio profesional)

Mix. (Revista especializada en audio profesional).

Guía de aplicaciones Mackie 2001.

Empezando con Smaartlive: procedimientos de montaje y mediciones básicas.
Paúl D. Henderson.

Electroacústica básica y refuerzo sonoro.
d&b audiotechnik.
Barcelona España.

El callejón de potencia en aplicaciones de refuerzo de sonido.
José Brusi, DAS audio, Departamento de ingeniería.

Internet.

www.doctorproaudio.com

www.nonoise.org

www.shure.com.mx

www.horizonmusic.com

www.soundcraft.com

www.lake.com.au

www.phonic.com

www.audiocontrolindustrial.com

www.electrofante.com

www.meyersound.com/spanish

www.audioenlinea.com