



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**"CAMPUS ARAGÓN"**

**"PROPUESTA DE UN METODO PARA  
SONORIZAR EVENTOS MUSICALES PARA  
ESPACIOS CERRADOS"**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :**  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**  
**BENITO GARCIA GARCIA**

**DIRECTOR DE TESIS:**  
**M.I. VICTOR JAVIER GONZALEZ VILLELA**

**MEXICO**

**1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

***Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, principalmente a la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, por brindarme la oportunidad de desarrollar una carrera profesional.***

***Así también deseo expresar mi agradecimiento al Programa de Apoyo a la Titulación de la División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.***

***Deseo brindar mi agradecimiento al M. I. Víctor J. González Villela, por su brillante labor en la conducción de esta tesis; por su tiempo y por compartir conmigo su experiencia.***

***Del mismo modo, deseo expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que me apoyaron de una u otra forma en la elaboración de este trabajo.***

**A mi Padre**

**Que siempre supo guiarne por el camino  
correcto para lograr esta meta.**

**A mi Madre**

**Por todos sus sinceros consejos que tanto me  
alentaron en momentos difíciles, por su amor y  
carifio.**

**A mis queridos hermanos**

**Que siempre me han demostrado su  
incondicional apoyo y confianza, por  
su carifio, gracias.**

**A mi abuela**

**Que siempre espero este momento.**

**A Verónica**

**Por su cariño, comprensión y paciencia, por regalarme su tiempo.**

**A César Nelyel**

**Que sea este trabajo para tí un motivo de superación constante, así como lo es tu presencia para mí.**

**A ustedes, que serán con quienes compartiré el fruto de este trabajo.**

**PROPUESTA DE UN  
METODO PARA  
SONORIZAR  
EVENTOS MUSICALES  
PARA ESPACIOS  
CERRADOS**

# INDICE

CONTENIDO	PAGINA
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>I</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>II</b>

### **CAPITULO PRIMERO**

<b>1. <u>CONCEPTOS GENERALES</u></b>	
1.1 El sonido	2
1.2 Características del sonido	2
1.2.1 Ondas sonoras	3
1.2.2 Parámetros del sonido	6
1.3 Percepción auditiva	11
1.4 Umbrales de audición	12
1.5 Respuesta en frecuencia	14
1.6 El decibel	16
1.6.1 Definición de decibel	16
1.6.2 Tipos de decibel	17
1.7 Nivel de sonido	21
1.8 Rango dinámico	21
1.8.1 Relación señal a ruido	22
1.8.2 Tolerancia	22
1.9 El sonido en espacios abiertos	24
1.9.1 Ley del cuadrado inverso	24
1.9.2 Efectos de los factores ambientales	26
1.10 El sonido en espacios cerrados	30
1.10.1 Comportamiento del recinto en función de la frecuencia	30
1.10.2 Comportamiento del sonido con respecto al tamaño del recinto	32
1.10.3 Ondas estacionarias	33

1.10.4	Consideraciones de eco y reverberación	36
1.11	Reverberación	38
1.11.1	Definición de reverberación	38
1.11.2	Tiempo de reverberación	38
1.11.3	Fórmula de Sabine	39
1.11.4	Fórmula de Eyring	39
1.11.5	Tiempo óptimo de reverberación	39
1.11.6	Dispositivos asociados a la reverberación	41
1.12	Fuentes de sonido	47
1.12.1	Voz	47
1.12.2	Instrumentos musicales	48
1.12.3	Ruido	52
1.12.4	Octavas y escala musical	54

## CAPITULO SEGUNDO

### **2. SISTEMAS DE SONIDO**

2.1	Definición de un sistema de sonido	59
2.2	Clasificación de los sistemas de sonido	60
2.3	Definición de los elementos que constituyen un sistema de sonido	63
2.3.1	Transductores de entrada	63
2.3.1.1	Métodos de transducción	63
2.3.1.2	Definición de micrófono	64
2.3.1.3	Clasificación de micrófonos	64
2.3.1.4	Características técnicas de los micrófonos	74
2.3.1.5	Valores típicos de los micrófonos	81
2.3.2	Procesamiento de la señal	85
2.3.2.1	Preamplificadores	85
2.3.2.2	Consolas mezcladoras	86
2.3.2.3	Ecuualizadores	90

2.3.2.4	Filtros	92
2.3.2.5	Efectos	93
2.3.2.6	Amplificadores de potencia	97
2.3.2.7	Divisores de frecuencia	97
2.3.3	Transductores de salida	99
2.3.3.1	Definición de altavoces	99
2.3.3.2	Clasificación de altavoces	99
2.3.3.3	Comportamiento de un altavoz en función de fronteras	105
2.3.3.4	Baffles	106
2.3.3.5	Especificaciones de los altavoces	107
2.3.3.6	Comportamiento de un altavoz en función de las frecuencias que manejan	115
2.3.3.7	Suma de presión sonora con altavoces	115
2.3.3.8	Audífonos	117
2.4	Tipos de sistemas de sonorización	123
2.5	Elementos de interconexión	126
2.5.1	Conceptos relacionados con la interconexión	126
2.5.2	Cables	128
2.5.3	Conectores	130

### **CAPITULO TERCERO**

<b>3.</b>	<b><u>PROPUESTA DEL METODO PARA SONORIZAR UN ESPACIO CERRADO</u></b>	
3.1	Método propuesto	140
3.1.1	Etapas de recolección de datos	143
3.1.1.1	Establecimiento de criterios y restricciones	143
3.1.1.2	Establecimiento del rango dinámico	146

3.1.2	Etapa de diseño	148
3.1.2.1	Estudio de las condiciones acústicas	148
3.1.2.2	Cálculo de potencia	158
3.1.2.3	Selección de equipo	170
3.1.2.4	Distribución del equipo	185
3.1.3	Etapa de operación	194
	Conclusiones	201
	Apéndices	203
	Bibliografía	224

# **OBJETIVO GENERAL**

**“HACER UN ESTUDIO Y ANALISIS PARA  
PROPONER UN METODO QUE SIRVA  
COMO HERRAMIENTA PARA SONORIZAR  
CON UNA PERSPECTIVA PROFESIONAL  
EVENTOS MUSICALES PARA  
ESPACIOS CERRADOS”**

# **INTRODUCCION**

## I N T R O D U C C I O N

En estos tiempos de alto desarrollo tecnológico prácticamente en todos los campos, los sistemas de audio, forman parte de la vida diaria de todo el mundo. Casi en todos los hogares podemos encontrar desde un simple radio hasta un sofisticado sistema de sonido. En fábricas y oficinas encontramos sonidos ambientales o sistemas de voice. En centros de recreo o de espectáculos, encontramos sistemas de sonido ambiental y sistemas de sonorización. En los medios de comunicación encontramos sistemas de voice, de transmisión radiofónica o televisiva.

A pesar de la gran diversidad de aplicaciones, el campo de la Ingeniería de Audio ha sido ignorado por la mayoría de los profesionales de la Ingeniería en electrónica, sobre todo en lo concierne a la música.

La presente tesis centra su atención en aquellos sistemas de audio que tienen como propósito la amplificación de sonido en eventos dirigidos a grandes audiencias poniendo especial énfasis en aquellos de propósito musical. A dicho tipo de sistemas de audio se les conoce como sistemas de sonorización o sistemas de refuerzo sonoro.

La principal problemática de la sonorización en México es que al tener un alto grado de dependencia tecnológica en la Ingeniería de Audio, nos encontramos con que el personal mexicano únicamente tiene participación en cuestiones de instalación, muy pocas veces en operación, y prácticamente ninguna posibilidad en diseño y mantenimiento de los sistemas profesionales de audio.

El propósito de esta tesis es el de contribuir a disminuir esta dependencia, a través de la recopilación de la información necesaria y el planteamiento de un método aplicable a los sistemas de sonorización de mediana escala.

## I N T R O D U C C I O N

La tesis se integra de tres capítulos. El primer capítulo se compone de todos aquellos conceptos que se hicieron necesarios para el análisis y comprensión de un sistema de sonorización. Desde el concepto de sonido, considerando sus características, su comportamiento en espacios abiertos como en espacios cerrados, la forma de percepción del sonido por el oído humano y los niveles permisibles, así como las principales fuentes generadoras de sonido para nuestro caso.

En el capítulo segundo se elabora un análisis funcional de los elementos que conforman los sistemas de sonorización en base a un modelo conceptual de un sistema de sonido. Dicho modelo conceptual consta de tres bloques principales que se clasifican en: transductores de entrada (micrófonos) en donde se realiza la conversión de la energía acústica en energía eléctrica, el procesamiento de la señal (consola de mezcla, ecualizadores, generador de efectos y amplificadores de potencia) en donde se efectúa la manipulación eléctrica de la señal de audio y en el último la conversión de la energía eléctrica en energía acústica, conversión que se lleva a cabo por medio de los transductores de salida (altavoces). Aquí también se presentan los elementos relacionados con la interconexión (cables y conectores) del sistema de sonorización propuesto.

En el capítulo tercero se desarrolla el método propuesto el cual se acompaña de un ejemplo de aplicación, utilizando para tal fin el auditorio "Javier Barros Sierra" de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

# **CAPITULO PRIMERO**

**CONCEPTOS**

**GENERALES**

## **1.1 EL SONIDO**

La acústica define que el sonido es producido cuando existe un cambio en la presión normal del aire. Las moléculas reaccionan unas con otras produciéndose las perturbaciones de presión que se propagan en todas las direcciones en forma de ondas.

Lo que viaja a través del aire es la perturbación. Las moléculas que chocan entre sí forman una compresión, y las que al rebotar se apartan, forman una rarefacción. Las compresiones y rarefacciones se extienden a través del aire y forman la onda de presión llamada sonido.

El sonido como fenómeno físico, puede definirse, como la perturbación producida por un cuerpo en vibración dentro de un medio, e identificado por sucesivas variaciones de presión que dan lugar a un determinado tipo de ondas, los cuales reciben el nombre de ondas sonoras, que se propagan a través de este medio transportando energía a una determinada velocidad.

El sonido como sensación, debe ser recibido por el oído y transmitido al cerebro, el cual lo registra como un fenómeno o hecho que ocurre en el mundo que rodea al oyente.

## **1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO**

Mientras vivamos rodeados de aire, estaremos siempre rodeados de ondas sonoras y las oímos aunque no sean necesarias ni interesantes. Los sonidos que agradan a algunos, a veces a otros no les gustan. Así, de acuerdo a las personas el sonido tiene diferentes efectos.

Para un mejor tratamiento del sonido, es necesario conocer sus características principales, de tal forma que podamos operar con solvencia los equipos que integran los sistemas de sonido, para lograr transmitir la señal con la inteligibilidad suficiente y aceptable.

### 1.2.1 Ondas sonoras

Las ondas sonoras son un tipo particular de la clase más general de ondas conocidas como ondas elásticas. Estas son producidas por la vibración periódica del medio material por el que se propaga el sonido. Estas ondas son las que producen la reacción en el oído que el cerebro interpreta como sonido.

La reflexión, la refracción y la difracción son las principales características de una onda sonora.

#### 1.2.1.1 Reflexión del sonido

Una onda sonora se reflejará siempre que haya una discontinuidad o un cambio de medio. Esta reflexión dependerá de la onda incidente, el ángulo de incidencia, la superficie reflectora y las características de los medios.

Cuando una onda sonora incide sobre una superficie, sigue la ley de la reflexión. (figura 1.2.1)

Si  $\angle i$  es el ángulo formado por la onda incidente con la normal a la superficie en el punto de incidencia, y  $\angle r$  es el ángulo de reflexión formado por la onda reflejada con respecto a la misma normal, las leyes de la reflexión afirman:

- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión,  $\angle i = \angle r$
- La onda incidente, la onda reflejada y la normal al punto de incidencia están en un mismo plano.
- Cuando la onda incide perpendicularmente sobre la superficie, la onda reflejada también es perpendicular a dicha superficie.

El fenómeno que pone de manifiesto la reflexión es el eco; que es una onda sonora reflejada o devuelta en otra forma con suficiente magnitud y retraso para ser percibida como un sonido distinto del transmitido.

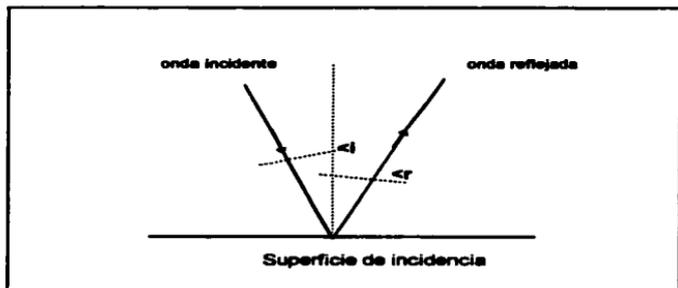


Figura 1.2.1 Reflexión de una onda sonora sobre una superficie plana

#### 1.2.1.2 Refracción del sonido

Cuando las ondas sonoras inciden en una discontinuidad o límite, una parte se refleja y el resto cruza el límite para formar las ondas transmitidas. La dirección de propagación de las ondas transmitidas no es la misma que la de las ondas incidentes. Es decir, cuando una onda sonora pasa de un medio A, en el cual se propaga con velocidad  $V_1$  a un medio B, en el que la velocidad de propagación es  $V_2$ , cambia su dirección. (figura 1.2.2)

Si  $\angle i$ , es el ángulo de incidencia de la onda de la onda sonora sobre la superficie de separación de los dos medios, en el medio B, la onda forma con la normal a la superficie de separación un ángulo de refracción  $\angle r$ , tal que:

$$\frac{\text{sen } \angle i}{\text{sen } \angle r} = \frac{V_1}{V_2} = n$$

Las leyes de la refracción de las ondas sonoras pueden resumirse de la siguiente manera:

- Los ángulos de incidencia y de refracción están en un mismo plano
- El coeficiente  $V_1 / V_2 = n$ , recibe el nombre de índice de refracción.

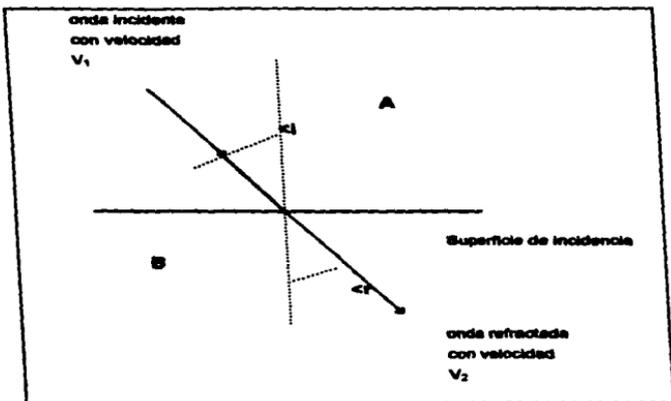


Figura 1.2.2 Ley de la Refracción

### 1.2.1.3 Difracción del sonido

Cuando las ondas sonoras encuentran un obstáculo se difundirán alrededor de los lados del obstáculo, dando lugar a la difracción del sonido.

Las ondas sonoras se difractan si sus longitudes de onda son comparables con las dimensiones de los objetos reflectantes.

Este efecto se explica mediante el principio de "Huygens": Cuando una onda sonora es interceptada por un obstáculo (una rendija, un agujero, etc.), todos los puntos de ésta, afectados por la perturbación sonora se convierten a la vez en centros emisores de ondas esféricas coherentes elementales. Un nuevo frente de onda al separarse del obstáculo, aparece como la envolvente de las diversas ondas elementales. Así, si consideramos una superficie cerrada "S" que rodea un foco emisor "O", el movimiento ondulatorio provocado en el interior de "S" solo puede propagarse al exterior de ella por los puntos de la misma. Si "S" es una superficie de onda, todos sus puntos estarán en igual fase de vibración. Por el principio de Huygens se puede suprimir el foco emisor reemplazándolo por centros secundarios uniformemente distribuidos sobre una superficie de onda .(figura 1.2.3)

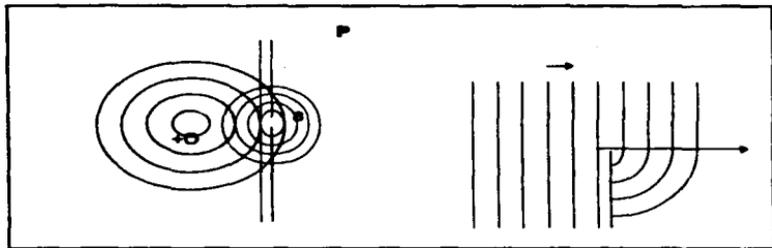


Figura 1.2.3 Difracción de una onda sonora

### 1.2.2 Parámetros del sonido

Comúnmente el sonido se diferencia en tres parámetros fundamentales que son: intensidad, tono y timbre.

### 1.2.2.1 Intensidad

La intensidad es la cantidad de energía acústica que contiene un sonido.

La intensidad se determina por la amplitud de la vibración en su posición máxima de pico a partir de cero o posición de reposo. Es la potencia radiada por la fuente de sonido la que determina la intensidad. La potencia es una medida de energía en la unidad de tiempo. A mayor potencia, mayor amplitud de vibración y consecuentemente mayor es la compresión generada en el aire, es decir; mayor es la presión del sonido y la intensidad del sonido.

Para propósitos acústicos el sonido se mide con respecto a lo que el oído humano puede percibir. La intensidad del sonido se expresa como:

$$I = W/S$$

donde;  $W$  = Potencia radiada por la fuente en watts.

$S$  = Unidad de área en metros cuadrados.

La intensidad de sonido mínimo que es perceptible se considera como la base unitaria y se le denomina "nivel cero", pues a partir de ese nivel hacia abajo el oído humano no percibe el sonido. No obstante, éste nivel tiene una intensidad finita y se ha determinado por medio de experimentos y acuerdos internacionales en un valor de  $10^{-12}$  w/m<sup>2</sup> a 1000 hertz, transmitiéndose en un plano perpendicular y en una superficie de 1m<sup>2</sup>.

En el aire este nivel cero de sonido produce una presión específica, que es de 20 micro-pascal (  $1\mu\text{pa} = 1 \times 10^{-11}$  a la presión atmosférica, 1 Pascal es igual a 1 Newton/m<sup>2</sup> )

### 1.2.2.2 Tono

El tono es la característica que permite distinguir los sonidos agudos y los sonidos graves, depende de la velocidad de vibración del cuerpo generador del sonido. En la figura 1.2.4 se muestra una cuerda corta y tensa, cuando la cuerda vibra a gran velocidad se produce un tono agudo y cuando la velocidad de vibración es baja proporciona un sonido de tono grave o bajo de frecuencia.

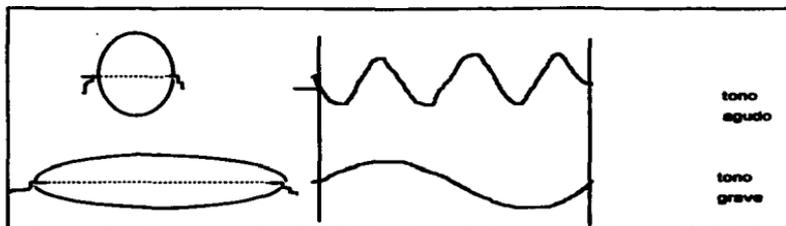


Figura 1.2.4 Forma de onda de un tono agudo y un tono grave

La frecuencia de vibración de la cuerda es el número de movimientos completos de ida y vuelta o ciclos que la cuerda realiza en un segundo. Una frecuencia de 70 Hz. es de un tono bajo y una frecuencia de 14000 Hz. es tan aguda que casi no puede percibirse el oído humano.

### 1.2.2.3 Timbre

El timbre es la característica que permite identificar los diferentes instrumentos musicales, depende de la forma de vibrar del instrumento productor del sonido. Dentro de cada ciclo, la velocidad de desplazamiento de la vibración es distinta en cada instante, y se refleja en la forma de onda característica del instrumento o generador de sonido, como se muestra en la figura 1.2.5.

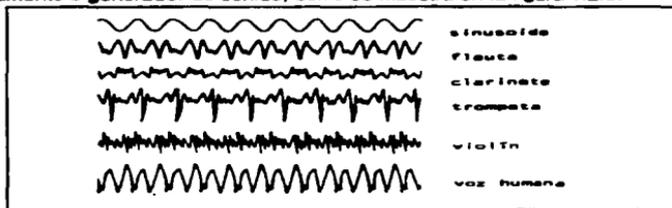


Figura 1.2.5 Formas de onda de diferentes instrumentos

Cada instrumento musical, tiene su timbre propio, y en consecuencia su forma de onda particular. El timbre por lo tanto estará determinado por la cantidad y amplitud de las armónicas que acompañan a la frecuencia fundamental.

### 1.2.3 Velocidad del sonido

La velocidad de propagación es el desplazamiento de la onda sonora con una velocidad que depende básicamente de la elasticidad y densidad del medio. Un cambio en la temperatura produce un cambio tanto en el factor de elasticidad como en la densidad. Estos cambios son de tal magnitud y dirección que el resultado neto es un aumento en la velocidad para un aumento en la temperatura. En el aire a la temperatura de 20 grados centígrados la velocidad es de unos 344 metros sobre segundos a "0" grados centígrados. En cualquier medio homogéneo la velocidad de propagación de las ondas sonoras es la misma a todas las frecuencias.

En otros medios diferentes, a temperatura y presión normales la velocidad de propagación de la onda sonora es la siguiente. (Tabla 1.2.1)

OTROS MEDIOS	TEMPERATURA	VELOCIDAD
Aire	0°	331 m/s
Aire	20°	344 m/s
Hidrógeno puro	0°	1290 m/s
Agua dulce	20°	1450 m/s
Agua de mar	20°	1504 m/s
Madera	20°	4000 m/s
Acero	20°	5000 m/s

Tabla 1.2.1 Velocidad del sonido en otros medios.

### 1.2.4 Frecuencia del sonido

Como las ondas sonoras son producidas por la vibración periódica del medio material por el que se propaga el sonido. El número de esas vibraciones periódicas por segundo se le llama frecuencia del sonido ( $f$ ).

La frecuencia se mide en Hertz (ciclos por segundo). Un sonido de 10 vibraciones por segundo se dice que tiene una frecuencia de 10 Hertz(Hz). El Periodo(T) es el tiempo necesario que tarda una vibración en repetirse.

La frecuencia y el periodo se relacionan mediante la siguiente expresión:

$$f = 1/T$$

Donde:

f = frecuencia en Hertz

T = periodo

### 1.2.5 Longitud de onda

Se le llama longitud de onda ( $\lambda$ ) a la distancia que viaja la onda sonora en un ciclo, dicha distancia se expresa en metros. La relación entre frecuencia y longitud de onda se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\lambda = c/f$$

Donde:

$\lambda$  = longitud de onda expresada en metros

c = Velocidad de propagación del sonido en m/seg.

f = frecuencia del sonido en Hertz

### 1.2.6 Presión sonora

A las variaciones de presión producidas por una onda sonora en su propagación a través del aire se le llama presión sonora. La unidad de medida es el microbar (1 dina/cm<sup>2</sup>).

### 1.2.7 Potencia sonora

La potencia sonora es una propiedad física que va a depender únicamente de la fuente. Es un parámetro absoluto que se usa normalmente para valorar y comparar fuentes sonoras. El símbolo usado internacionalmente para designarles es Pa. Y la unidad en que se mide es el watt (W).

### **1.3 PERCEPCIÓN AUDITIVA**

Nuestro sentido auditivo depende de los dos apéndices que tenemos en la cabeza y que llamamos oídos.

El oído se compone de tres partes: oído externo, oído medio y oído interno.

La onda sonora que incide sobre el pabellón auditivo penetra por el canal y pone en vibración el tímpano. Dicha vibración se transmite al oído interno por medio del movimiento de una cadena de huesecillos (el martillo, el yunque y el estribo) figura 1.3.1. El oído interno transforma los impulsos mecánicos en excitaciones nerviosas que llegan al cerebro, el cual reconoce la información recibida.

El mecanismo auditivo transforma las variaciones de presión, en sensación de sonido. Estas variaciones de presión tiene que producirse con cierta frecuencia para ser oídas. La amplitud o tamaño de las fluctuaciones de la presión también es determinante en cuanto a la detección y/o producción de molestia en los individuos. Por tanto, en la audición de sonidos van a influir, tanto la amplitud de las variaciones de la presión, como la frecuencia con que se producen.

La audición consta de un cierto número de procesos distintos cuya complicación, no permite encontrar una relación simple y única entre las magnitudes físicas de la onda sonora y su percepción por medio del mecanismo auditivo. Para que este transforme una onda sonora en una sensación de sonido es necesario que la frecuencia de estas variaciones de presión este comprendida en una determinada banda y que la amplitud de estas fluctuaciones sea superior a un determinado valor para cada frecuencia.

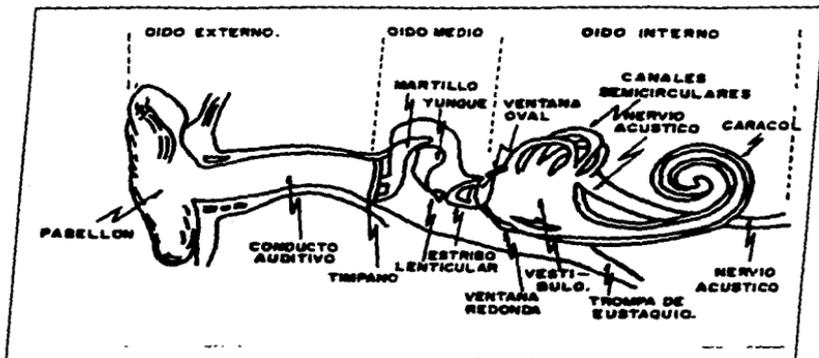


Figura 1.3.1 Mecanismo auditivo

#### 1.4 UMBRALES DE LA AUDICIÓN

Una de las limitaciones del oído humano es la frecuencia, ya que la sensibilidad del oído humano respecto a la frecuencia varía mucho de un individuo a otro, dependiendo fundamentalmente de la edad. Otra de las limitaciones es la energía mínima necesaria para conseguir que se obtenga sensación auditiva.

Para que el oído humano sienta la existencia de un sonido es preciso que las ondas propagadas a través del aire provoquen una presión mínima sobre el oído.

La presión acústica mínima que es capaz de producir impresión de existencia de sonido es de  $0.0002 \text{ dinas/cm}^2$  y se denomina umbral de audición.

Con  $3000 \text{ dinas/cm}^2$  de presión acústica, el oído comienza a sentir dolor, por lo que, cuando se llega a tales condiciones de audición se dice que se alcanza el umbral de dolor.

Por lo que el oído humano se ve sometido en su función fisiológica normal, a una variación de presión de entre 0.0002 y 2000 dinas/cm<sup>2</sup>. Expresados en decibelios dicha variación de presión, tenemos: Para el umbral de audición corresponde a un nivel de presión sonora de 0 dB. Y para el umbral de dolor corresponde a un nivel de presión sonora de 120 dB. (Figura 1.3.2).

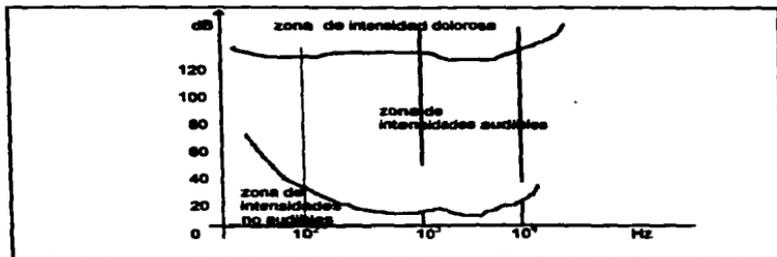


Figura 1.3.2 Curvas de umbral de audición y de sensación dolorosa para distintas frecuencias del rango audible.

## 1.5 RESPUESTA EN FRECUENCIA

Por el término "respuesta en frecuencia" se entiende a la respuesta en estado de régimen permanente de un sistema ante una entrada sinusoidal. En los métodos de respuesta en frecuencia, se varía la frecuencia de la señal de entrada en un cierto rango y se estudia la respuesta de frecuencia resultante. El término respuesta en frecuencia se utiliza en sistemas procesadores de señal y a transductores. Cuando se trata de dispositivos generadores de señal es más apropiado utilizar el término "rango de frecuencia" o "intervalo de frecuencia".

### 1.5.1 Métodos simples de especificación de respuesta en frecuencia

La forma más simple de especificar la respuesta en frecuencia es como se muestra en el siguiente ejemplo:

#### RESPUESTA EN FRECUENCIA: 20 Hz a 20kHz, $\pm 3$ dB

éste tipo de especificación es poco útil ya que lo único que nos garantiza es que la señal se mantendrá dentro de una tolerancia,  $\pm 3$  dB, en el rango de frecuencias especificado, 20 Hz a 20 kHz, sin que sepamos como se comporta la señal en dicho rango, lo cual nos permitiría trazar una gráfica un tanto aleatoria como se muestra a continuación.

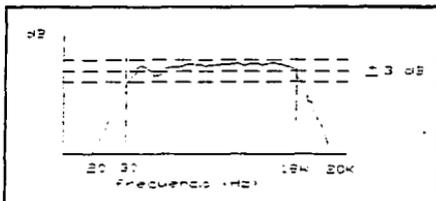


Figura 1.5.1 Gráfica de respuesta en frecuencia para las especificaciones señaladas

Algunos dispositivos de audio tienen la característica de poseer una respuesta en frecuencia plana, tal es el caso de amplificadores de potencia ó amplificadores de línea, por ejemplo. En la figura 1.5.2 se muestra la forma de la gráfica de respuesta en frecuencia plana.

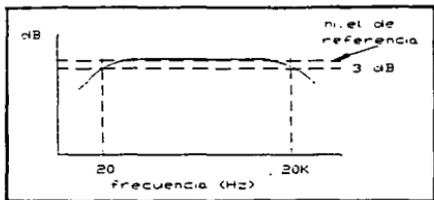


Figura 1.5.2 Gráfica de la curva de respuesta en frecuencia plana.

### 1.5.2 Frecuencia de corte

La frecuencia de corte especificada en las gráficas de respuesta en frecuencia de dispositivos de audio, corresponde generalmente al intervalo audible humano, pero puede especificarse la tolerancia en términos que lo sobrepasen, como se ilustra en la figura 1.5.3.

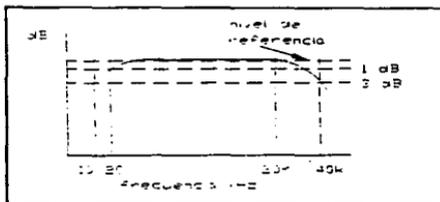


Figura 1.5.3 Gráfica de respuesta en frecuencia de un dispositivo con un gran ancho de banda

La gráfica anterior puede leerse de dos maneras:

- 1a. RESPUESTA DE FRECUENCIA  
20 Hz a 20 KHz, más o menos, 1 dB
- 2a. RESPUESTA EN FRECUENCIA  
10 Hz a 40 KHz, más o menos, 3 dB

Como puede apreciarse, la primer especificación da la apariencia de que el dispositivo trabaja sólo en rangos audibles, en tanto que la otra nos permite apreciar los límites reales de operación del dispositivo.

## 1.6 EL DECIBEL

### 1.6.1 Definición de decibel

El decibel es la décima parte de un Bel, el cual es una relación logarítmica de 2 cantidades eléctricas, acústicas u otra relación de potencia.

La relación de 2 valores de potencia en Bels es:

$$G = \text{Log} \frac{P_2}{P_1} [\text{Bel}]$$

Donde

$P_1$  = Potencia de entrada o de referencia en watts

$P_2$  = Potencia de salida en watts

Si definimos que:

$$[dB] = \frac{1}{10} [\text{Bel}]$$

Relacionando en términos de decibel:

$$G_{dB} = 10 \text{Log} \frac{P_2}{P_1} [dB]$$

La razón por la que se usa el decibel es que se manejen cantidades más pequeñas en relaciones de potencia u otra de cualquier tipo, además en sistemas de sonido la escala en decibeles resulta más natural.

Si deseamos obtener la relación de voltajes en decibeles, hacemos:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Considerando que:

$$P_1 = \frac{V_1^2}{R}$$

$$P_2 = \frac{V_2^2}{R}$$

Sustituyendo tenemos:

$$dB = 10 \text{ Log } \frac{\frac{V_2^2}{R}}{\frac{V_1^2}{R}}$$

Simplificando y aplicando propiedades de los logaritmos obtenemos lo siguiente:

$$dB_{\text{voltage}} = 20 \text{ Log } \frac{V_2}{V_1}$$

Donde

$V_1$  = Voltaje de entrada en volts.

$V_2$  = Voltaje de salida en volts.

Existen además otros términos en decibeles comúnmente utilizados que a continuación se describen.

### 1.6.2 Tipos de decibel

**dBm.** El término dBm expresa un nivel de potencia eléctrica y está siempre referido a 1 milliwatt. Es decir;  $0 \text{ dB} = 1 \text{ milliwatt}$ .

Algunos autores al definir 0 dBm lo asocian con un voltaje de 0.775 volts, pero este es un caso particular cuando la carga es de 600 ohms( $\Omega$ ).

**dBu.** El término dBu es utilizado para expresar niveles de voltaje ya sea de entrada o de salida.

El voltaje representado por dBu es equivalente al representado por dBm si y solo si, en el cálculo de dBm tenemos una carga de 600  $\Omega$ .

Es decir:

$$0 \text{ dBu} = 0.775 \text{ volts}$$

O bien,

$$X \text{ dBu} = 20 \text{ Log } \frac{V_2}{V_1}$$

Simplificando tenemos

$$V_2 = 10^{\frac{X \text{ dBu}}{20}} V_1$$

Si  $V_1 = 0.775 \text{ volts}$ , entonces,

$$V_2 = 10^{\frac{X \text{ dBu}}{20}} (0.775) \text{ volts}$$

**dBV y dBv.** El término dBu es de reciente aplicación y antes de que surgiera se utilizaba (y a veces se sigue utilizando) el término dBv para expresar lo mismo que el dBu, es decir;

$$0 \text{ dBv} = 0.775 \text{ volts}$$

y por otra parte,

$$0 \text{ dBV} = 1 \text{ volt}$$

donde los subíndices "V" y "v" es la diferencia entre ambos términos.

**dBW.** El término es utilizado para especificar la potencia eléctrica en amplificadores de potencia principalmente y se refiere a la potencia eléctrica referida a 1 watt, es decir:

$$0 \text{ dBW} = 1 \text{ watt}$$

**dB SPL.** Este término se usa para indicar el nivel de presión sonora que es el nivel de presión medido por unidad de área de un punto localizado a cierta distancia de la fuente sonora. Si  $P_1$  y  $P_0$  son expresiones que indican presión sonora, entonces:

$$dB_{SPL} = 20 \text{ Log } \frac{P_1}{P_0}$$

Donde

$P_0$  = Presión sonora de referencia

$P_1$  = Presión sonora de salida

Lo cual es un nivel expresado en dB's referida a 0.0002 dinas por centímetro cuadrado ó 0.000002 Newtons por centímetro cuadrado.

0 dB SPL indica el umbral de audibilidad para gente joven en frecuencias de 1 KHz a 4 KHz.

**dB PWL.** Este es un término utilizado para expresar nivel de potencia acústica en watts y generalmente se utiliza cuando calculamos la eficiencia de un sistema de altavoces, la expresión es la siguiente:

$$dB_{PWL} = 10 \text{ Log } \frac{P_1}{P_0}$$

Esta relación es parecida a la expresión del cálculo de la potencia eléctrica, pero no tienen ningún nexo ya que dB PWL expresa potencia acústica; normalmente se tiene una eficiencia del 10% en altavoces, es decir, si una bocina tiene una potencia eléctrica de 100 watts (20 dBW), esto genera una potencia sonora de 10 watts (10 dB PWL).

## 1.7 NIVEL DEL SONIDO

El "nivel del sonido" se refiere generalmente al nivel de presión sonora, aunque puede referirse a potencia de sonido.

El término  $dB_{SPL}$ , nos indica el nivel del sonido respecto a la presión, referido a 0.0002 dinas por centímetro cuadrado. La siguiente tabla nos indica los típicos niveles de sonido de varias fuentes y su distancia relativa al receptor u oído humano.

$dB_{SPL}$	
140	Pistola colt. 45 (7.62 metros)
130	Sirena de 50 Caballos de fuerza (30.48 metros)
120	Umbral del dolor
110	Música de rock (3.05 metros)
90	Música clásica
80	Cabina de un Jet
70	
60	Conversación promedio (0.91 metros)
50	
40	Auditorio en calma
30	Estudio de grabación en calma
20	
10	
0	Umbral de audibilidad
- 10	Algunas cámaras anecóicas**

\*\*La cámara anecóica sirve para la medición de los parámetros y respuesta en frecuencia de micrófonos y altavoces, así como para cualquier instrumento generador de sonido. Estas cámaras están totalmente acondicionadas en su interior con materiales altamente absorbentes que no permiten reflexión alguna del sonido.

## 1.8 RANGO DINAMICO

El rango o intervalo dinámico, en decibeles, de un sistema de audio ó medio de transmisión es la diferencia entre el nivel más bajo y el más alto que el sistema es capaz de manejar. El nivel más bajo, generalmente está limitado por el nivel de ruido residual de un sistema; y el límite del nivel más alto, es el punto en el cual el sistema comienza a distorsionar la señal que pasa a través del mismo.

Esto es,

$$N = 20 \log \frac{e_2}{e_1}$$

donde,

$e_1$  = voltaje mínimo (ruido)

$e_2$  = voltaje máximo

N = rango dinámico en dB

o bien, por propiedades de los logaritmos,

$$N = 20 \log e_2 - 20 \log e_1$$

Si se trata de niveles de potencia, entonces,

$$N = 10 \log P_2 - 10 \log P_1$$

con lo cual el rango dinámico ya sea de potencia ó voltaje se puede calcular como la diferencia en dB de la parte más alta del nivel, menos la parte más baja.

El rango dinámico del oído humano, se puede obtener, si consideramos el nivel más bajo de presión sonora como 0 dB<sub>ref</sub> y el más alto (sin dolor) 120 dB<sub>ref</sub>, por tanto el rango dinámico (N) es de 120 dB<sub>ref</sub>.

### 1.8.1 Relación señal a ruido (S/N).

La relación señal a ruido representa la diferencia en decibelios, entre el nivel nominal o de programa y nivel del ruido residual o intrínseco dentro del recinto.

La relación señal a ruido nos permite establecer el rango dinámico en el cual trabajara el sistema de sonorización para el recinto a sonorizar.

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{nivel nominal de la señal}}{\text{nivel de ruido}}$$

Si los valores de señal y ruido están en dB, entonces,

$$\frac{S}{N} = \text{señal[ dB ]} - \text{ruido[ dB ]}$$

### 1.8.2 Headroom (Tolerancia)

Se define como tolerancia en el intervalo dinámico en dB a la diferencia entre el nivel más alto y el nivel promedio del sistema de sonido.

$$\text{Tolerancia[ dB ]} = \text{nivel mas alto [ dB ]} - \text{nivel promedio [ dB ]}$$

Si el nivel de ruido es igual al nivel más bajo del sistema, entonces el rango dinámico es igual a la suma de la relación señal a ruido más la tolerancia, como se ilustra en la siguiente figura:

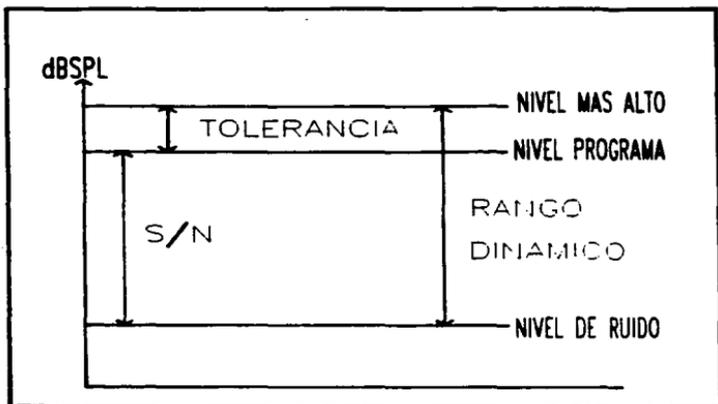


Figura 1.8.1 Gráfica de rango dinámico

## **1.9 SONIDO EN ESPACIOS ABIERTOS**

En esta sección se presentan los principales factores a tomar en cuenta para describir el comportamiento del sonido en espacios abiertos y los efectos de dicho comportamiento en un sistema de sonido.

La característica más importante que presenta un espacio abierto es la ausencia de superficies reflectivas. Por lo tanto, en un escenario de este tipo, la variable de mayor influencia en la percepción auditiva de un espectador es el nivel de presión sonora, el cual puede ser determinado por la ley del cuadrado inverso. Los otros factores que modifican el comportamiento del sonido en los espacios abiertos son los factores ambientales, los cuales pueden causar que el comportamiento del sistema del sonido no coincida con la predicción hecha en base a la ley del cuadrado inverso.

### **1.9.1 Ley del cuadrado inverso (the inverse square law)**

Esta ley nos permite determinar el nivel de presión sonora en un punto determinado en base a la distancia existente entre dicho punto y el lugar en donde se localiza el origen del sonido asumiendo ausencia de superficies reflectivas y una radiación de sonido omnidireccional.

La ley del cuadrado inverso establece que la intensidad del sonido varía con el cuadrado de la distancia o dicho en otras palabras:

"Cada vez que se duplica la distancia al punto de origen del sonido, el nivel de presión sonora disminuye 6 dB".

La expresión anterior puede ser expresada matemáticamente a través de la siguiente ecuación:

$$L = 20 \log (d1-d0)$$

Donde:

$L$  es el nivel de presión sonora en dB.

$d_0$  es una distancia de referencia.

$d_1$  es la distancia al punto deseado.

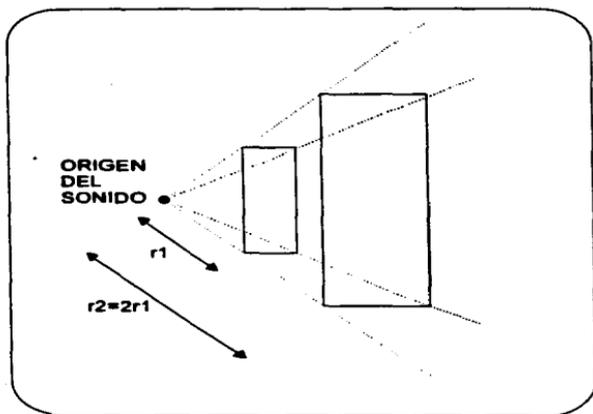


Figura 1.9.1 El área de la superficie se incrementa de acuerdo al cuadrado de la distancia.

### **1.9.2 Efectos de los factores ambientales.**

La propagación del sonido en espacios abiertos esta sujeta a la influencia de factores ambientales, lo cual plantea muchos problemas adicionales, como la atenuación que sufre el sonido debida a la humedad relativa del aire (fenómeno que es más acentuado en frecuencias mayores a 2 KHz.). Los vientos afectan impredeciblemente la difusión del sonido, pudiendo perderse palabras y hasta frases completas según la fuerza de las ráfagas. La temperatura modifica el alcance del sonido a través de las refracciones que se producen por los cambios en el nivel de temperatura(gradientes de temperatura).

En consecuencia el estudio del comportamiento del sonido al aire libre no se reduce a la obtención de la intensidad debida a una distancia porque el medio en el cual se propagan las ondas sonoras no es ni homogéneo ni estable. El estudio se complica porque se carecen de suficientes datos micrometeorológicos para efectuar los cálculos. Los cambios de velocidad del viento(gradientes de velocidad) y de temperatura alteran la dirección del sonido, las turbulencias lo distorsionan y la viscosidad produce absorción sobre todo a altas frecuencias(>a 2 KHz).

Por lo tanto, si lo que se desea es conocer el nivel que alcanza el sonido, en un punto distante, los factores a tomar en cuenta son: el viento, el gradiente de temperatura y la humedad.

#### **1.9.2.1 Viento**

Los efectos ambientales debidos al viento pueden ser :

- Efectos de velocidad
- Efectos de gradiente

El efecto debido a la velocidad del viento es ilustrado en la figura 1.9.2 en donde podemos observar como al vector de propagación del sonido se le suma el vector de

dirección del viento provocando un desplazamiento en el vector de propagación del sonido, dando la impresión de que este proviene de un punto diferente.

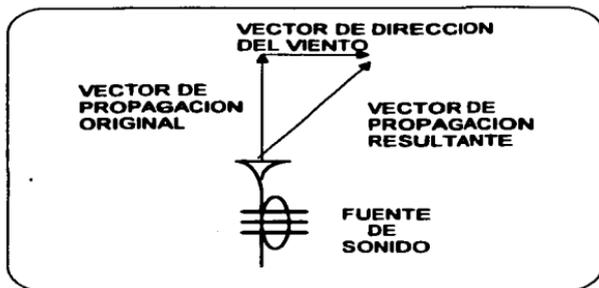


Figura 1.9.2 Efectos en la propagación del sonido debidos a la velocidad del viento.

Los efectos debidos al gradiente de velocidad ocurren cuando una capa de aire se está moviendo a diferente velocidad que la de una capa adyacente. La figura 1.9.3 nos ilustra los efectos del gradiente de velocidad del viento en la propagación del sonido.

Debido a que la velocidad del viento se suma al vector de propagación del sonido, tendremos una refracción cuando el sonido se encuentre con un gradiente de velocidad. Si asumimos una estratificación de capas como la de la figura 1.9.3, cuando el sonido tenga la dirección contraria a la del viento sufrirá una refracción hacia arriba y cuando la dirección del sonido sea la misma que la del viento, la refracción será hacia abajo. En el caso de estratificación horizontal las refracciones serán hacia la izquierda o hacia la derecha.

Los efectos debidos al viento son mínimos (excepto en huracanes) porque las variaciones de velocidad con respecto a la velocidad del sonido son mínimas. Sin embargo corrimientos drásticos pueden desestabilizar un sonido estéreo.

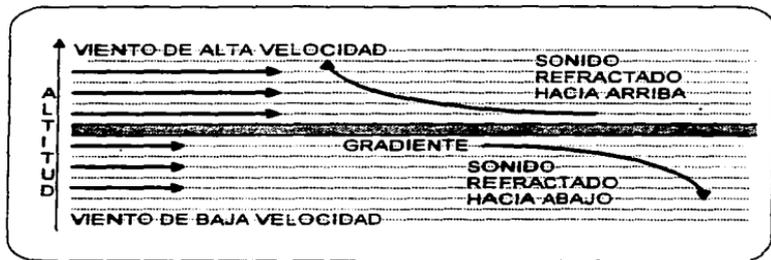


Figura 1.9.3 Efectos del gradiente de velocidad del viento en la propagación del sonido.

### 1.9.2 Temperatura

La velocidad del sonido también es afectada por la temperatura. El sonido viaja a través del aire a una velocidad mayor de lo que lo hace en el aire frío. Por esta razón el gradiente de temperatura también causa efectos de refracción.

La figura 1.9.4 ilustra los efectos del gradiente de temperatura en sonidos al aire libre. En la figura 1.9.4(a) el aire en la parte superior está tibio o caliente mientras que el de la parte inferior está frío, tal situación se puede presentar en la mañana, cuando el piso aun se encuentra frío debido a la noche anterior y el aire de la parte superior está tibio por el sol. Bajo estas condiciones el sonido tiende a rebotar entre el gradiente y el piso. Formando regiones de alta y baja intensidad.

En la figura 1.9.4(b) se ilustra la situación contraria, condición que se puede presentar en las tardes, cuando el suelo está aun tibio. El sonido en este caso tiende a refractarse hacia arriba.



Figura 1.9.4 Efectos de gradientes de temperatura en la propagación del sonido.

### 1.9.2.3 Humedad

A medida de que el sonido viaja a través del aire este absorbe energía del sonido atenuándolo o debilitándolo. El efecto es significativo para frecuencias mayores a 2 kHz.

La atenuación del sonido en el aire es afectada por la humedad relativa. El aire seco absorbe la energía acústica más rápidamente de lo que lo hace el aire húmedo. Esto se debe a que el aire húmedo es menos denso que el aire seco.

## **1.10 EL SONIDO EN ESPACIOS CERRADOS**

A diferencia de lo que ocurre en los espacios abiertos, el sonido en espacios cerrados exhibe un comportamiento mucho más complejo. Años de investigación acústica han dado origen a una serie de ecuaciones a través de las cuales se intenta cuantificar los efectos de los campos reverberantes en el comportamiento del sonido. Sin embargo dicha serie de ecuaciones, son únicamente válidas para recintos de geometría simple (por ejemplo un recinto cuadrado o rectangular). En esta sección lo que se pretende es ilustrar los conceptos involucrados dentro del análisis de un recinto cerrado de geometría simple.

### **1.10.1 Comportamiento del recinto en función de la frecuencia**

Cuando una onda sonora choca contra la superficie de una pared, un techo o un piso, parte de la energía de dicha onda es reflejada, la energía que no es reflejada entra a la frontera. Determinado porcentaje de la energía que entra en la frontera es absorbida por el material a través de la conversión de calor y la energía restante logra atravesar la frontera. Por otro lado cuando la onda sonora se encuentra con pequeños obstáculos se presenta el fenómeno de la refracción.

Los fenómenos de refracción, reflexión, transmisión y absorción son todos dependientes de la frecuencia y del ángulo de incidencia con el cual las ondas sonoras chocan con las superficies de las fronteras e independientes de la intensidad del sonido. La figura 1.10.1 nos ilustra los fenómenos que dominan el comportamiento de un recinto en función de la frecuencia.

Conociendo las dimensiones del recinto es posible calcular las frecuencias frontera que delimitan las regiones de la figura 1.10.1. La frecuencia límite entre las regiones X y A está asociada a la longitud del recinto, la cual presenta un comportamiento similar al de una pipa de un órgano cerrada por ambos lados, la cual tendría una presión máxima en cada uno de los extremos y un nodo justo en el centro, en donde la presión existente es igual a cero. El valor de esta frecuencia límite es obtenido a través de la siguiente ecuación:

$$f_{A,B} = V_s / 2L$$

En donde:

$V_s$  = velocidad del sonido: 344 m/s.

$L$  = longitud del recinto.

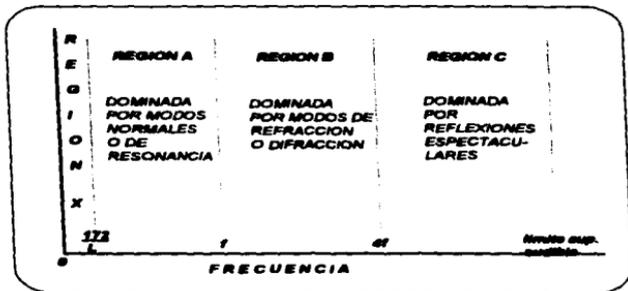


Figura 1.10.1 Fenómenos que dominan el comportamiento de un recinto en función de la frecuencia.

El límite entre las regiones A y B ocurre al valor de frecuencia que se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$f_{A,B} = (T / V)^{1/2}$$

En donde:

$T$  = tiempo de reverberación en segundos.

$V$  = volumen del recinto en pies cúbicos.

Finalmente la frontera entre la región B y la región C de la figura 1.10.1 es de aproximadamente:

$$f_{B,C} = 4f_{A,B}$$

De lo anterior se observa para cada uno de las regiones con la salvedad de que poco puede hacerse en la región X. Lo cual no significa que ningún sonido por debajo de  $V_s/2L$  exista en el recinto, sino que la respuesta del mismo es pobre. El tiempo de reverberación se determina en el subtema 1.11.

#### 1.10.2 Comportamiento del sonido con respecto al tamaño del recinto

Los efectos del tamaño del recinto en la calidad acústica del sonido es ilustrado en la figura 1.10.2. De la figura podemos observar que entre más pequeño es el recinto, el valor de la frecuencia que limita a la región X es mayor, haciendo que la porción de respuesta pobre del recinto se incremente. Para aquellos recintos que solo están destinados para voz, dicha situación puede no ser un problema, debido a que únicamente el 10 % del lenguaje cae por abajo de los 200 Hz.

La región A se incrementa a medida que el tamaño del recinto se reduce, lo que significa que en los recintos pequeños es mayor la porción del espectro audible que es dominado por los modos de resonancia, lo que da como resultado una irregularidad en la respuesta del recinto y un aumento en la coloración del sonido.

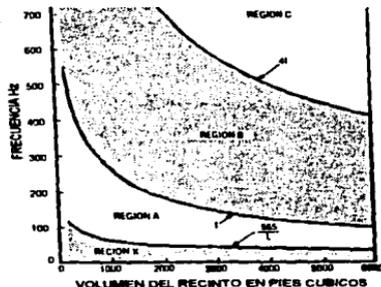


Figura 1.10.2 Influencia del tamaño del recinto en el comportamiento del recinto.

### 1.10.3 Ondas estacionarias

Un efecto significativo, que se presenta debido a la dureza de las fronteras de un recinto cerrado, es la formación de lo que se conoce como ondas estacionarias.

Cuando una onda sonora de determinada frecuencia, proveniente de una fuente constante de sonido, choca contra una superficie reflectiva las ondas del sonido reflejado se combinan con las subsiguientes ondas emitidas y donde los picos de onda coinciden, las ondas se combinan y se refuerzan una a otra. El resultado es un patrón estacionario en el aire, el cual consiste de zonas de baja presión, conocidas como nodos, alternando con zonas de alta presión las cuales son llamadas antinodos. El fenómeno es conocido como onda estacionaria.

Caminando a través de una zona de onda estacionaria fácilmente se pueden identificar lugares en donde el sonido es muy alto y otros en donde el sonido es muy débil.

Las zonas de alta y baja presión se encuentran espaciadas por  $1/2$  de la longitud de onda y sus posiciones en el espacio están determinadas por la frecuencia del sonido.

### **1.10.3.1 Ondas estacionarias dentro de dos superficies**

En el caso de que se tengan dos paredes paralelas y altamente reflectivas y una fuente de sonido continua en el centro de las mismas. El sonido viaja en todas direcciones propagándose hasta alcanzar ambas paredes. Parte de la energía es absorbida por las paredes y la gran mayoría es reflejada. Las ondas reflejadas alcanzan una vez más las paredes reflejándose de nuevo. Dicho proceso continúa hasta que la energía sonora se disipa en su totalidad debido a la absorción del aire y las paredes. Bajo esta situación, las ondas estacionarias se forman si y solo si la longitud de onda es igual a la distancia existente entre las dos paredes paralelas.

A las ondas estacionarias también se les conoce como resonancias, frecuencias naturales o modos.

Si se supone un área de audiencia entre las dos paredes paralelas y la longitud de onda de determinada nota de un pasaje musical coincide con la distancia entre ambas paredes. Los miembros de la audiencia que se encuentren localizados en los nodos probablemente tengan problemas para escuchar a dicha nota, mientras que los que se localicen en los antinodos escucharán la nota demasiado alta. Obviamente el fenómeno de las ondas estacionarias modifica el comportamiento del sonido en un recinto.

### **1.10.3.2 Ondas estacionarias en recintos**

En los recintos, la situación es mucho más complicada en comparación con lo que ocurre entre dos paredes paralelas. En un recinto hay, cuando menos tres de estas condiciones resonantes una entre cada par de paredes paralelas, una más entre el piso y el techo, además de que se presentan dos condiciones más complicadas, una que involucra a las cuatro paredes y una que envuelve a las seis superficies en conjunto.

Cuando únicamente un par de superficies reflectoras, es el involucrado, el modo es llamado axial; cuando dos pares son los involucrados el modo que se presenta es el

tangencial. Por último, cuando tres pares de superficies son los involucrados se presentan los modos oblicuos. De los tres tipos de modos existentes en un recinto son los modos axiales los que contienen la mayor proporción de energía, debido a que únicamente las distancias y reflexiones de dos superficies son las que están involucradas. En cambio en los modos tangenciales y oblicuos las distancias son mayores y mayor es el número de las reflexiones pérdidas, razón por la cual la intensidad de los modos se reduce.

De lo anterior se puede establecer que el aire encerrado en el interior de un recinto presenta un número infinito de modos normales. A través de la siguiente ecuación se pueden determinar las frecuencias a las cuales los modos ocurren dentro de un recinto rectangular:

$$f = (c/2) [(p/L)^2 + (q/W)^2 + (r/H)^2]^{1/2}$$

En donde:

c = velocidad del sonido, 1130 ft/s.

L = longitud del recinto en ft.

W = ancho del recinto en ft.

H = altura del recinto en ft.

q, p y r = números enteros 0, 1, 2, 3, ..., n

También ocurre que el número de modos comprendidos dentro de un determinado rango de frecuencia se va incrementando a medida que el valor de la frecuencia lo va haciendo. El número aproximado de modos normales que se encuentran por debajo de una frecuencia puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$N = [(4\pi V/3)(f/c)^3] + [(\pi S/4)(f/c)^2] + [(E/8)(f/c)]$$

En donde:

**N** = número aproximado de los modos existentes por debajo de la frecuencia **f**.

**f** = frecuencia para la cual deseamos conocer el número de modos existentes en Hz.

**c** = velocidad del sonido en m/s.

**V** = volumen del recinto en metros cúbicos.

**S** = superficie del recinto en metros cuadrados.

**E** = suma de las longitudes de todas las aristas del recinto en metros  $[4(\text{Longitud}+\text{Anchura}+\text{Altura})]$ .

Los buenos diseños acústicos toman en cuenta los modos de resonancia y tratan de minimizarlos, evitando las superficies paralelas y por medio de tratamientos absorbivos. Uno de los tratamientos absorbivos más simples y efectivos es la instalación de cortinas.

#### **1.10.4 Consideraciones de eco y reverberación**

Otro efecto considerable y muy discutido de las superficies reflectivas es la reverberación, dicho efecto es tratado ampliamente en una sección posterior debido a su importancia dentro del comportamiento del sonido en un espacio cerrado.

De manera breve, tanto el eco como la reverberación son reflexiones de sonido. Pero en el eco existe un tiempo considerable entre el sonido original y el sonido reflejado de manera que ambos pueden escucharse de manera separada. Bajo esta condición el sonido reflejado es conocido como eco. Si el recinto tiene un número considerable de ecos y ellos están espaciados por tiempos muy cortos de manera que las distintas reflexiones no son audibles entonces el fenómeno es conocido como reverberación.

Dependiendo de los materiales de construcción de los recintos, de su forma, de los muebles del mismo, de su tamaño y del propósito, en un recinto puede haber ya sea poca o ninguna reverberación. O como en el caso de los grandes domos deportivos (Palacio de los Deportes), puede haber múltiples ecos distintos perfectamente percibidos.

Sin embargo, tanto el eco como la reverberación no siempre representan un problema para el sistema de sonido. Por ejemplo, cuando el tiempo entre el sonido original y las reflexiones es menor a 40 ms, el sonido reflejado se incorpora al sonido original de manera benéfica. Lo que significa que bajo esta situación las reflexiones pueden en realidad mejorar la inteligibilidad. La utilidad de el eco depende principalmente del tiempo existente entre el sonido directo y el sonido reflejado y de la diferencia en nivel entre los mismos.

Por otro lado, pequeñas cantidades de reverberación es frecuentemente deseable, especialmente en el caso de ejecuciones musicales. También en el caso de sistemas de refuerzo sonoro para voz, determinada cantidad de reverberación puede mejorar su inteligibilidad.

Las ecuaciones presentadas en esta sección, nos permiten analizar las interacciones existentes entre un recinto cerrado y un sistema de sonido. Pero se debe considerar que el desarrollo de dichas ecuaciones asume un campo reverberante bien desarrollado y estadísticamente aleatorio en recintos de geometría simple. Razón por la cual, los resultados obtenidos pueden ser muy correctos para aquellos recintos de formas rectangulares.

Una manera de abordar los recintos de geometría compleja es utilizar para la determinación del nivel de presión sonora adecuado y los niveles de potencia requeridos para dicho nivel es utilizar las ecuaciones utilizadas para los sistemas de sonido en espacios abiertos.

## 1.11 REVERBERACION

### 1.11.1 Definición de reverberación

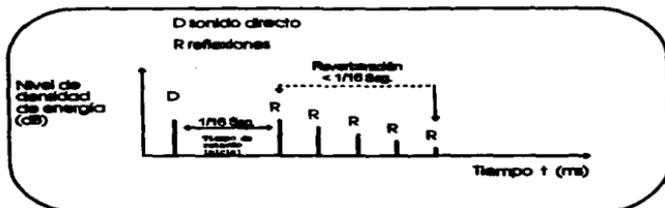


Figura 1.11.1 Proceso real de crecimiento y decaimiento de energía sonora en un recinto

La reverberación es la persistencia de sonidos después de que han dejado de ser emitidos, resulta de numerosas reflexiones producidas por las ondas sonoras en superficies poco absorbentes.

Entre el sonido directo y el reflejado debe existir una diferencia de tiempo de 1/16 de segundo que es el tiempo de persistencia acústica del sonido en el oído para que la reverberación ( $< 1/16$ ) y el eco ( $> 1/16$ ) sean perfectamente diferenciables.

### 1.11.2 Tiempo de reverberación

Es el tiempo ( $T_r$ ) requerido para que un sonido disminuya hasta una millonésima parte de su valor inicial ( $10^{-6}$ ), es decir cuando se extinga, una vez que el sonido original haya cesado y se puede determinar por la fórmula de Sabine.

### 1.11.3 Fórmula de Sabine

La fórmula dada por Wallace C. Sabine nos permite calcular el tiempo de reverberación:

$$T_r = 0.161 V / [\Sigma (S \alpha)] \quad [s]$$

donde:

$T_r$  = tiempo de reverberación en segundos

$V$  = volumen del local en metros cúbicos

$\Sigma (S \alpha)$  = Sumatoria de los productos de las superficies (S) en metros cuadrados que limitan el local por sus respectivos coeficientes de absorción ( $\alpha$ ).

La fórmula de Sabine es exacta con coeficientes pequeños de absorción (< 0.2), este coeficiente de absorción es la relación que existe entre el sonido incidente y el reflejado sobre un material, existen tablas de coeficientes estandarizados de los materiales más comunes, como las que se muestran en el apéndice A (Pag. 205).

### 1.11.4 Fórmula de Eyring

Es otra ecuación que se utiliza para determinar el tiempo de reverberación y se deriva de la fórmula de Sabine. La fórmula de Eyring es recomendable cuando el coeficiente de absorción es igual o mayor de 0.2. En esta ecuación el coeficiente de absorción se sustituye por el exponente de absorción  $E\alpha = -\ln(1 - \alpha)$ , donde  $\ln$  es logaritmo natural.

Por lo que el tiempo de reverberación está determinado por la relación siguiente:

$$T_r = 0.161 V / \Sigma [-S \ln(1 - \alpha)] \quad [s]$$

### 1.11.5 Tiempo óptimo de reverberación $T_o$ .

El tiempo óptimo de reverberación nos permite establecer un nivel de calidad deseable del sonido en función directa con el recinto y del tipo de evento musical a realizarse. El criterio elegido en este método para definir el tiempo óptimo de reverberación, es el propuesto por el Dr. Harry F. Olson en su tratado "Music, Physics and engineering" ("Música, Física, e Ingeniería"). La gráfica correspondiente se muestra en la figura 1.11.2, donde se ha indicado el volumen final del auditorio,  $V = 2810.16 \text{ m}^3$ . En el capítulo tercero en la tapa de diseño se presentan los cálculos de los tiempos óptimos.

Beranek realizó en 1962 estudios a 46 auditorios y 18 salas de Opera de todo el mundo, pudiendo observar que los valores de  $T_o$  distan mucho entre ellos. Así, el Carnegie Hall de New York, con un volumen de 24, 450 m<sup>3</sup> tiene un tiempo óptimo de reverberación de 1.7 segundos, el Beethoven Hall de Bonn, con volumen de 15, 700 m<sup>3</sup> tiene un tiempo de 1.7 segundos, el Royal Hall de Londres con volumen de 68, 600 m<sup>3</sup> tiene un tiempo de 2.5 segundos, el auditorio de Madrid de 22, 000 m<sup>3</sup> tiene un  $T_o$  de 2 segundos.

Estudios como los de Beranek hicieron posible realizar una gráfica como la que se muestra a continuación de tiempo óptimo de reverberación contra volumen.

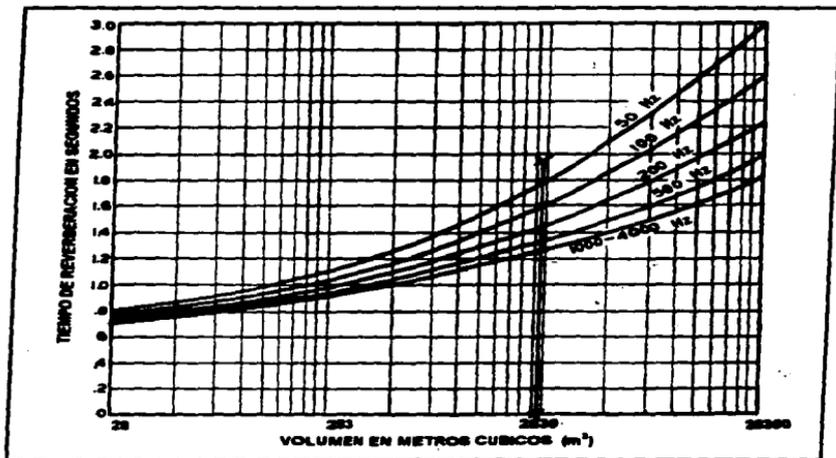


Figura 1.11.2 Gráfica de tiempo óptimo de reverberación

## 1.11.8 Dispositivos asociados a la reverberación

### 1.11.8.1 Reverberómetro

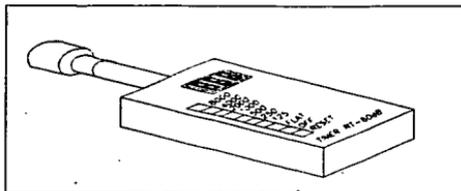


Figura 1.11.3 Reverberómetro

Es el aparato que permite medir el tiempo de reberveración en locales abiertos o cerrados. La mayor parte de ellos esta dotado de un dispositivo de retardo de hasta unos cuantos segundos y de un indicador de nivel que registra el nivel antes de desconectar la fuente sonora y pasado un tiempo después de su conexión.

#### 1.11.8.2 La reverberación generada por resortes

Su funcionamiento se basa en el empleo de fenómenos vibratorios y la diferencia de propagación en los cuerpos sólidos en el aire, utiliza la amortiguación de un resorte que es excitado por una señal eléctrica, se emplean tubos de determinadas dimensiones que llevan en su interior un resorte, generalmente de acero. Figura 1.11.4

La señal se transmite por el resorte a menor velocidad que la señal transmitida por el aire, produciéndose un retraso de la misma y dando lugar a determinadas reflexiones en el resorte, finalmente es captada por medio de un receptor electromagnético, los resortes de reverberación son usados por ejemplo en algunos amplificadores de guitarra, esto con la finalidad de producir efectos en el sonido producido.

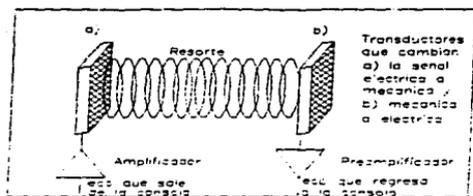
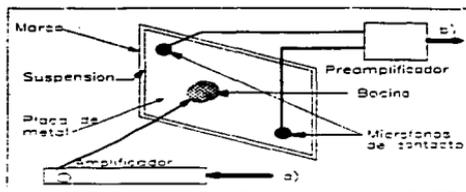


Figura 1.11.4 Diseño general de un resorte de reverberación

### 1.11.6.3 La Reverberación generada por placas

Utilizan el metal como elemento reverberador sustitutivo del aire, consiste en una placa de acero de dimensiones 0.9 m por 1.8 m y un espesor de 0.39 y 0.35 mm montada en un soporte rígido por medio de unos resortes en forma vertical, en uno de los lados existe un bastidor desplazable realizado de un material absorbente, cuya posición determinara el tiempo de reverberación se mueve por medio de un motor controlado por el operador. En la cara opuesta está situada una bocina sujeta a la placa, y en la parte inferior de la placa se encuentran micrófonos piezoeléctricos de contacto. El sonido a tratar es emitido por la bocina que transmite las vibraciones a la placa difundándose por ella, multiplicándose con menor energía, hasta llegar a los bordes de la placa y siendo recogidas por los micrófonos, su respuesta es más densa en las altas frecuencias. La principal aplicación de este reverberador es en los estudios de grabación. Figura 1.11.5



**Figura 1.11.5** Diseño general de una placa de eco en a) entra la señal y en b) sale la señal reverberada

#### 1.11.6.4 Cámaras reverberantes

Es una habitación especialmente acondicionada para estudios de grabación o para mediciones acústicas donde: la primera señal reflejada debe llegar en un intervalo menor de  $1/16$  de segundo, seguida por una gran cantidad de reflexiones sucesivas, los intervalos entre estas reflexiones no deben ser uniformes, los niveles de presión sonora en cada reflexión deberán reducir sucesivamente su intensidad y la energía en las componentes de alta frecuencia debe reducirse en cada reflexión.

**Cámara Natural.** Es un recinto de paredes, piso y techo sumamente reflejantes, de forma muy irregular las superficies opuestas no deben ser paralelas y se evitarán las superficies cóncavas, de medidas por lo menos de  $3 \times 4 \times 5$  metros cuidando que las relaciones entre dichas dimensiones no sean números enteros, donde por medio de un altavoz (o varios) se introduce la señal, las señales reflejadas se recogen por medio de un micrófono (o dos en el caso de estéreo) colocado también dentro del recinto, los demás equipos se encuentran en una sala de control aislada de la cámara, como una consola mezcladora, medidores, amplificadores etc., el tiempo de reverberación es función del volumen del recinto y de la naturaleza de los materiales que revisten su interior, como se utiliza un amplificador para alimentar el altavoz y un

preamplificador para el micrófono, variando la ganancia de dichos elementos se pueden simular diferentes valores de reverberación.

Para utilizar espacios más reducidos se han ideado cámaras que reciben el nombre de: Cámara de cinta magnética, Cámara de resorte, Cámara de lámina y recientemente Cámara digital.

**Cámara de cinta magnética.** Utiliza una grabadora para simular señales reflejadas, cuando se requiere reverberar, se recoge la señal por el canal de reproducción y se suma por otro canal de la consola mezcladora, con la señal original. El tiempo de arribo de la primera reflexión esta determinado por la distancia física entre las cabezas de reproducción y de grabación y de la velocidad de transporte de la cinta, por lo mismo unos inconvenientes son que los intervalos son constantes en las reflexiones y se obtiene un sonido irreal, la respuesta en frecuencia es uniforme aún en frecuencias elevadas, para evitar esto se puede por medio de un ecualizador atenuar las componentes de de alta frecuencia y simular las condiciones requeridas, para lograr diferentes intervalos, se disponen de varias cabezas de reproducción donde se ha incorporado una cinta magnética sin fin y una cabeza de borrado, la distancia entre las cabezas de reproducción no son regulares para conseguir los intervalos deseados, en la práctica se utilizan entre 4 y 8 cabezas de reproducción. La ventaja de la cámara de cinta es su bajo costo.

**Cámara de resorte.** Su nombre es por que el elemento que produce las reflexiones sucesivas es un resorte que sirve como acoplamiento mecánico entre dos transductores electromecánicos que pueden ser de tipo piezoeléctrico o electromagnético, la señal a reverberar se aplica por un transductor, el cual al reproducir una fuerza mueve el resorte y transmite el movimiento al transductor colocado al otro extremo del resorte, como el esfuerzo no desaparece instantáneamente se producen una serie de movimientos que el transductor transforma en señales eléctricas produciendo así las reflexiones deseadas, que van reduciendo sucesivamente de intensidad, los amplificadores asociados a los transductores pueden simular diferentes tiempos de reverberación, el inconveniente

más grande de esta cámara reside en la resonancia propia del resorte que generalmente se encuentra en la banda de 3 a 5 kHz y produce un sonido metálico, que es difícil eliminar por medio de ecualizadores, una forma de resolver este inconveniente es utilizando resortes de diferentes características distribuyendo en esta forma las frecuencias de resonancia dentro de la banda de audio, pero el precio se incrementa considerablemente.

**Cámara de lámina.** Utiliza un lámina metálica para lograr las reflexiones, esta cámara esta formada además de la lámina metálica, por otra lámina de las mismas dimensiones pero de material altamente absorbente colocada a una distancia variable, a voluntad, de la primera, además un amplificador de entrada que alimenta una bobina, un micrófono de contacto y un preamplificador para alimentar dicho micrófono. Al aplicar la señal a la bobina ésta produce un movimiento que se transmite a la lámina la cual empieza a vibrar, el micrófono de contacto, recibe dicho movimiento y genera en esta forma la señal reverberada. La placa metálica tiene como característica primordial ser de una estructura no uniforme y espesor irregular para no resonar en una sola frecuencia, la placa absorbente colocada en la parte posterior de la lámina metálica tiene por objeto controlar el tiempo de vibración, aumentando o reduciendo la distancia que la separa: a mayor distancia, mayor el tiempo de reverberación.

También en este caso la presencia de circuitos electrónicos de amplificación sirven al mismo tiempo para compensar ligeras desviaciones en la respuesta en frecuencia de la cámara logrando así una alta calidad en la señal reverberada. Las dimensiones de la lámina son aproximadamente de un metro de alto por 2 de largo y entre 2 y 3 milímetros de espesor y está colocada dentro de una caja de madera de paredes suficientemente gruesas para aislarse de ruidos extraños del exterior. Los elementos transductores bobina y micrófono se encuentran separados aproximadamente 1 metro. La cercanía de elementos es causa del mayor inconveniente de esta cámara, ya que siendo mayor la velocidad de propagación del sonido en la lámina que en el aire y siendo menor la distancia que tiene que recorrer (un metro) la señal reverberada queda demasiado próxima a la señal original causando

un efecto desagradable que debe evitarse, afortunadamente basta con retardar la señal entre 40 y 60 milisegundos para subsanar este inconveniente y en la actualidad se dispone de excelentes retardadores digitales que resuelven el problema, otra alternativa es utilizar la distancia entre la cabeza de grabación y de reproducción de una grabadora de cinta magnética para lograr el retardo buscado, en ocasiones este retardo es muy grande debido a las velocidades normales de transporte, en estos casos es práctica común aumentar el espesor de impulsor de transporte enrollando cinta adhesiva de papel, la irregularidad del material aplicado contribuye a hacer más real el efecto de retardo.

## **1.12 FUENTES DE SONIDO**

En esta sección se realiza una breve descripción de aquellas fuentes de sonido involucradas en los sistemas de sonorización. Las fuentes de sonido que intervienen son las siguientes:

- La voz.
- Los sonidos generados por los instrumentos musicales.
- El ruido.

### **1.12.1 Voz**

La voz está constituida por una sucesión de sonidos que varían de manera constante en intensidad y en frecuencia. El rango de fluctuación en frecuencia para la voz es de:

100 Hz - 10 kHz

Sin embargo la mayor concentración de energía se encuentra entre las frecuencias de 100 - 800 Hz, rango en donde se encuentra la mayor concentración de vocales y consonantes sonoras. Los valores máximos de energía se alcanzan entre los 300 - 400 Hz los cuales disminuyen hasta alcanzar valores por debajo de los 35 dB de su valor máximo cerca de los 10 kHz. La mayoría de las consonantes y los sonidos de corta duración se desarrollan a altas frecuencias y debido a que es fundamental la comprensión de las consonantes dentro de la inteligibilidad de la voz, la preservación de las altas frecuencias es importante para la comprensión de los lenguajes hablados.

Para sistemas de sonido la calidad de la reproducción de la voz es importante, por lo que se recomienda un ancho de banda comprendido entre 100 Hz - 8 kHz aproximadamente.

### **1.12.2 Instrumentos musicales**

Los instrumentos musicales son sistemas para producir diversos tonos agradables y son utilizados por los músicos para trasladar las notaciones simbólicas de las composiciones musicales a sus sonidos correspondientes. Los instrumentos musicales emplean sistemas resonantes o multiresonantes para producir los diversos tonos los cuales son controlados por los músicos.

Los instrumentos musicales pueden ser clasificados como:

- Instrumentos de cuerda
- Instrumentos de viento
- Instrumentos de percusión
- Instrumentos eléctricos
- Instrumentos electrónicos

Los instrumentos de cuerda producen los tonos musicales por la vibración de cuerdas tensadas. El número de armónicas y su amplitud dependen de como y en que lugar la cuerda es excitada. La vibración de las cuerdas por si misma no es capaz de producir sonido por si misma debido a la atenuación del aire. Por esta razón los instrumentos de cuerda cuentan con un cuerpo con superficie de radiación para elevar el sonido generado por las cuerdas. Entre los instrumentos de cuerda se tienen:

- Lira
- Arpa
- Guitarra
- Violín
- Piano

Niveles de presión sonora en SPL típicos de instrumentos de cuerda a 1 m de distancia pueden alcanzar niveles comprendidos entre 85 - 100 dB<sub>SPL</sub>.

Los instrumentos musicales de viento consisten de un resonador que dispone de algún medio para interrumpir el paso del aire a diversas frecuencias. Dentro del grupo de instrumentos de viento tenemos:

- Órgano de pipas
- Flauta
- Acordeón
- Armónica
- Clarinete
- Saxofón
- Oboe
- Corneta
- Trompeta

Los instrumentos de viento pueden alcanzar niveles de presión sonora de hasta 120 dB<sub>apL</sub>.

Como su nombre lo indica en los instrumentos de percusión las vibraciones son producidas por golpes sobre el sistema de vibración. El sistema de vibración pueden ser barras, membranas, placas pailillos o campanas. Dentro de este grupo de instrumentos se pueden mencionar a :

- Bateria
- Marimba
- Triángulo
- Castañuelas

Los niveles de presión sonora de los instrumentos de percusión superan los 120 dB<sub>apL</sub>.

En términos teóricos los instrumentos musicales eléctricos son aquellos instrumentos cuyas vibraciones mecánicas son convertidas a señales eléctricas a través de transductores. Dentro de esta categoría de instrumentos tenemos a:

- Guitarra eléctrica
- Bajo eléctrico
- Piano eléctrico

Las señales a la salida de estos instrumentos tienden a ser de nivel bajo y generalmente requieren dispositivos adaptadores para ser conectados a los sistemas de sonido.

Los instrumentos electrónicos deben su aparición al desarrollo de la tecnología digital. En este tipo de instrumentos la generación de sonido es totalmente electrónica, únicamente hay vibración física hasta que los altavoces son activados. Dentro de esta categoría tenemos:

- Sintetizador
- Baterías electrónicas
- Cajas de ritmo

La figura 1.12.1 muestra el rango de frecuencias de diversos instrumentos musicales y de la voz humana. En donde se puede observar que el rango de frecuencias de un sintetizador esta muy por encima de cualquier otro instrumento musical, aunque las componentes armónicas de algunos instrumentos como el violín, se extienden hasta 16 kHz. El rango de frecuencias de todos los instrumentos musicales, considerando solo la frecuencia fundamental está de 40 Hz a 4.2 kHz aproximadamente.

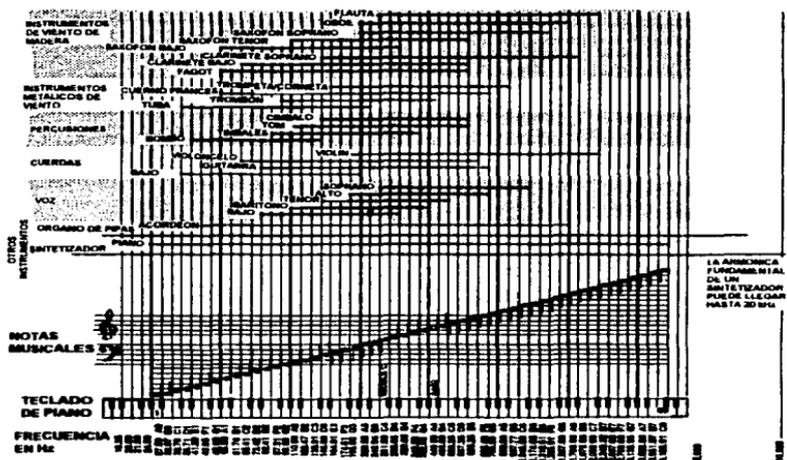


Figura 1.12.1 Rango de frecuencias de algunas fuentes de sonido

### 1.12.3 Ruido

El ruido en sistemas de sonido, como en cualquier otro sistema es un elemento indeseable y se genera tanto de manera inherente dentro de los dispositivos del sistema, como por agentes externos al mismo de manera que influye en el comportamiento del sistema. El ruido puede ser generado de manera eléctrica como de manera mecánica.

El ruido mecánico generalmente se genera por impacto (golpear con el pie, cerrar una puerta, o tirar cualquier objeto) y la combinación de varios de estos ruidos dentro de un recinto pueden generar ruido de más de 20 dB <sub>SPL</sub>.

El ruido eléctrico es generado por los elementos resistivos de los circuitos o por las líneas de transmisión de energía. Estas fuentes de ruido son dependientes de la temperatura y el ruido que generan se llama en forma genérica ruido térmico. Además, los elementos activos generan ruido debido al movimiento aleatorio de los portadores de corriente.

De los diversos tipos de ruido existentes únicamente el ruido blanco y el ruido rosa son creados intencionalmente para ser utilizados como señales de prueba en diversas aplicaciones electrónicas.

#### Ruido blanco

El ruido blanco recibe dicho nombre debido a su analogía con la luz blanca, la cual contiene una mezcla de varios colores. Por lo tanto el ruido blanco es ruido térmico sin ninguna alteración y sin ningún filtrado, el cual esta compuesto por todo el espectro de frecuencias.

Cuando la energía contenida dentro de una señal de ruido blanco es promediada se puede establecer que la cantidad de energía contenida entre Hz es la misma, por lo que cuando se gráfica la potencia del ruido blanco con respecto a la frecuencia se obtiene una recta con un incremento de 3 dB por octava como se muestra en la gráfica 1.12.2.

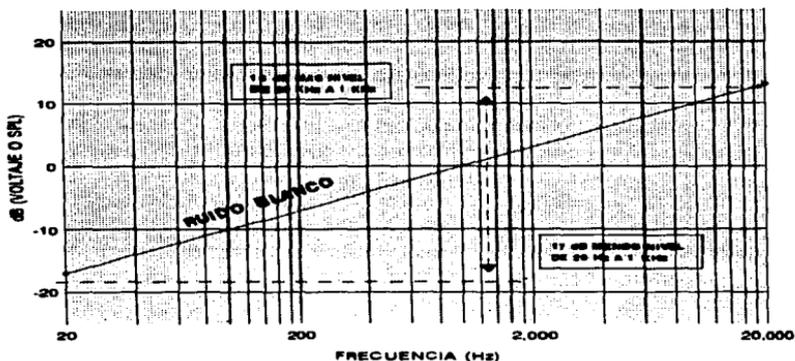


Figura 1.12.2 Gráfica de energía contra frecuencia de ruido blanco

### Ruido Rosa

El ruido rosa es ruido blanco que ha sido modificado por un filtro que no hace otra cosa que cancelar el incremento de 3 dB por octava con lo que se logra mantener el mismo nivel de energía por octava durante todo el espectro de frecuencias audible. Este tipo de ruido es ampliamente utilizado como señal de prueba y calibración de los altavoces. La gráfica de la figura 1.12.3 nos muestra la curva de energía contra frecuencia del ruido rosa.

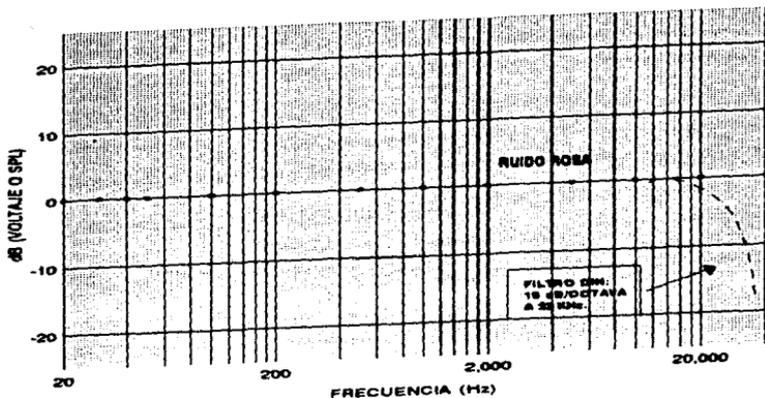


Figura 1.12.3 Gráfica de frecuencia contra energía del ruido rosa

#### 1.12.4 Las octavas y la escala musical

El concepto de octava es ampliamente utilizado dentro de los sistemas de audio. Las octava es un intervalo de frecuencias que esta directamente relacionado con las características del oído humano, el cual únicamente es capaz de percibir la diferencia de tonos cuya relación en frecuencia sea de 2:1. Planteado de otra manera, una octava es una función de:

$$2^n \text{ para toda } n = 1, 2, 3, \dots$$

Debido a que el límite inferior de frecuencia audible es de 20 Hz se considera  $n=5$  como punto de partida para obtener las 8 octavas de la escala musical, comenzando por C1 como se ilustra a continuación:

$$\begin{aligned}2^5 &= 32 = do_1 = C1 \\2^6 &= 64 = do_2 = C2 \\2^7 &= 128 = do_3 = C3 \\2^8 &= 256 = do_4 = C4 \\2^9 &= 512 = do_5 = C5 \\2^{10} &= 1024 = do_6 = C6 \\2^{11} &= 2048 = do_7 = C7 \\2^{12} &= 4096 = do_8 = C8\end{aligned}$$

El efecto musical que se obtiene cuando el oído humano registra sonidos cuya relación en frecuencia le produce sensaciones agradables, la relación recibe el nombre de intervalo musical.

El intervalo para una octava es:

$$2^{n+1} \div 2^n = 2$$

La escala musical se obtiene a partir de las siguientes relaciones de frecuencia:

$$\begin{aligned}re \div do_n &= 9 \div 8 \\mi \div do &= 5 \div 4 \\fa \div do &= 4 \div 3 \\sol \div do &= 3 \div 2 \\la \div do &= 5 \div 3 \\si \div do &= 15 \div 8 \\do_{n+1} \div do_n &= 2\end{aligned}$$

Por acuerdo internacional, en 1955 se tomo como patrón para determinar las frecuencias de cada nota, a la nota la de la 4a octava con frecuencia establecida en 440 Hz, por lo tanto:

$$do_4 = la_4 (3 \div 5) = 440(3 \div 5) = 264 \text{ Hz}$$

A partir de donde se obtienen las frecuencias de las octavas musicales, quedando:

$$C_1 = do_1 = 33 \text{ Hz}$$

$$C_2 = do_2 = 66 \text{ Hz}$$

$$C_3 = do_3 = 132 \text{ Hz}$$

$$C_4 = do_4 = 264 \text{ Hz}$$

$$C_5 = do_5 = 528 \text{ Hz}$$

$$C_6 = do_6 = 1056 \text{ Hz}$$

$$C_7 = do_7 = 2126 \text{ Hz}$$

$$C_8 = do_8 = 4224 \text{ Hz}$$

Con el paso del tiempo, las frecuencias para cada octava musical han sido ajustadas ligeramente, pero la base del cálculo de éstas sigue siendo el mismo. Con los ajustes hechos hasta la actualidad, la frecuencia para cada octava es la siguiente:

$$C_1 = do_1 = 32.70 \text{ Hz}$$

$$C_2 = do_2 = 65.41 \text{ Hz}$$

$$C_3 = do_3 = 130.81 \text{ Hz}$$

$$C_4 = do_4 = 261.63 \text{ Hz}$$

$$C_5 = do_5 = 523.25 \text{ Hz}$$

$$C_6 = do_6 = 1046.50 \text{ Hz}$$

$$C_7 = do_7 = 2093.00 \text{ Hz}$$

$$C_8 = do_8 = 4186.01 \text{ Hz}$$

**Por último, las notas musicales restantes también son conocidas como:**

**do = C**

**re = D**

**mi = E**

**fa = F**

**sol = G**

**la = A**

**si = B.**

# **CAPITULO SEGUNDO**

## **SISTEMAS DE SONIDO**

## 2.1 DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE SONIDO

Un sistema de sonido es un arreglo de componentes electrónicos diseñado con el propósito de incrementar el nivel de los sonidos producidos por determinadas fuentes de interés. Las tres principales razones que justifican a un sistema de sonido son:

- Ayudar a determinado grupo de personas a escuchar mejor
- Hacer que un sonido sea agradable
- Habilitar a las personas a escuchar en locaciones remotas.

Los sistemas de sonido amplifican el sonido después de convertir las ondas sonoras en señales eléctricas, incrementar la potencia de dichas señales a través de medios electrónicos y una vez que las señales son amplificadas se convierten de nueva cuenta en señales sonoras.

Los dispositivos que convierten energía de una forma a otra son conocidos como transductores; aquellos que modifican uno o más aspectos de una señal de audio son conocidos como procesadores de señal. Utilizando dichos términos, un sistema puede ser modelado en su forma más simple, como se ilustra en la figura 2.1.1.

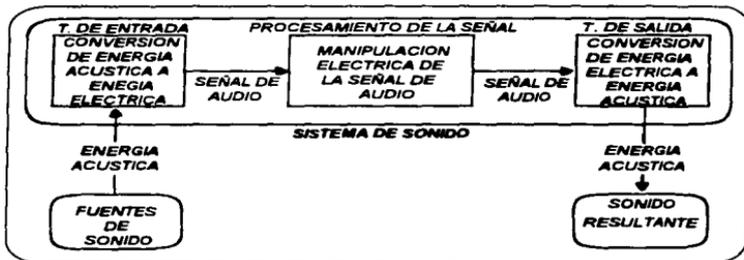


Figura 2.1.1 Modelo conceptual de un sistema de sonido

## **2.2 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE SONIDO**

Los sistemas de sonido pueden ser clasificados en dos clases:

- Los sistemas de sonorización.
- Los sistemas de reproducción.

Aun cuando algunas aplicaciones involucren a las dos categorías se debe tener presente que cada aplicación es única. Combinar los principios básicos de ambas clases de sistemas, de manera creativa para resolver un problema en particular es la esencia del sonido profesional.

### **Los sistemas de reproducción de sonido**

En la reproducción de sonido, la función del sistema de sonido es la reproducción de señales de entrada almacenadas previamente de acuerdo con estándares particulares de funcionamiento.

Debido a que el material ha sido grabado y mezclado en un estudio, cualquier manipulación de la señal es en relación a los controles de volumen, a una ecualización básica y quizás a la mezcla con otra fuente de sonido. Tales operaciones pueden ser llevadas a cabo por un pequeño dispositivo de control, el cual no es necesario que sea funcionalmente complejo. La unidad deberá ser de alta calidad debido a que la distorsión y los ruidos son bastante más cuestionables que en el caso de sonido en vivo, particularmente en los casos en los que la audiencia está familiarizada con el material grabado.

El desempeño del sistema de sonido también debe ser considerado cuando se selecciona el equipo de reproducción, por supuesto, ese no debe ser el único factor. La distribución de controles debe ser adecuada a las necesidades y preferencias del operador del sistema, particularmente si cambios rápidos y sincronizaciones musicales son requeridos.

### **Sistemas de sonorización**

Esta clasificación de sistemas de sonido tiene como primordial objetivo amplificar fuentes de sonido en vivo con el fin de cubrir grandes audiencias. Las aplicaciones para esta clasificación de sistemas varía en complejidad, desde una relativamente sencilla conferencia o sistema de voz hasta un evento musical de gran escala.

En sistemas de sonorización para conferencias o voz lo primordial es lo concerniente a la inteligibilidad y los sistemas son electrónicamente muy simples, consistiendo básicamente de uno o más micrófonos, un dispositivo de control central, si es requerido, y amplificación. En este caso se requiere de ciertas funcionalidades de procesamiento de señal para el control de las señales de entrada con el fin de mejorar la inteligibilidad.

Los sistemas de sonorización para música son una materia totalmente aparte. A medida de que la tecnología concerniente a el sonido se ha ido desarrollando las demandas de los artistas y de la audiencia se han incrementado. El objetivo de un concierto, hoy en día, no es únicamente igualar el impacto de la música grabada sino superarlo. Como resultado, los sistemas de sonido para conciertos en vivo a gran escala alcanzan tal complejidad que el sonido generado es comparable con los realizados en los estudios de grabación.

Un típico sistema de refuerzo sonoro para música esta compuesto por dos sub-sistemas interdependientes: el sistema de sonorización principal, el cual entrega sonido a la audiencia y el sistema de monitores, el cual proporciona a los ejecutores de la música medios para autoevaluar sus ejecuciones, sincronizarse, etc.

En aplicaciones de pequeña escala, ambos sub-sistemas pueden ser integrados en un único control. Pero en grandes conciertos ambos sistemas son controlados de

manera independiente por dos diversos equipos de ingenieros. Las señales que provienen de micrófonos e instrumentos en el escenario son divididas para alimentar a ambos sistemas.

El sub-sistema principal, recibe de manera individual cada una de las señales que provienen del escenario, incorpora efectos en donde se requiera y proporciona una mezcla maestra que es la que alimenta al sistema de altavoces dirigido a audiencia. Esta mezcla la mayoría de las veces es manejada en modo estéreo (canal izquierdo y canal derecho), en ocasiones en modo mono (un único canal) y muy raramente en tres canales (izquierdo, derecho y central). Aun cuando la salida es aparentemente sencilla, el procesamiento de la señal a nivel de control central puede involucrar un gran número de sub-mezclas con efectos externos insertados en diversos puntos dentro de la trayectoria de la señal.

El sub-sistema de monitores maneja las señales de manera diferente. En este caso lo que se pretende es satisfacer la diversidad de requerimientos de cada uno de los músicos, razón por la cual el control central de monitores se diseña para proporcionar una gran cantidad de mezclas individuales. En esta ocasión, la salida es más complicada y el procesamiento de la señal para cada salida es simple.

## 2.3 DEFINICION DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA DE SONIDO

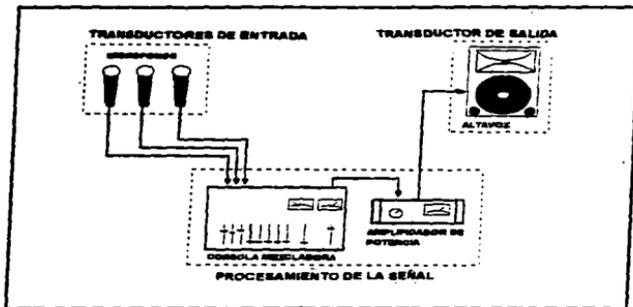


Figura 2.3.1 Un sistema de sonido simple

### 2.3.1 Transductores de entrada

Todos aquellos dispositivos que pueden convertir la energía acústica en energía eléctrica, conservando las características de la señal original, sin producir ningún tipo de distorsión, se les llama transductores. Para nuestro sistema los llamaremos "transductores de entrada".

#### 2.3.1.1 Métodos de transducción

Históricamente, un número de métodos diferentes de transducción, tuvieron su desarrollo por objetivos variables, y actualmente una amplia variedad de tipos de transductores pueden ser encontrados en uso cotidiano. Por ejemplo: Micrófonos, Cápsulas fonocaptoras, bocinas, transductores láser, etc. nuestro interés particular estará enfocado en el estudio de solo dos de ellos, el micrófono y altavoces.

### **2.3.1.2 Definición de micrófono**

Micrófono es un término genérico que es usado para referirse a cualquier elemento el cual transforma energía acústica (Sonido) en energía eléctrica (la señal de audio). Un micrófono es por lo tanto un tipo de extensas clases de elementos llamados transductores.

La fidelidad con la cual un micrófono genera las representaciones eléctricas de un sonido dependen, en parte, según el método por el cual hace la conversión de energía.

El micrófono esta constituido por una diafragma que se mueve por efecto de las variaciones de presión acústica, y que actúa sobre un convertidor eléctrico.

### **2.3.1.3 Clasificación de los micrófonos**

#### **2.3.1.3.1 Micrófonos electrodinámicos**

Por lejano que parezca el tipo más común de micrófono en sonido contemporáneo, es trabajado por la dinámica. Su funcionamiento es basado en el principio de Faraday, el cual asienta que todo conductor o enrollado de alambre que se encuentre dentro de un campo magnético variable, engendra un potencial eléctrico en sus extremos.

##### **2.3.1.3.1.1 Micrófono Dinámico o de bobina móvil**

Sobre un cilindro de pequeñas dimensiones se encuentra montado un flexible diafragma (a), que es acoplado a una bobina de alambre fino. La bobina (b), arrollada sobre el cilindro se introduce en el entrehierro de un imán, la separación magnética (c) que existe entre la bobina y el imán (d), permite movimientos de un lado a otro. En la figura 2.3.2 se ilustra la construcción básica de un micrófono dinámico.

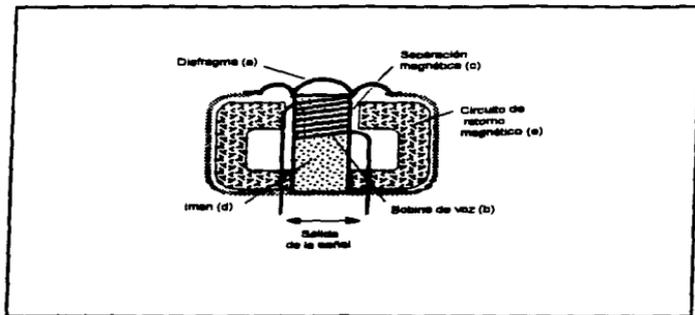


Figura 2.3.2 Construcción básica de un micrófono dinámico

Cuando la onda sonora choca con el diafragma, en respuesta las superficies del diafragma vibran. Las vibraciones del diafragma hacen que la bobina oscile de un lado a otro dentro del campo magnético del imán, las oscilaciones de la bobina hacen que se corten las líneas de fuerza magnética, y una pequeña corriente eléctrica es inducida en el alambre. La magnitud y dirección de esa corriente esta directamente relacionada a los movimientos de la bobina, y de esta manera la corriente es una representación eléctrica de la incidente onda sonora.

Los micrófonos dinámicos o de bobina móvil son altamente seguros, resistentes y fiables. Por esta razón, ellas son extremadamente comunes en la escena funcional, donde la resistencia física es muy importante.

### 2.3.1.3.1.2 Micrófono de cinta

Los micrófonos de cinta emplean un método de transducción que es similar al de los micrófonos dinámicos. En la figura 2.3.3 se muestra la construcción de un típico micrófono de cinta. Consiste en un diafragma de cinta acanalada de aluminio muy fina (a) que se encuentra situada y es estirado dentro del espacio de aire (b) de un poderoso imán (d). La cinta es engrapada, en las puntas del imán (c), pero es libre de movimiento en todo lo largo.

Cuando las ondas de presión acústica (sonido) golpean la cinta, esta vibra dentro del campo magnético, cortando las líneas de fuerza magnética, generándose un voltaje en los extremos de la cinta, cuya amplitud y frecuencia es proporcional a la velocidad y frecuencia de la onda de presión. Por lo que también se les denomina micrófonos de velocidad.

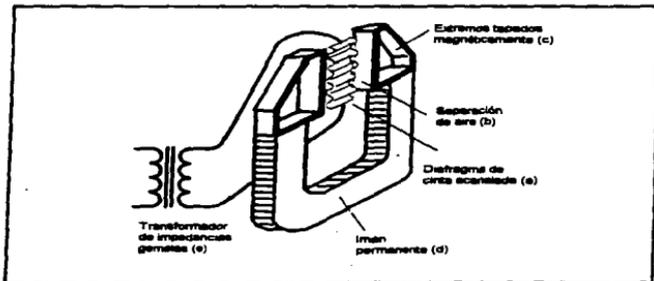


Figura 2.3.3 construcción básica de un micrófono de cinta

### 2.3.1.3.2 Micrófonos de resistencia variable

El principio de funcionamiento de este tipo de transductor se plantea en base a las variaciones de presión existentes entre el exterior y el interior, de tal forma que al producirse una diferencia de presión se modifique la resistencia.

### 2.3.1.3.2.1 Micrófono de carbón

Su funcionamiento consiste en la variación de resistencia que se origina en el conjunto de unos granúlos de carbón, generalmente de grafito o antracita, al ser más o menos presionados. En la figura 2.3.4 se muestra un dibujo esquematizado sobre la constitución de este micrófono.

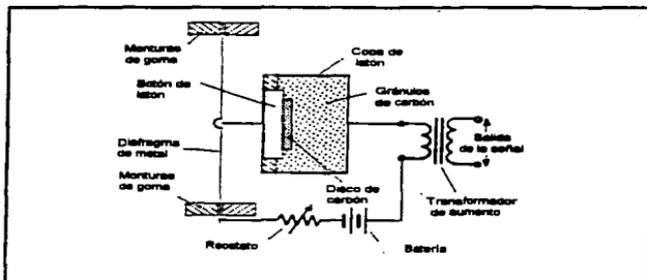


Figura 2.3.4 Constitución de un micrófono de carbón

La membrana es un disco de aluminio, latón o carbón prensado, que cierra una cápsula de material aislante que se llena con granúlos de carbón. Dicha cápsula no ha de estar completamente llena, a fin de permitir la movilidad de los granúlos de carbón.

Tanto la membrana como la pared metálica del fondo de la cápsula se conectan a sendos hilos conductores, en las cuales aparecerá la señal eléctrica proporcionada por el micrófono.

### 2.3.1.3.3 Micrófonos piezoeléctricos

En este tipo de micrófonos se utiliza el fenómeno piezoeléctrico, dicho fenómeno se presenta en ciertos cristales (Sales de Rochelle y Titanato de Bario) al ser deformados por la acción de una compresión, tracción o dobladura, generan entre sus superficies una carga eléctrica. (ver figura 2.3.5)

También son llamados micrófonos de acción directa. Son sistemas controlados por elasticidad que funcionan a presión. Son de dos tipos. De cristal y cerámicos.

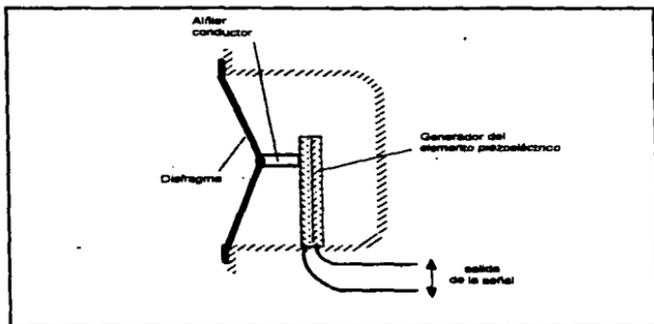


Figura 2.3.5 Micrófonos piezoeléctricos

#### 2.3.1.3.3.1 Micrófonos de cristal

Los micrófonos de cristal basan su principio de funcionamiento en el fenómeno piezoeléctrico.

Las sales de Rochelle son los cristales más utilizados en la fabricación de micrófonos, ya que son los que presentan más acusadamente el efecto piezoeléctrico.

Se fabrican en plaquitas de aproximadamente,  $1\text{cm}^2$  de superficie y  $0.2\text{ mm}$  de espesor y se recubren sus dos caras con finos folios metálicos. luego se pegan dos plaquitas entre si, cuidando de que las tensiones generadas se sumen cuando es doblado el cristal por efecto de una presión.

Para el tensado y doblado de las plaquitas de cristal se presentan muchas posibilidades, siendo muy utilizada el sistema que se presenta en la figura 2.3.6.

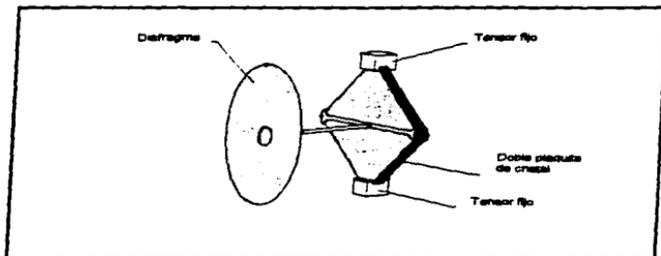


Figura 2.3.6 Constitución de un micrófono de cristal

#### 2.3.1.3.3.2 Micrófonos cerámicos

Son similares en su construcción a los de cristal, los micrófonos de este tipo utilizan láminas de cerámica, principalmente de titanato de bario bimoto. Dichas láminas se separan por medio de una delgada película metálica que se conecta a uno de los lados del circuito. Las caras exteriores de las piezas también se recubren de una capa conductora y se conectan al otro lado del circuito.

#### 2.3.1.3.4 Micrófonos electrostáticos o de condensador

Estos tipos de micrófonos son de alta calidad, su principio de funcionamiento es el de la capacidad eléctrica, es decir, estos micrófonos para generar la corriente de audio, aprovechan la cualidad que tienen todos los cuerpos de almacenar cargas eléctricas.

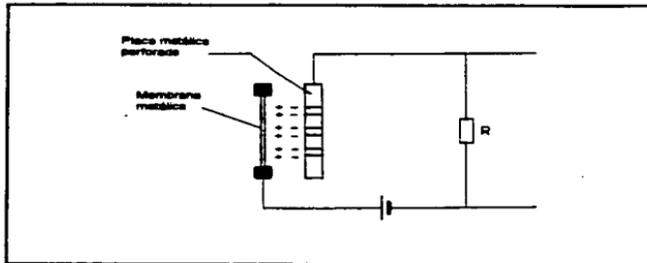


Figura 2.3.7 Constitución de un micrófono de condensador

Su construcción consta de una membrana metálica que está aislada y separada aproximadamente de 10 a 25 mm de una placa metálica perforada (Fig. 2.3.7). Entre membrana y placa se aplica una tensión continua que va conectada en serie con una resistencia de elevado valor óhmico. En esta circunstancia la membrana y la placa forman un condensador de unos 40 a 100 PF.

Cuando una onda sonora hace vibrar la placa metálica, varía la capacidad del condensador originando una tensión ó corriente que puede ser recogida a través de los contactos del micrófono.

El micrófono de condensador entrega una señal de salida muy pequeña, razón por lo cual requiere de un preamplificador que se coloca muy cerca del micrófono para evitar la captación de ruidos eléctricos indeseables.

En los micrófonos de condensador el cable de conexión al amplificador ha de ser lo más corto posible, ya que la capacidad propia de los cables perturbaría el funcionamiento del micrófono y afectaría la respuesta de frecuencia. Por esta razón se monta en el propio micrófono un pequeño amplificador que, con una resistencia de carga de 200 ohms facilita una tensión de salida de 1 mV/mbar.

#### 2.3.1.3.4.1 Micrófonos electret

Este tipo de micrófono es de desarrollo reciente, es un micrófono de condensador que utiliza un electreto o electrodo laminar que no necesita tensión de polarización.

El electreto es un dieléctrico permanentemente polarizado, análogo a un imán permanente, pero en versión eléctrica. El utilizado en los micrófonos consiste en una lámina o cera con carga permanente positiva en una cara y negativa en la cara opuesta, siendo ambas cargas estables. (ver figura 2.3.8)

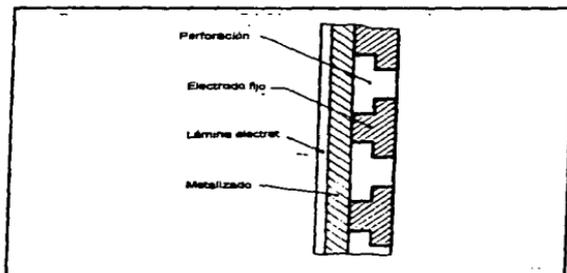


Figura 2.3.8 Constitución del micrófono electret.

El micrófono electret consta de dos partes esenciales: un electrodo fijo y otro móvil. El electrodo fijo está constituido por una placa metálica con perforaciones. El electrodo móvil consta de una membrana de material plástico de policarbonato fluorado de un espesor de unas pocas micras (4 a 12 mm ), el cual está metalizado por una de sus caras, concretamente la que hace contacto con el electrodo fijo.

Cada perforación del electrodo fijo hace las funciones de un micrófono electrostático.

La polarización de la lámina de policarbonato fluorado se consigue colocándola en el interior de un horno a unos 230 °C y aplicando una tensión de 3 a 4 KV de corriente continua a la lámina.

#### **2.3.1.3.5 Micrófonos Inalámbricos**

Este tipo de micrófonos no necesita la presencia de un cable entre el micrófono y el amplificador. En el interior del micrófono, o de su base, está incorporado un pequeño transmisor de radio( usualmente de Frecuencia Modulada). Puede ser un dispositivo exterior que porta la persona o se le puede colocar en la bolsa al usuario del micrófono.

Un sistema de micrófono inalámbrico es una pequeña versión a escala de un típico sistema de radio difusión comercial FM (banda de frecuencias de 88 a 108 Mhz).

En un sistema de radiodifusión comercial, un radio expresa anuncios a través de un micrófono que es conectado a un transmisor de alto poder en una locación fija. Las voces transmitidas son recolectadas por un receptor FM y escuchadas a través de un altavoz.

Con un sistema de microfonía inalámbrica, los componentes son miniaturizados, pero los principios de aplicación son los mismos. El transmisor es lo suficiente pequeño que puede quedar en el interior de la base del micrófono o dentro de un pequeño estuche de tamaño bolsillo. El usuario es libre de moverse en cualquier dirección mientras que habla o canta en el micrófono. La voz transmitida es recolectada por un receptor. (Figura 2.3.9)

Los tipos de micrófonos son disponibles con sistemas de microfonía inalámbrica: los micrófonos sujetables, con un transmisor en su manejo; y el micrófono lavallier, el cual es bastante pequeño que puede ocultarse en la solapa con un alfiler o colgado alrededor del cuello, los micrófonos lavallier son alambrados a miniatura, los transmisores body-pack se pueden ocultar en un bolsillo o portarse encima de un cinturón. En conciertos, los micrófonos inalámbricos sostenibles en la mano permiten al vocalista caminar y bailar alrededor del escenario y la audiencia.

Los micrófonos lavallier son usados por panelistas, conferencistas, actores de escena y bailarines, por que pueden ser ocultados fácilmente y proveen movilidad a mano libre.

Algunos modelos de transmisores lavallier tienen líneas de entrada de alta impedancia que acepta cordones inalámbricos creados para guitarras eléctricas.

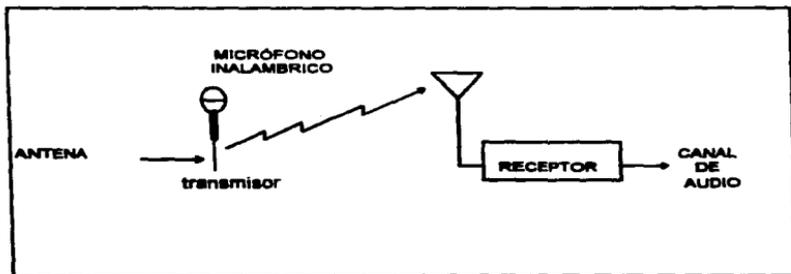


Figura 2.3.9 Sistema de micrófono inalámbrico.

#### **2.3.1.4 Características técnicas de los micrófonos**

Sin excepción, todos los micrófonos poseen ciertas propiedades que el fabricante generalmente aporta. Estos datos son de suma importancia a la hora de seleccionar un determinado tipo de micrófono.

En todo micrófono aparece una tensión alterna cuyo valor eficaz depende de la presión acústica ejercida sobre el diafragma. Partiendo de esto la sensibilidad en el micrófono se define como la relación entre tensión eléctrica eficaz obtenida en bornes del micrófono en circuito abierto y la presión sonora, que actúa sobre el diafragma a una frecuencia de 1000 Hz.

##### **2.3.1.4.1 Nivel de sensibilidad**

El nivel de sensibilidad ( $N_s$ ) se expresa en decibeles, por lo que se precisa una sensibilidad de referencia ( $S_r$ ), la cual se ha establecido en 1 mV/Pa. Mediante la siguiente relación se puede expresar el nivel de sensibilidad.

$$N_s = 20 \log. S/S_r$$

Donde:

$S$  = Sensibilidad (mV/Pa o en mV/ $\mu$ bar)

$S_r$  = Sensibilidad de referencia (1 mV/Pa)

$N_s$  = Nivel de sensibilidad (dB)

$$1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Newton} / \text{m}^2 = 10 \text{ dina/cm}^2 = 10 \mu\text{bar/cm}^2$$

**NOTA:** Debe desecharse todo micrófono cuya sensibilidad sea inferior a 1 mV/Pa.

##### **2.3.1.4.2 Respuesta en frecuencia**

Con este dato se da una idea sólida de la forma como el micrófono se comporta al trabajar en el espectro de sonido. La Respuesta en frecuencia será la que defina el comportamiento del micrófono dentro del margen de las frecuencias audibles (Figura 2.3.11). Lógicamente cuanto más plana sea la respuesta del micrófono mayor será su fidelidad. La falta de linealidad trae como consecuencia una distorsión armónica y de intermodulación.

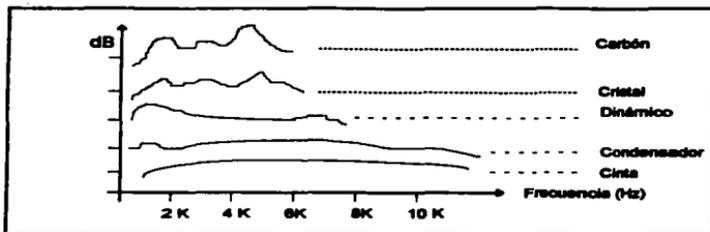


Figura 2.3.10 Respuesta en frecuencia de algunos micrófonos.

Un micrófono será tanto mejor cuanto más amplia sea su curva característica de respuesta en frecuencia.

Para que los sonidos sean reproducidos con naturalidad, es necesario que la sensibilidad del micrófono sea la misma para cada una de las frecuencias audibles, es decir, que la curva característica de respuesta de frecuencia sea uniforme, sin picos ni valles. (Figura 2.3.10).

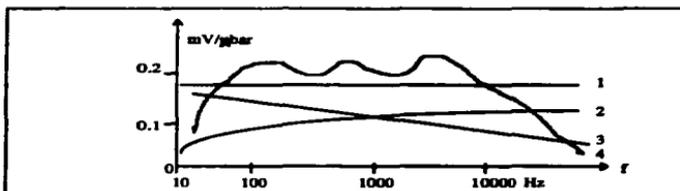


Figura 2.3.11 Representación de la linealidad de un micrófono  
 1. micrófono ideal. 2. micrófono con poca sensibilidad a los tonos bajos  
 3. micrófono con poca sensibilidad a los tonos altos.  
 4. micrófono de escasa calidad.

#### **2.3.1.4.3 Impedancia**

La impedancia es la propiedad de un elemento o circuito que restringe en alguna medida el paso de la corriente.

La impedancia de un micrófono depende de su técnica de construcción, y ha de ser la misma que la de la entrada del preamplificador, con la finalidad de que el acoplamiento entre ambos sea el correcto y exista la máxima transferencia de energía de uno a otro.

La impedancia de los micrófonos se mide en ohms y para una frecuencia de 1000 Hz. En las especificaciones viene dada la impedancia nominal, considerando al micrófono como una resistencia pura. En la mayoría de los micrófonos su valor especificado a 1000 Hz es de 150 Ohms.

#### **2.3.1.4.4 Nivel de ruido**

Cuando sobre el micrófono no incide ninguna señal acústica, la tensión en su salida no es igual a cero. Este fenómeno se debe a la fluctuación de toda clase de partículas en el medio ambiente, así como a los ruidos térmicos originados por las resistencias en los circuitos eléctricos internos del micrófono.

Si este ruido es despreciable, significará que la señal suministrada por el micrófono tendrá un valor muy por encima de la señal de ruido, lo cual se traduce en una relación señal y ruido de valor elevado.

Debido a que la relación señal/ruido es un parámetro comparativo entre la tensión útil suministrada por el micrófono y la tensión de ruido engendrada en él, se mide en decibeles, siendo tanto mejor un micrófono cuanto mayor sea el valor en decibeles de la relación señal/ruido.

La tensión de ruido engendrada por un micrófono, es medido mediante un voltímetro de ruido, que consiste en un filtro de ponderación y un rectificador de cresta.

En las especificaciones presentadas por el fabricante, el nivel de ruido puede venir dado en valor eficaz. Como relación señal/ruido se toma como referencia una presión sonora de 1 Pascal y sus valores pueden estar en torno a los 60 dB.

Los micrófonos que generan menos tensión de ruido son los micrófonos de condensador y los de cinta, mientras que los micrófonos de bobina móvil y los de electret son los que más generan tensión de ruido.

Mediante la siguiente relación se puede calcular la señal a ruido.

$$S/r = 20 \log E_u/E_r$$

Donde:

$E_u$  = tensión útil suministrada por el micrófono ( mV )

$E_r$  = tensión de ruido engendrada en el micrófono (mV)

S/r = relación señal/ruido en (dB)

#### **2.3.1.4.5 Distorsión**

Al reproducir un sonido debe procurarse que este sea lo más fiel posible al sonido original. Siempre existe una diferencia, por pequeña que sea, entre el sonido reproducido y el original. Esta diferencia entre ambos sonidos es lo que se le llama distorsión. La medición de esta distorsión se efectúa excitando el micrófono con un sonido puro (un tono o una frecuencia) y a la salida obtendremos el mismo sonido pero con cierto contenido de armónicos. La medición de la distorsión armónica total (TDH) aparecerá expresada en un tanto por ciento de la componente armónica respecto a la frecuencia incidente.

#### **2.3.1.4.6 Directividad**

La directividad de un micrófono nos permite conocer su comportamiento y su nivel de sensibilidad, para cada una de los ángulos de incidencia de la presión sonora. La directividad es una de las características más importantes del micrófono, gracias a ella es posible recoger los sonidos seleccionados y eliminar los no deseados. La directividad de un micrófono se representa por medio de diagramas polares de campo.

### 2.3.1.4.6.1 Diagramas polares de campo

Un diagrama polar de campo consiste en una gráfica con una serie de circunferencias concéntricas, igualmente separadas, y dos diámetros perpendiculares que determinan los ángulos de 0, 90, 180 y 270°. Un punto queda determinado, por la distancia de él al centro (el radio) y el ángulo que forma con el eje de 0°. Las circunferencias están calibradas en decibelios.

En la figura 2.3.12 se representan las curvas de directividad de algunos micrófonos (Omnidireccional, Unidireccional, Bidireccional, Hipercardioide y Supercardioide)

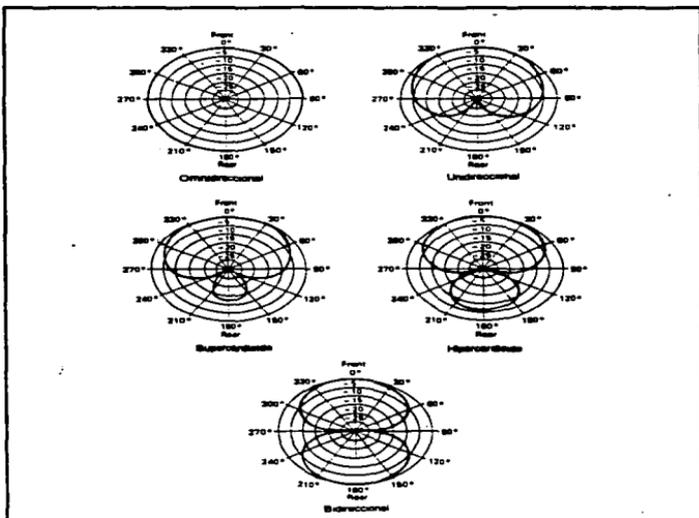


Figura 2.3.12 Representación de Diagramas Polares

#### **2.3.1.4.6.2 Micrófonos omnidireccionales**

Los micrófonos con características omnidireccional o esférica captan por igual las ondas sonoras procedentes de todas las direcciones. Son idóneas para aquellas aplicaciones en donde no existan problemas de retroalimentación acústica y cuando el que lo utiliza debe moverse constantemente.

Su diagrama polar se representa con un círculo cuyo centro coincide con el eje de las coordenadas.(figura 2.3.13).

#### **2.3.1.4.6.3 Micrófonos bidireccionales**

Este tipo de micrófono capta por igual los sonidos procedentes de delante y de atrás. Y eliminan todos los sonidos procedentes de los puntos laterales, así como de las partes superior o inferior. Su diagrama polar consiste en la típica forma de 8. (figura 2.3.13).

#### **2.3.1.4.6.4 Micrófonos semidireccionales**

Los micrófonos de este tipo captan preferentemente los sonidos procedentes de los puntos situados delante de su membrana y con menor nivel los que proceden de los puntos situados detrás.(figura 2.3.13)

#### **2.3.1.4.6.5 Micrófonos unidireccionales**

Los micrófonos unidireccionales, también llamados cardioide sólo recogen los sonidos procedentes de puntos situados delante del micrófono, quedando muy atenuados los procedentes de la parte posterior.

Los micrófonos cardioide tienen aplicaciones muy convenientes cuando se trata de recibir un sonido muy determinado y amortiguar los producidos en su entorno. Su utilización es típica para grabación de baterías, o en tomas de orquestas con gran número de elementos.(figura 2.3.13)

#### 2.3.1.4.6.6 Micrófonos superdireccionales

Diseñados especialmente para enfocar un sonido determinado, consiguiendo eliminar todos los demás que se producen en el entorno. Son los conocidos como micrófonos de cañón y constan de un largo tubo, con rejillas y un tipo de material aislante absorbente que evitará que todos los sonidos laterales lleguen hasta la membrana. Son muy utilizados en exteriores y en rodajes de cine y televisión. (figura 2.3.13).

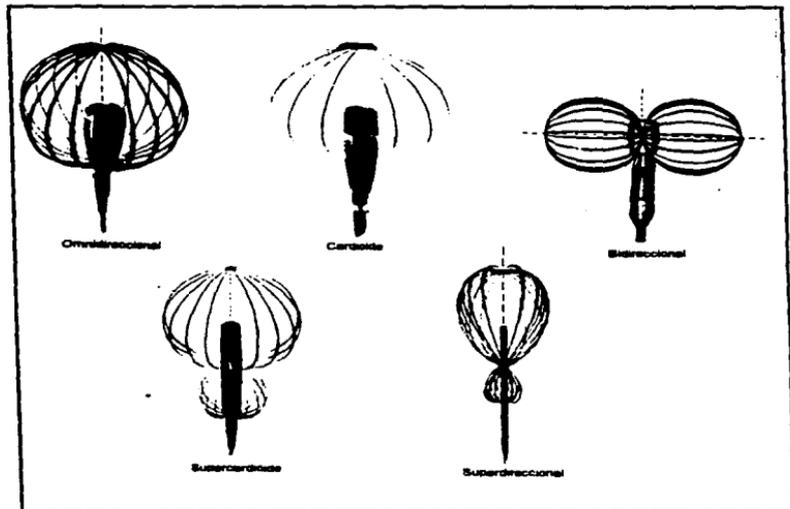


Figura 2.3.13 Tipo de directividad de los micrófonos

### **2.3.1.5 Valores típicos de los micrófonos**

#### **2.3.1.5.1 Valores típicos del micrófono dinámico .**

La sensibilidad de un micrófono dinámico o de bobina móvil es de aproximadamente 0.1 mV/ $\mu$ bar.

La impedancia de un micrófono dinámico o de bobina móvil oscila entre 150 y 600 ohms. por lo que son considerados de baja impedancia.

Cuando se quiera conectarlo a un amplificador de diferente impedancia, se deberá utilizar un transformador de acoplamiento.

Debido a la baja impedancia de estos micrófonos se pueden utilizar cables largos sin que se produzcan pérdidas notables de la calidad.

Algunos micrófonos de este tipo llevan incorporados un transformador elevador de tensión, lo que hace que la impedancia de salida alcance valores entre 10 y 50 K $\Omega$ .

Con el transformador incorporado, la sensibilidad aumenta y el ruido ambiental aumenta muy poco.

La representación polar de los micrófonos dinámicos es omnidireccional con una respuesta de frecuencia bastante aceptable. En la actualidad se fabrican micrófonos dinámicos de características direccional y respuesta de frecuencia perfectamente uniforme entre 30 Hz y 20 KHz.

Es de tamaño pequeño y peso ligero.

Es de poca sensibilidad a las condiciones climáticas existentes.

No precisa de fuente de alimentación

Su rango dinámico es amplio ya que varía entre 20 dB y 140 dB.

Su uso es profesional o semiprofesional, empleándosele en la mayoría, de los estudios de radio, televisión, grabadoras de cassettes de uso doméstico, en equipos de audio y estudios profesionales de grabación.

### **2.3.1.5.2 Valores típicos del micrófono de cinta**

Presenta baja distorsión y bajo ruido interno

Es de impedancia muy pequeña (del orden de  $0.1 \Omega$ ). Razón por la cual necesita un transformador de adaptación de elevada relación de transformación.

El diagrama polar típico es bidireccional.

Se pueden construir con características polares unidireccional tapando una cara de la cinta.

Se pueden diseñar con características cardioide, con una combinación de dos elementos de cinta.

Son muy sensibles al viento y a los golpes de aire producidos por los cantantes, que pueden quebrar la cinta.

Su costo de construcción es muy caro, razón por la cual su uso es estrictamente profesional (en estudios de grabación).

### **2.3.1.5.3 Valores típicos del micrófono de carbón**

La curva de respuesta del micrófono de carbón en la gama de frecuencias comprendidas entre 400 y 2500 Hz es casi la óptima para transmisiones habladas.

La banda de los mejores micrófonos de este tipo no sobrepasa los límites de 300 a 3400 Hz.

El margen dinámico no supera los 30 dB. Por debajo, este margen está limitado por los ruidos de fondo del micrófono, originados por los contactos variables entre los granos de carbón y, por arriba, por el cambio brusco de la resistencia de los contactos.

Su sensibilidad es del orden de 80 mv/ $\mu$ bar.

Es de baja impedancia (de 30 a 40 ohms).

Introduce un ruido de fondo bastante considerable, aún cuando no exista onda sonora incidente.

Debido a que es muy económico y la potencia que maneja es bastante alta, suele utilizarse en aparatos telefónicos e interfonos.

#### **2.3.1.5.4 Valores típicos del micrófono de cristal**

El micrófono de cristal fue muy utilizado en equipos amplificadores con válvulas, debido a que su elevada impedancia, mayor de un 1 M $\Omega$ , permite atacar satisfactoriamente la entrada de la etapa preamplificadora.

En sistemas transistorizados este micrófono precisa de un transformador adaptador de impedancias y, como consecuencia, dejó de popularizarse, pues el transformador encarecía el precio.

##### **Ventajas destacables:**

Bajo precio

Elevada sensibilidad aproximadamente 1 mV/ $\mu$ bar

No necesita de fuente de energía para su polarización

##### **Desventajas:**

Presenta variaciones de sensibilidad en relación con la temperatura.

Su respuesta de frecuencia es de 80 Hz a 16 KHz.

El diagrama polar de campo es omnidireccional.

La calidad sonora, es aceptable para la palabra, pero no resulta apropiada para la música.

#### **2.3.1.5.5 Valores típicos del micrófono cerámico.**

Trabajan con una impedancia de 4 M $\Omega$ .

Su sensibilidad es muy por debajo de los de cristal.

Es de bajo costo.

Solo tiene aplicaciones en el campo de la grabación magnetofónica.

### **2.3.1.5.6 Valores típicos del micrófono de condensador**

**Impedancia muy elevada ( arriba de 500 k  $\Omega$ .)**

**Son muy costosos**

**Muy sensibles a la humedad**

**Tienen características polares omnidireccionales, bidireccionales y unidireccionales.**

**Buena respuesta de frecuencia (30-20000 Hz )**

**Requiere de fuente de polarización externa.**

**Llevan incorporado un pre-amplificador para obtener una impedancia de salida más baja.**

### **2.3.1.5.7 Valores típicos del micrófono electret**

**No necesita fuente de polarización.**

**Buena respuesta de frecuencia (50 - 15000 Hz)**

**Baja impedancia (150 a 1500 Ohms)**

**Sensibilidad constante (del orden de los 50  $\mu\text{V}/\mu\text{bar}$ )**

**Características polares omnidireccional y cardioide.**

### **2.3.2 PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL**

En el modelo conceptual de un sistema de sonido (figura 2.1.1) el bloque correspondiente al procesamiento de la señal contiene a todos aquellos dispositivos a través de los cuales, una señal de audio, tiene que transitar desde el momento en que es entregada por el transductor de entrada hasta el momento en que la señal es recibida por un transductor de salida. Durante su paso por dichos dispositivos la señal es modificada en cuando menos en una de sus características.

La presente sección hace una breve descripción de los dispositivos que más comúnmente encontramos dentro del bloque de procesamiento de la señal en un sistema de sonido.

Los dispositivos que son considerados como procesadores de señal en un sistema de sonido son:

- Preamplificadores.
- Ecualizadores.
- Filtros.
- Generadores de efectos diversos.
- Consolas mezcladoras.
- Amplificadores de potencia.
- Divisores de Frecuencia

#### **2.3.2.1 Preamplificadores**

La principal función de un preamplificador es la de elevar el nivel eléctrico de las señales débiles, las cuales en la mayoría de los casos provienen de un micrófono, para que tenga niveles adecuados para su manejo. Otra de sus funciones es la de actuar como adaptadores de impedancias.

En un sistema de sonido, los preamplificadores difícilmente los encontramos de manera independiente ya que forman parte dentro de la consola mezcladora, pero se les dedica una sección en particular por el importante papel que desempeñan durante

el proceso de la señal. En la figura 2.3.14 se ilustra la posición del preamplificador en uno de los canales de entrada de una consola mezcladora.

Los niveles de las señales que son manejadas por un preamplificador son:

A la entrada del preamplificador se tienen señales entre  $-70$  dBu y  $-50$  dBu.

En la salida del preamplificador los niveles manejados se encuentran entre  $-20$  dBu y  $+4$  dBu

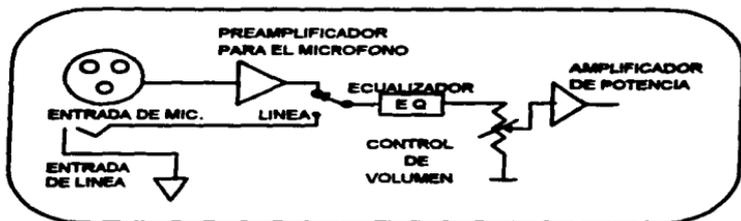


Figura. 2.3.14 Localización de un preamplificador en el canal de una consola mezcladora.

### 2.3.2.2 Consolas mezcladoras

Los términos mezcladoras, consolas mezcladoras, mesa de mezclas son frecuentemente utilizados indistintamente para referirse al dispositivo que se encarga de combinar las diversas señales eléctricas de entrada (señal procedente de micrófonos, grabadoras, reproductor de discos compactos o cualquier tipo de instrumento musical que genere una señal de audio) y trazar las trayectorias de las diversas mezclas. En suma es el corazón de un sistema de sonido porque todos los elementos del sistema terminan en ella.

Las funciones básicas de una consola mezcladora en un sistema de sonido son:

- Adecuar los niveles de las señales de entrada
- Proporcionar, donde sea necesario, medios para ecualizar, limitar y comprimir a una señal.
- Permitir el control (ajuste del nivel de cada fuente) por medio de controles de volumen.
- Proporcionar accesos para efectos artificiales como reverberación.
- Proporcionar señal tanto a la audiencia como a los ejecutantes de los diferentes instrumentos musicales de manera adecuada para cada uno.
- Permitir el intercambio de señales de audio con locales remotos.
- Permitir que las diversas fuentes sean accedidas de manera instantánea por diversas salidas .
- Proporcionar facilidades de monitoreo diverso de la señal.
- Suministrar un control total de nivel.
- Proporcionar medios de comunicación con todo el equipo humano involucrado con el sistema de sonido por parte del operador (talkback).

Básicamente, una consola esta compuesta de las siguientes secciones:

- Entrada.
- Ecualización y filtros.
- Control de niveles de entrada.
- Diversificación de la señal.
- Control general.
- Monitoreo.
- Salida.

La figura 2.3.15 nos muestra un diagrama a bloques de una pequeña consola mezcladora. En donde podemos observar las funciones consideradas como básicas dentro de una consola y que se describen a continuación.

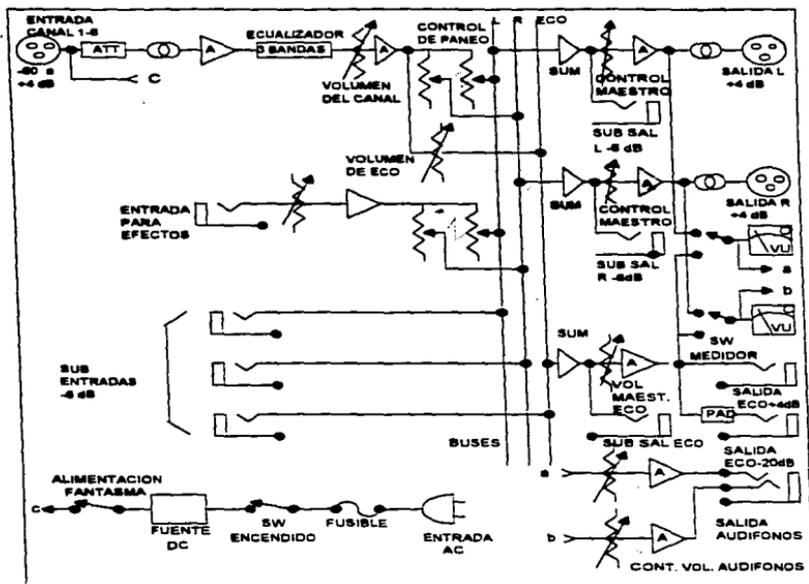


Figura 2.3.15 Diagrama de una pequeña consola mezcladora

El diagrama a bloques de la figura 2.3.15 nos indica la existencia de seis entradas (canal 1-6), aunque por claridad, solo se indica una. También contamos con una fuente de alimentación fantasma (phantom power), disponible para micrófonos de condensador.

Se dispone de un atenuador (ATT) por canal para ajustar los niveles de la señal, a la entrada, que llegarán al preamplificador además de ajustar la impedancia.

Después de la preamplificación (A) encontramos una sección de ecualización de tres bandas para compensación en frecuencia de la señal.

Después del bloque de ecualización, la señal pasa por un control de volumen del canal a través del cual se controla la cantidad de la señal de entrada que se envía a los buses de mezcla.

El bus está compuesto por la mezcla izquierda (L), mezcla derecha (R) y la mezcla de efectos (eco). Las dos primeras mezclas son utilizadas para sistemas de sonido estéreo y la tercera mezcla es utilizada para efectos. Las señales provenientes del bus llegan a un amplificador sumador (SUM) en donde se lleva a cabo la mezcla de las señales, cada mezcla pasa por un control maestro de nivel para controlar el nivel a la salida.

Los medidores (VU) nos dan una información visual de los niveles a la salida de cada una de las mezclas y en la mayoría de las consolas estos medidores visuales cuentan con unos indicadores de picos (leds) los cuales se encienden para indicar la posibilidad de saturación de los circuitos de salida.

La mezcla de eco, también conocida como mezcla de efectos o mezcla auxiliar, es utilizada para incorporar procesos externos a la señal como pueden ser ecos, retardos o reverberación. Cada canal cuenta con un control de envío el cual determina la cantidad de señal que será enviada a la mezcla de eco y un control maestro a través del cual se determina la cantidad de señales combinadas que será enviada a procesamiento externo. La mezcla de eco no necesariamente tiene que ser utilizada para efectos. Una alternativa de uso puede ser enviar la mezcla a una grabadora o a la entrada de audio de una video.

En el diagrama también se aprecian las secciones antes mencionadas que componen una consola. A medida que la capacidad de una consola se va incrementando se puede contar con mayor cantidad de canales, mayor cantidad de mezclas disponibles, diversos tipos de entrada, mayor control sobre la señal de entrada (nivel a la entrada o cambio de fase), controles de canales por grupos, capacidad de comunicación, así como mayor cantidad de salidas disponibles.

### **2.3.2.3 Ecualizadores**

Un ecualizador es un dispositivo capaz de controlar el nivel relativo de diversas porciones del espectro audible de frecuencias. Dicha característica nos permite obtener el balance deseado entre las frecuencias para una situación en particular. Las principales razones que justifican el uso de un ecualizador dentro de un sistema de sonido son:

- (1) Proporcionar adecuada inteligibilidad tanto a la música como a la palabra.
- (2) Resaltar o disminuir ciertos tipos de sonidos de acuerdo a cada situación en particular.
- (3) Compensar en sonido las peculiaridades acústicas de los recintos.

Básicamente existen tres tipos de ecualizadores, que son:

- Ecualizadores paramétricos.
- Ecualizadores gráficos.
- Ecualizadores digitales.

a) Los ecualizadores paramétricos son considerados como los más potentes de los tres debido a que a través de él se pueden ajustar todos los parámetros de ecualización: nivel del ancho de banda, el ancho de banda y el valor de la frecuencia central.

Estos ecualizadores están compuestos de una serie de componentes capacitivos, inductivos y resistivos que entran en resonancia a una frecuencia concreta.

Al permitimos actuar sobre la frecuencia central, podemos seleccionar con toda exactitud la frecuencia que se desea modificar.

Un ecualizador paramétrico de buena calidad requiere de al menos cuatro filtros en paralelo, cada uno correspondiente a las cuatro bandas en que se divide el espectro audible.

Los ecualizadores paramétricos son especialmente útiles en sistemas de grabación y en aplicaciones de transmisión radiofónica.

b) Los ecualizadores gráficos deben su nombre a la disposición de sus potenciómetros deslizables, colocados de tal manera que nos permiten visualizar la curva de ecualización obtenida.

A diferencia de el otro tipo de ecualizador, un ecualizador gráfico puede operar simultáneamente ocho o más bandas. Dichas bandas tienen establecidas sus frecuencias centrales, ya sea cada octava, o cada tercio de octava. La mayoría de los ecualizadores utilizan las frecuencias centrales establecidas por la norma I.S.O.

Su principal aplicación dentro de los sistemas de sonido es la de ajustar la respuesta en frecuencia de la salida para obtener una agradable calidad de sonido o para mejorar la inteligibilidad

Este tipo de ecualizadores están formados, básicamente por un adaptador de entrada que da paso a un banco de filtros en paralelo, de número variable, dependiendo de si son octavas, tercios de octava, etc. y que desembocan en un sumador de salida.

En realidad son filtros selectivos paso-banda donde cada uno cubre un rango de frecuencia del espectro audible, los cuales nos permiten aumentar o disminuir una frecuencia determinada según las necesidades que se presenten.

c) Los ecualizadores digitales son de reciente aparición y en lugar de utilizar filtros analógicos para alterar la respuesta en frecuencia utilizan técnicas de procesamiento digital. La ventajas de este tipo de ecualizadores son :

- La posibilidad de seleccionar diversos tipos de ecualización ya preestablecidas.
- El dispositivo puede programarse para funcionar por octavas o por tercios de octava, como ecualizador gráfico o como ecualizador paramétrico.
- Programar diversos tipos de ecualización y guardarlas en memoria.

#### 2.3.2.4 Filtros

Un filtro, en procesamiento de señal como en el mundo físico, dejan pasar algunas cosas y previenen el paso de otras. Los filtros de audio tienen la función de dejar pasar o atenuar ciertas frecuencias de una señal.

Los filtros paso-altas permiten el paso de todas las frecuencias que se encuentran por abajo del valor de la frecuencia de corte sin que estas frecuencias sufran ninguna atenuación. La frecuencia de corte para este tipo de filtros puede ser cualquier valor que se encuentre entre 20 Hz y 200 Hz. La pendiente en un filtro nos expresa el grado de atenuación que experimentan las frecuencias por abajo de la frecuencia de corte y es expresado en decibeles por octava. El valor de la pendiente es determinado por el número de polos. Un filtro de primer orden (un polo) corresponde a una pendiente de 6 dB/octava, a medida que el orden del filtro se incrementa el valor de la pendiente también es incrementado. Un filtro con una pendiente de 18 dB por octava es considerado de buena calidad.

En los sistemas del sonido se utiliza este tipo de filtros para reducir estruendos de sonido (rumble), ruidos del viento así como otro tipo de señales de baja frecuencia.

Los filtros paso-bajas actúan de manera inversa a los filtros paso-altas, es decir, que los filtros paso-bajas atenúan las frecuencias cuyo valor es mayor al de la

frecuencia de corte. Este tipo de filtros pueden ser utilizados para cancelar porciones del espectro de frecuencia que están por encima de la frecuencia más alta de un programa musical específico, o cuando la respuesta en frecuencia de los bocines o de los sistemas de transmisión es excedida.

Tanto los filtros paso-altas HPF como los filtros paso-bajas LPF no se encuentran disponibles como dispositivos independientes en un sistema de sonido típico ya que forman parte integral de las consolas mezcladoras.

### **2.3.2.5 Efectos**

Los efectos se pueden dividir en las siguientes tres categorías, basándose en, como afectan a la señal musical de programa:

- Dispositivos que controlan el volumen de la señal, en este grupo podemos colocar a los compresores/limitadores, expansores o compuertas de ruido.
- Dispositivos que controlan la espacialidad del sonido como son los generadores de reverberación artificial y los generadores de retardos (delay).
- Dispositivos que generan efectos especiales como pueden ser los generadores de distorsión o el flanger.

Las dos primeras clasificaciones conforman el grupo de efectos en los que la señal es alterada de manera tal que ningún efecto especial es percibido, no ocurriendo así con los dispositivos que conforman la tercera clasificación.

#### **Compresores/Limitadores**

Los compresores y limitadores son procesadores de señal que reducen el rango dinámico de la señal. El limitador está diseñado para prevenir que el nivel de la señal

sobrepase un nivel preestablecido el cual es conocido como umbral. Debido a que esta acción elimina picos en la señal es también como nivelación de la señal.

La razón de cambio en el nivel de entrada (en decibelios) con respecto al cambio en el nivel de salida es conocido como radio de compresión. La mayoría de los limitadores tienen un radio de compresión entre 6:1 y 20:1. Si la unidad es fijada con un radio de compresión de 6:1 entonces, un incremento en el nivel de entrada de 6 dB por arriba del nivel de umbral resultara en un incremento de 1 dB en el nivel de salida. algunos aparatos permiten la compresión infinita lo que significa que ningún incremento en el nivel de entrada por encima del umbral establecido causara un incremento en la salida.

Los limitadores generalmente son utilizados para procesar los picos en las señales del programa razón por la cual se les conoce como limitadores de picos. En transmisiones radiofónicas los limitadores son utilizados para prevenir la sobremodulación de la señal de transmisión. En los conciertos en vivo pueden ser utilizados para proteger los altavoces o los oídos de la audiencia.

Si el umbral es disminuido de manera tal que prácticamente la totalidad del programa musical este sometida a compresión, entonces el dispositivo esta funcionando como compresor. Los compresores tienen menores radios de compresión que los limitadores, típicamente entre 1.5:1 y 4:1. La compresión tiene aplicación en la grabación de cintas, en transmisiones radiofónicas o en conciertos en vivo. También es utilizada para ajustar el rango dinámico de un programa musical a los requerimientos del medio de almacenamiento o reproducción.

Debido a que los componentes electrónicos son prácticamente los mismos, la verdadera diferencia entre un compresor y un limitador es la manera en que el dispositivo es utilizado. La gran mayoría de los aparatos están diseñados para realizar ambas funciones. Además de que casi siempre se dispone de un amplio rango de valores para el umbral y para los radios de compresión y se conocen como compresores/limitadores.

### **Compuertas de ruido y expansores**

Los dispositivos conocidos como compuertas de ruido son procesadores de señal que cancelan o atenúan significativamente las señales que pasan a través de él, cuando el nivel de la señal cae por abajo de un umbral establecido por el usuario. El propósito es que los programas musicales que pasan por dicho aparato lo hagan sin sufrir alteración alguna, pero que los ruidos y silbidos de bajo nivel no se escuchen cuando el programa principal no este presente.

También hay procesadores de señal que expanden la totalidad de los programas musicales. En este caso, el umbral es establecido como punto de referencia, generalmente el nivel nominal del programa musical por lo que cualquier señal que caiga por debajo del umbral establecido será disminuida en nivel por lo que serán más bajas de lo que en realidad son y las señales que estén por encima del umbral serán elevadas en su nivel. El resultado neto será un programa con mayor rango dinámico. A dicho procesador se le conoce como expansor y su principal aplicación la encontramos en el restablecimiento del rango dinámico de los programas que fueron almacenados en cintas.

### **Reverberación Y Retardos.**

La reverberación que ocurre naturalmente en la mayoría de los espacios cerrados y que es más acentuada en los lugares limitados por superficies muy duras también puede ser creada artificialmente por diversos medios. En el pasado, las cámaras reverberantes y algunas unidades que empleaban placas de metal o resortes para simular la reverberación fueron muy comunes, dichas unidades fueron sustituidas por dispositivos conocidos como reverberadores digitales las cuales producen efectos de reverberación digital por medios electrónicos.

La reverberación es frecuentemente confundida con los retardos debido a que algunos procesadores de señal modernos pueden generar ambos efectos. El retardo se refiere a una o más reflexiones de sonido.

La reverberación artificial puede ser utilizada para dar mayor espacialidad al sonido en un ambiente que carece de un grado adecuado o de natural reverberación y con moderación en grabaciones o en transmisiones radiofónicas para producir un sonido más natural y fácil de entender.

Los retardos o ecos que anteriormente fueron producidos por diversas maneras hoy en día son creados principalmente por líneas de retardo digital. Aun cuando los retardos pueden ser utilizados para producir efectos especiales, como ecos múltiples con diferente tiempo entre ellos, su principal aplicación en sistemas de sonido es retardar la señal en altavoces remotos.

#### **Procesadores para efectos de propósito especial**

Los procesadores de señal mencionados hasta este momento también pueden ser utilizados para efectos especiales. Por ejemplo un retardo puede ser utilizado para crear el efecto de eco. La reverberación puede ser aplicada al sonido de determinado instrumento musical de manera tal que sea parte del sonido que genera el mismo. La ecualización puede transformar la música o la palabra. Pero hay otra clase de procesadores de señal cuyo propósito principal son los efectos especiales. A continuación se hace una breve discusión de cierto número de dichos efectos.

#### **- Coros (chorus)**

Este efecto crea la impresión de un ensamble cuando este recibe una señal de un solo instrumento o voz. Un segundo o múltiples sonidos son creadas a partir de la señal original y son retardadas en tiempo y corridas en tono lo que resulta en la impresión de multiplicidad de sonidos.

#### **- Flanging**

Flanging es un efecto que utiliza técnicas de cancelación de fase técnicamente conocidos como filtros de peinado (comb filter). El uso de los flangers demuestran que un efecto como el de la cancelación de fase lo cual es generalmente considerado como nocivo para el sonido tiene sus aplicaciones.

#### **2.3.2.6 Amplificadores de potencia**

El amplificador de potencia en audio es un procesador de señal cuya función es, como su nombre lo indica, incrementar la potencia de una señal de audio. En un sistema de sonido, el amplificador de potencia es siempre el último componente activo dentro de la cadena de componentes que lo conforman y se localiza justo antes de la conexión para los altavoces. Las características a considerar de un amplificador de potencia se enuncian con más detalle en la sección 3.2.2.3 donde se hace referencia a la selección de equipo (página 170).

#### **2.3.2.7 Divisores de frecuencia**

Para asegurar que cada uno de los altavoces reciben únicamente las bandas de frecuencias para las cuales fue diseñada, un divisor de frecuencias puede ser instalado justo antes del altavoz. El divisor de frecuencias puede ser tanto pasivo como activo. En ambos casos el divisor de frecuencias está compuesto de dos o más filtros cada uno conectado a un altavoz. Cada filtro está diseñado para permitir el paso de un cierto rango de frecuencias y atenuar todas las frecuencias restantes. Por ejemplo para un sistema de tres vías tenemos los siguientes filtros y los siguientes altavoces:

NOMBRE DEL ALTAVOZ	RANGO DE FRECUENCIAS	FILTRO	FRECUENCIA DE CORTE
Woofers	Bajas < 1 kHz	Paso-bajas	1 kHz
Squawker	Medias 1 - 4 kHz	Paso-banda	1 kHz y 4 kHz
Tweeter	Altas > 4 kHz	Paso-altas	4 kHz

**Divisores de frecuencias pasivos:**

Los filtros pasivos están diseñados para manejar altos voltajes. Ellos se encuentran localizados entre el amplificador y los altavoces y generalmente son parte integral del sistema de altavoces.

Los divisores de frecuencias pasivos consisten de una serie de filtros los cuales están fundamentalmente compuestos de resistencias y capacitores cuyo valor esta determinado por la frecuencia de divisor de frecuencias y por la impedancia de la fuente (amplificador) y por la impedancia de los altavoces.

**Divisores de frecuencia activos:**

Este tipo de divisor de frecuencias se encuentran antes del amplificador, por lo tanto, están diseñados para manejar señales de nivel bajo (miliwatts) a diferencia de los divisor de frecuencias pasivos. Debido a que los divisores de frecuencias activos dividen el rango de frecuencias antes de la amplificación, es necesario un amplificador para cada una de las bandas en que el divisor de frecuencias divide el rango de frecuencias.

Por lo tanto para un sistema con un divisor de frecuencias activo y dos amplificadores, cada uno manejando una banda de frecuencias diferente, es llamado, sistema triamplificado. En el caso de un sistema con divisor de frecuencias y tres amplificadores que manejan diferente banda de frecuencias se le conoce como sistema triamplificado.

### **2.3.3 TRANSDUCTORES DE SALIDA**

Los transductores de salida son aquellos que efectúan la transformación electroacústica al final del sistema de sonido. Como elementos transductores existen los altavoces (bocinas) y audífonos, lo que difiere al altavoz del audífono es que en el altavoz la energía acústica que proporciona es elevada para abarcar grandes distancias, mientras que en los audífonos es pequeña y esta en contacto directo con el pabellón auditivo.

#### **2.3.3.1 Definición de altavoces**

Son dispositivos que efectúan el cambio de la energía eléctrica en magnética, la magnética en mecánica y en un tercer paso la mecánica en acústica.

#### **2.3.3.2 Clasificación de altavoces**

Los altavoces según sus elementos eléctricos se clasifican en: Dinámicos, Electrodinámicos, Electroestáticos y Piezoeléctricos. Según sus elementos mecánicos en Altavoces de bobina móvil y en Altavoces de hierro móvil, y según la banda de frecuencias que reproduce como Altavoces de frecuencias bajas (o Woofer) Altavoces de frecuencias medias (o Squawker) y Altavoces de frecuencias altas (o Tweeter).

##### **2.3.3.2.1 Altavoces dinámicos**

Las partes de un altavoz dinámico, se muestran en la figura 2.3.17 en donde los *bornes de entrada* (1) son donde se conecta y por donde entra la señal después de que sale de un amplificador, la *bobina móvil* (2) que esta formada por un devanado montado en un tubo cilíndrico fabricado de papel o aluminio de espesor muy delgado para reducir al mínimo el entrehierro y capaz de soportar los esfuerzos provocados por la araña durante el movimiento vibratorio, el soporte de la bobina se recubre con barniz para resistir la humedad. Su devanado debe realizarse con exactitud mecánica y eléctrica, el grueso del hilo depende de la carga que admita el altavoz y su aislamiento debe ser de gran calidad para evitar cortocircuitos entre la espiras.

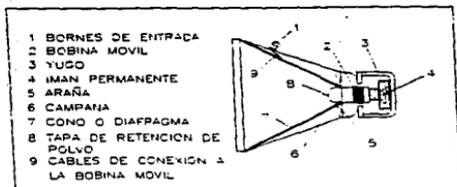


Figura 2.3.17 Partes de un altavoz dinámico

El yugo (3) esta fabricado de material de alta permeabilidad, para evitar pérdidas del campo magnético proporcionado por el imán permanente que aloja en su interior, el *Imán permanente* (4) es el sistema de excitación del altavoz es un imán cilíndrico de alta inducción, la *araña* (5) se encarga de centrar la bobina móvil en el entrehierro de modo que no se produzcan rozamientos de la bobina con el imán ni con el yugo, va colocada en el cuello del cono y puede ser de perfil plano u ondulado. La *campana* (6), de rigidez mecánica con nervaduras de refuerzo debe estar cubierta de una capa galvanoplástica para evitar su oxidación, sirve como soporte de todas las piezas, su altura es una medida crítica ya que el cono no debe ejercer esfuerzo alguno sobre la *araña*, pues aumentaría en consideración la impedancia del conjunto móvil del altavoz. El *cono* (7) o *diafragma* fabricado de un material rígido y liviano, como la pulpa de papel tratada con sustancias higroscópicas, fibras de cartón y plástico, su forma depende de las frecuencias que ha de reproducir para cumplir las características de directividad y potencia admisible del altavoz, la *tapa de retención de polvo* (8) que sirve para evitar la acumulación de polvo en el entrehierro que podría provocar la inmovilización de la bobina móvil.

Principio de operación de un altavoz dinámico, la parte motora esta compuesta por un imán permanente cuyo núcleo se introduce dentro de una bobina móvil, la bobina se conecta a la salida del amplificador de potencia circulando por ella una corriente alterna variable en frecuencia y amplitud, alrededor del hilo de la bobina se produce un campo magnético y dado que la bobina se encuentra dentro del campo magnético del imán permanente se produce una fuerza, dado que la polaridad del imán no cambia la bobina sentirá atraída o repelida por el imán, produciéndose la vibración de la bobina hacia adelante o atrás según la corriente modulada aplicada.

### 2.3.3.2 Altavoces electrodinámicos

A diferencia de los dinámicos en lugar de un imán permanente es un electroimán cuya polaridad debe ser invariable, se excita a partir de la corriente continua proporcionada por la etapa rectificadora, este tipo de altavoz no esta en uso porque cualquier pequeña ondulación de la corriente afecta el campo del electroimán y por consiguiente el desplazamiento de la bobina móvil.

### 2.3.3.3 Altavoces electrostáticos

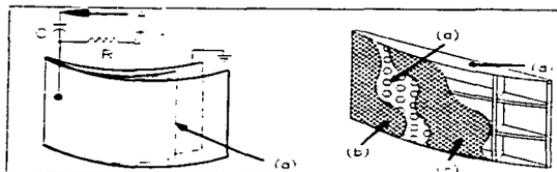


Figura 2.3.18 Altavoz electrostático

De la figura 2.3.18 A es la entrada de la señal de audio, (a) es el diafragma, (b) es un electrodo acústico de salida en una placa móvil, (c) es un electrodo acústico de entrada en una placa fija y (d) es el marco de soporte. Su funcionamiento se basa en la

variación de capacitancia debido al desplazamiento de una placa móvil de un capacitor, los voltajes debidos a la frecuencia hacen variar la atracción entre un diafragma y la placa fija al marco de soporte haciendo mover el diafragma.

#### 2.3.3.2.4 Altavoces piezoeléctricos

Su funcionamiento se basa en las deformaciones que sufren los cristales piezoeléctricos cuando se les aplica un voltaje, el voltaje modulado en la salida del amplificador se aplica a las caras laterales de una lámina del cristal por medio de unos electrodos de contacto, el cristal va unido mecánicamente al diafragma, el cual entra en

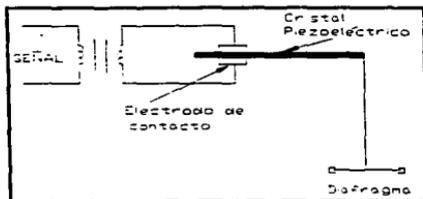


Figura 2.3.19 Principio de funcionamiento de un altavoz piezoeléctrico

vibración con las deformaciones que sufre el cristal, únicamente se utilizan en la reproducción de agudos como en aparatos de sordera, receptores de radio muy pequeños y altavoces para frecuencias altas. Lo anterior se muestra en la figura 2.3.19

#### 2.3.3.2.5 Altavoz magnético plano

Es una variante del altavoz electrostático esta formado por dos paneles magnéticos (1), entre los cuales se sitúa el diafragma de material ligero (2) sobre el

cual va pegado o pintado un material conductor que forma la bobina móvil del altavoz (3), su principio de funcionamiento es el mismo de un altavoz dinámico el campo magnético generado por la bobina cuando pasa la corriente alterna procedente del amplificador, se opone el campo magnético de los paneles, produciendo el movimiento del diafragma.

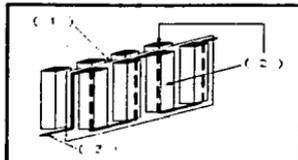


Figura 2.3.20 Principio de funcionamiento de un altavoz magnético plano

#### 2.3.3.2.6 Altavoz AMT

Se les llama también Heil por su inventor Oskar Heil, AMT viene de Air Motion Transformer, su funcionamiento es parecido al de los altavoces magnéticos planos posee un diafragma de un material plástico (mylar) en el que va impreso la bobina móvil, ocupando casi la totalidad del mismo, la diferencia es que el diafragma está plegado como acordeón, que cuando se aplica la corriente a la bobina los pliegues se abren y se cierran con esto la aceleración obtenida es mayor que la de los altavoces convencionales, se utilizan para frecuencias medias y altas.

#### 2.3.3.2.7 Altavoz ATD

Este altavoz también fue desarrollado por Heil para la gama de graves y se muestra en la figura 2.3.21. Consta de cinco ligeros diafragmas circulares, dispuestos horizontalmente uno encima del otro separados por unidades estacionarias, los

diafragmas van conectados entre sí por unas varillas de fibra de carbón a una bobina móvil que se encarga de excitarlos, los diafragmas van montados en unos reflectores acústicos y toda la unidad se monta en una caja acústica que separa la radiación frontal de la posterior.

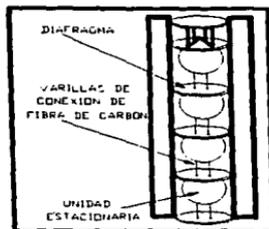


Figura 2.3.21 Dibujo esquematizado de un altavoz ATD

#### 2.3.3.2.6 Altavoz Walsh

Este altavoz consiste en utilizar un único cono o diafragma para reproducir todas las frecuencias, está fabricado el cono en su parte superior de titanio y en su parte inferior de aluminio. Esto se hace así con el fin de que el tiempo que tarda el impulso del aire en viajar a través del cono (distancia  $a$  de la figura 2.3.22) sea el mismo que tarda en recorrer la distancia entre el cono y una línea vertical al eje de suspensión (distancia  $b$  de la figura 2.3.22). En todo lo demás su funcionamiento es idéntico al de un altavoz dinámico.

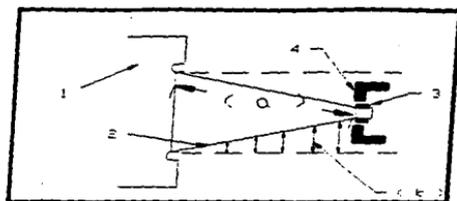


Figura 2.3.22 Dibujo esquematizado de un altavoz Welsh  
 1 Recinto acústico, 2 Cono, 3 Bobina móvil, 4 Yugo

### 2.3.3.3 Comportamiento de un altavoz en función de fronteras

Considerando la colocación de un altavoz sus efectos sonoros se ven afectados conforme aumentan las fronteras que lo limitan, en la figura 2.3.23 se muestra la colocación de un altavoz omnidireccional (teóricamente idealizado) colocado en un espacio completo o libre si consideramos su radiación de nivel sonoro a una distancia pequeña (unos cuantos centímetros) y fijamos el nivel como 0 dB SPL, al colocar el altavoz en una barrera como en el recuadro siguiente de la figura se produce un incremento a esa distancia pequeña de 3 dB más que en el espacio libre, esta situación se llama medio espacio. Cuando el altavoz se coloca en la intersección de dos barreras se le llama un cuarto de espacio, el incremento en dBs con respecto al espacio libre es de 6 dB y finalmente en el último recuadro de la figura se muestra un octavo de espacio donde el altavoz es colocado en la intersección de tres barreras produciendo así un incremento de 9 dB más que en el espacio libre.

Número de barreras	Especio de radiación	Nivel de referencia
ninguna	completo o libre	0 dB
una	medio	3 dB
dos	un cuarto	6 dB
tres	un octavo	9 dB

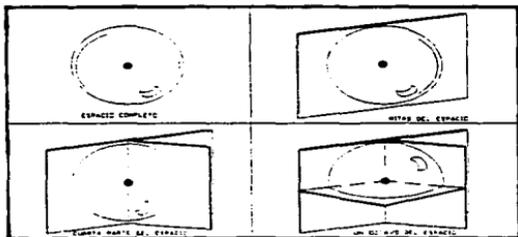


Figura 2.3.23 Un altavoz ideal colocado en diferentes situaciones

#### 2.3.3.4 Baffles (Baffles)

Si un altavoz funcionara sin un soporte que en algunos casos se llama pantalla acústica con caja ó recinto acústico ó baffle su rendimiento acústico sería muy pobre, su cono mueve el aire de tal forma que se produce una onda sonora frontal (que comprime el cono) y una onda posterior (que provoca una depresión al cono) idénticas en amplitud pero desfasadas 180 grados, estas ondas se desplazan, chocan con objetos y se desvían y es factible que en determinadas zonas lleguen a confluir de modo que se combina para dar como resultado una nueva onda que puede ser desde una suma a la diferencia de amplitudes pudiéndose dar el fenómeno de que se sumen llegando al

oído una onda sonora de poco menos del doble de amplitud de la emitida por el altavoz o una casi nula, esto se aprecia en frecuencias bajas de ahí el nombre de reflector de bajos (bass reflex), pero volviendo al altavoz cuando este efecto es catalogado como baja fidelidad y por lo mismo la creación del baffle que aisla las ondas.

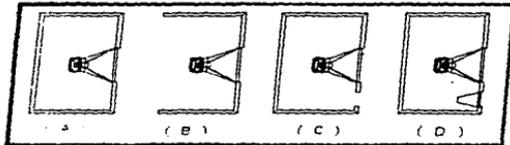


Figura 2.3.24 Tipos de baffles

Los Baffles los hay cerrados como en la figura (A) con recubrimiento interno de materiales absorbentes del sonido que evita que la onda posterior interactúe con la frontal, los abiertos en la parte posterior donde se retrasa un poco la onda posterior (B), los reflectores de bajos (bass reflex) (C) que basa su funcionamiento en la resonancia mecánica, en las proximidades de la frecuencia de resonancia, la onda posterior del diafragma sufre en la caja una inversión de fase de forma que sale a través de la ventana en fase con la onda frontal, una variación de este baffle es con laberinto, y los de radiador pasivo (D) que refuerza la onda frontal cuando es excitado por las variaciones de presión del interior.

#### 2.3.3.5 Especificaciones de los altavoces

Son características que proporciona el fabricante como son Descripción que es el diámetro de los altavoces y el número de éstos, por ejemplo: 8 pulgadas 2 vías.

Otra especificación muy importante es la Respuesta en Frecuencia que es el rango de frecuencias que reproduce un altavoz con mayor exactitud, el fabricante la

puede dar como gráfica (que puede ser de dos o tres dimensiones, estas gráficas de 3 dimensiones manejan ejes de frecuencia en Hz nivel de presión sonora en dB a un metro de distancia y un watt de entrada y tiempo en segundos) o sólo mencionarla por ejemplo 30 Hz – 15 KHz  $\pm$  3 dB en seguida se muestra la gráfica en donde 30 Hz y 15 KHz son las frecuencias de corte y el nivel de referencia es de 100 dB y la variaciones están entre 103 dB y 97 dB.

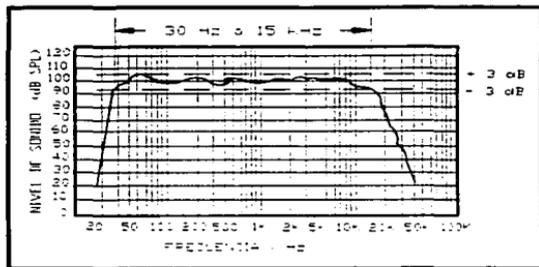


Figura 2.3.25 Gráfica de respuesta en frecuencia de un altavoz

La *Capacidad de Potencia manejable* son las potencias mínima y máxima que puede aplicarse en forma continua y sin que el baffle se deteriore, por ejemplo: 5 watts / 350 Watts igual a 0.007 de capacidad.

Otra especificación es la *Sensitividad o Sensibilidad* que es el nivel de presión sonora producida por un altavoz a un metro de distancia cuando se excita con 1 watt de potencia, es el dato con el cual el usuario puede saber que potencia del amplificador necesita para obtener un nivel de audición por ejemplo si se requiere un nivel de audición de 100 dB y se cuenta con una pantalla acústica con una sensibilidad

de 86 dB/w a un metro primero se restan los decibeles 100-86=14 después con la fórmula de Potencia del amplificador igual a antilogaritmo de 14 dB entre 10 se obtiene una potencia de 25W.

El *Rendimiento* o *eficiencia* de un baffle es la relación de la potencia que radia y la que se le entrega se expresa en tanto por ciento por ejemplo uno que radia 1 watt cuando el amplificador le entrega 50 Watts tiene un rendimiento de 1:50 o de un 2%. Una clasificación convencional que suele admitirse es que un baffle con una sensibilidad menor de 85 dB es de bajo rendimiento, un rendimiento medio entre 85 dB y 93 dB y un alto rendimiento superior a 93 dB.

La *Directividad* se refiere a la salida de un altavoz a cierto ángulo comparada con un altavoz omnidireccional que radia la misma cantidad de energía acústica, es por así decirlo la dirección de la energía acústica, una manera de expresarla es con el *Índice de directividad* DI que es el radio del nivel de presión sonora de un altavoz comparada con el de un altavoz omnidireccional.

$$DI = 10 \log ( I / I_{ref} )$$

donde :

DI = Índice de directividad en dB

I = intensidad a cierta distancia angular del altavoz

I ref = intensidad a la misma distancia de un altavoz omnidireccional

También la directividad de un altavoz es expresada con el *factor de directividad* Q que se define como el radio del nivel de presión sonora al cuadrado a una distancia fija y dirección específica, comparada con la presión media cuadrática a la misma distancia pero hacia todas las direcciones del mismo altavoz, cuando se conoce un índice de directividad a cierto ángulo el factor de directividad puede obtenerse de la siguiente ecuación :

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

Q	DI	Q	DI	Q	DI
90	19.54	9	9.54	0.9	-0.46
80	19.03	8	9.03	0.8	-0.97
70	18.45	7	8.45	0.7	-1.55
60	17.78	6	7.78	0.6	-2.55
50	16.99	5	6.99	0.5	-3.01
40	16.02	4	6.02	0.4	-3.96
30	14.77	3	4.77	0.3	-5.23
20	13.01	2	3.01	0.2	-6.99
10	10.00	1	0.00	0.1	-10.00

Tabla 2.3.1 Factores e índices de directividad

Característica de direccionalidad de un altavoz. Asumiendo que un altavoz posee un perfecto diafragma plano la característica de direccionalidad varía de acuerdo a la frecuencia, a bajas frecuencias la energía acústica se radia en todo el espacio disponible, conforme aumenta la frecuencia, la salida se va haciendo progresivamente más direccional, esta característica depende del diámetro del altavoz y de la longitud de onda.

Relacionando el índice de directividad el factor de directividad y la característica de direccionalidad en unos diagramas polares, para las frecuencias de los casos de los incisos (a), (b), (c), (d) y (e) de la anterior tabla 2.3.2, se tiene la gráfica de la figura 2.3.26.

Diámetro Altavoz ( cm )	Frecuencia en ( Hz ) (Características de direccionalidad)				
	( a )	( b )	( c )	( d )	( e )
6.60	1000	2000	4000	8000	16000
17.20	500	1000	2000	4000	8000
34.40	250	500	1000	2000	4000
$\lambda / d =$	4	2	1	0.5	0.25
ID =	+ 3 dB	+ 4 dB	+10 dB	+ 16 dB	+ 22 dB
Q =	2	2.5	10	40	180

Tabla 2.3.2 Relación del diámetro de un altavoz con la frecuencia que radia

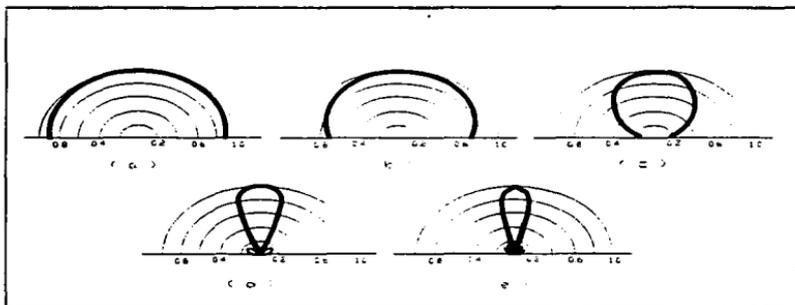


Figura 2.3.26 Característica de Direccionalidad en diagramas polares

Algunos fabricantes dan como característica la respuesta en frecuencia de un baffle a distintos ángulos de separación de su eje, cuanto más desviado se este de dicho eje más pobre es la respuesta en frecuencia, esto se muestra en la figura 2.3.27.

Una especificación importante es el *ángulo de dispersión* también llamado de cobertura que es aquel en que el fabricante asegura una radiación del nivel sonoro aceptable del baffle y puede darle horizontal y vertical, por ejemplo 100 grados horizontalmente y 60 grados verticalmente.

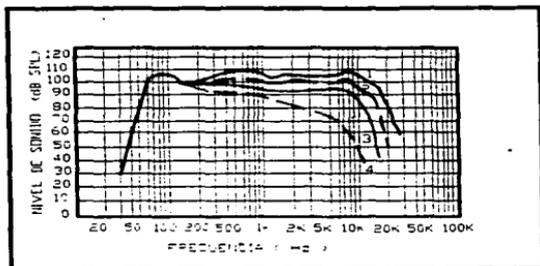


Figura 2.3.27 Respuesta en frecuencia de un altavoz a : 1) 0 grados hor. 2) 30 grados hor. 3) 60 grados hor. y 4) 90 grados hor.

Otra especificación es la *impedancia nominal* que es el resultado del valor complejo de la resistencia del hilo de la bobina móvil en corriente continua, la reactancia inductiva dependiente de la frecuencia aplicada y las corrientes inducidas en la bobina móvil a causa de sus desplazamientos dentro del campo magnético de excitación del imán permanente. Los fabricantes indican una impedancia para una frecuencia ya preestablecida internacionalmente cuyo valor es de 1 kHz, de la

siguiente curva se puede apreciar la impedancia nominal de 8 ohms según la norma EIA, esta especifica que la impedancia nominal debe de ser tomada como el valor mínimo después del pico de resonancia, la frecuencia de resonancia fr es la frecuencia material de vibración del diafragma y de la bobina móvil cuando se les aplica un impulso eléctrico que los separa de su posición de equilibrio y este impulso se corta bruscamente, oscilando el diafragma y la bobina con una frecuencia fija de amplitud de onda decreciente hasta recuperar su posición de equilibrio, la impedancia en fr es cinco veces o más la impedancia nominal.

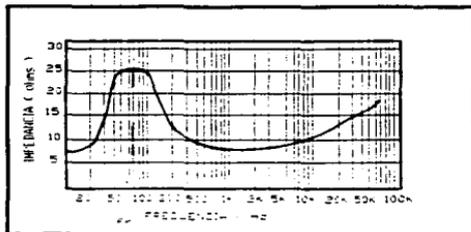


Figura 2.3.28 Curva de Impedancia de un altavoz dinámico típico

La frecuencia de resonancia depende de las características constructivas del altavoz como montaje del sistema mecánico, masa del cono, carga acústica etc., es inversamente proporcional al diámetro del cono y proporcional a la rigidez del cono. La impedancia nominal esta directamente relacionada con la cantidad de poder que el altavoz puede extraer del amplificador, por ejemplo: si un amplificador envía 100 watts en 8 ohm, un altavoz de 8 ohms puede extraer 100 w, uno de 16 ohms solo puede extraer 50 watts, por lo tanto se puede asumir que un altavoz de 4 ohms puede extraer 200 watts.

Otra especificación es la *frecuencia de filtros divisores de frecuencias (crossover)* que es la frecuencia de corte del filtro pasivo integrado al baffle, cuando se dan dos frecuencias son las de cruce de los filtros, por ejemplo para un baffle comercial de 10 pulgadas y 3 vías que maneja un intervalo de frecuencias de 30 Hz a 22 kHz, las frecuencias son 400Hz / 3000Hz.

*Distorsión*, en altavoces podemos hablar de tres, distorsión armónica, de intermodulación y de diferencia de frecuencia. La que mencionan los fabricantes por ser la más representativa es la distorsión armónica total que se representa por medio de curvas separadas por armónicos, la distorsión producida por los armónicos impares es más marcada que la producida por los pares ya que estos están en armonía con la onda fundamental, esta distorsión no sigue una gráfica lineal, no existe el mismo porcentaje para todas las frecuencias, aumenta a medida que disminuye la frecuencia, todas las curvas deben ser referidas al mismo nivel de salida, generalmente 90 dB a 1 metro de distancia, la manera de indicar una distorsión armónica en un baffle sería para el segundo armónico menor del 2% de 20 a 150 hertz y menor del 1% de 150Hz a 20 kHz para el tercer armónico menor del 2% de 20 a 50 hertz y menor del 1% de 50 Hz a 20 kHz que son los valores medidos a un metro de distancia axial y un nivel de presión sonora de 90 dB en condiciones anecoicas, el nivel máximo deseable de distorsión armónica es del 1%.

*Circuitos de protección*, así como se protegen los amplificadores contra el exceso de corriente a la salida, algunos baffles emplean un relevador que detecta la corriente en la bobina, también pueden contar con un circuito de restablecimiento automático y fusible.

*Campo magnético del imán permanente*. Es la densidad de flujo, el flujo por unidad de superficie su valor oscila por lo general alrededor de 1 tesla. También el fabricante puede mencionar el *Peso* que por lo general lo dan en libras y su *Acabado* que son los materiales que se usan para el recubrimiento del baffle, estas son las especificaciones de los altavoces que los fabricantes de acuerdo a su conveniencia

mencionan o no, para la selección de un buen baffle se puede decir que mientras más se acerquen las especificaciones a los requerimientos demandados mejor será.

#### **2.3.3.6 Clasificación de los altavoces en función de las frecuencias que manejan**

*Altavoz para frecuencias bajas (Woofer)*, los altavoces para tonos graves poseen una frecuencia de resonancia muy baja, cuando se aplica al altavoz una frecuencia muy baja el cono se desliza proporcionando un buen rendimiento, al aplicarle una frecuencia elevada solo una pequeña parte periférica del cono radia energía acústica, las frecuencias que manejan son menores de 1.5 kHz y el tamaño de su cono es de 6 a 18 pulgadas de diámetro.

*Altavoz para frecuencias medias (Squawker)*, su frecuencia de resonancia esta en 200 Hz y una frecuencia de corte entre 6 y 8 kHz, su tamaño de cono va desde las 5 a las 12 pulgadas de diámetro.

*Altavoz para frecuencias altas (Tweeter)*, para tonos agudos en cuanto menor sea el diámetro del cono mejor será su reproducción, su frecuencia de resonancia esta entre 1000 y 4000 Hz y su frecuencia de corte por encima de los 20 kHz, el tamaño de su diafragma es desde las 2.5 a las 4 pulgadas de diámetro.

#### **2.3.3.7 Suma de presión sonora con altavoces**

Como se ha mencionado en el capítulo primero el dB SPL es el que indica el nivel de presión sonora y considerando la especificación de sensibilidad, la forma de obtener el nivel de presión sonora resultado de la contribución de dos o más altavoces es sumando los dB que proporcionan estos al aplicárseles una potencia. La manera de sumar decibeles no es directa ya que involucra logaritmos, existe una gráfica para agilizar la operación de suma o resta con dB que se muestra a continuación:

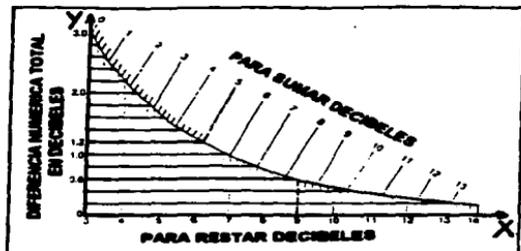


Figura 2.3.29 Gráfica para sumar y restar decibetes

Para ejemplificar suponemos que tenemos un altavoz con una sensibilidad de 100 dB a un metro y a un watt y otro de 98 dB a un metro y a un watt, al aplicarse una señal de un watt y a un metro de distancia, obtendremos una presión sonora de la suma de 100 dB SPL y 98dB SPL, usando la gráfica de la figura 2.3.29 lo primero que hay que hacer es una resta:  $100 - 98 = 2$  entramos a la gráfica con 2 por el lado de la suma y proyectando al eje "y" encontramos el valor de 2.1 dB, este valor se suma al minuendo de la adición que es 100 dB y nos da como resultado 102.1 dB aproximadamente.

Otra forma de hacerlo más exacta es utilizando una relación de logarítmica

De la forma  $X_{dB} = 10 \log (x1/x2)$  en la cual por propiedades logarítmicas

queda  $(x1/x2) = 10^{(XdB / 10)}$  en forma exponencial

aplicando esto a nuestro caso:

$$100 \text{ dB} = 10(100 / 10) = 10^{10} \quad \text{y} \quad 98 \text{ dB} = 10(98 / 10) = 10^{9.8}$$

$$10^{10} + 10^{9.8} = 1.63097344E 10$$

Finalmente:

$$100 \text{ dB} + 98 \text{ dB} = 10 \log (1.63097344E 10) = 102.124426 \text{ dB}$$

Otra alternativa que propone Gary Berner es restando los decibeles

$100 - 98 = 2$  ,  $\rightarrow -2$  entonces el resultado es:

$$10 \log (10^{-2/10} + 1) + 100 = 102.124426 \text{ dB}$$

Para la gráfica en el caso de la resta se restan las cantidades, con el resultado se entra a la gráfica por el lado de la resta se llega a la curva y se proyecta al eje "y" y el número indicado se le resta al mayor de nuestra operación.

### **2.3.3.6 Audífonos**

Los audífonos a diferencia de los altavoces tienen la posibilidad de una total inmersión del usuario en la señal de audio, lo aísla del ruido ambiente, el control de volumen es más directo, debido a que existe un acoplo acústico directo con el oído permite grandes presiones sonoras sin distorsión y una audición estéreo independiente de la posición del usuario.

#### **2.3.3.6.1 Tipos de audífonos**

La clasificación, dependiendo de su funcionamiento es de: audífonos dinámicos, audífonos piezoeléctricos y audífonos electrostáticos.

Dependiendo de su acoplamiento con el pabellón auditivo los audífonos se clasifican en: abiertos, cerrados y semiabiertos.

## Los Audífonos Dinámicos

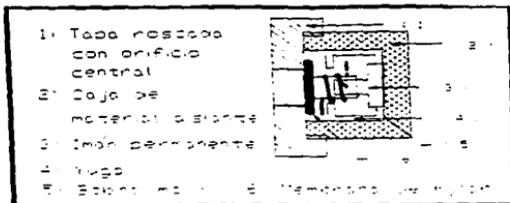


Figura 2.3.30 Partes de un audífono dinámico

Constan principalmente de un pequeño imán permanente, que magnetiza dos piezas polares sobre las que se disponen bobinas formadas por varios cientos de espiras de hilo fino, frente a las bobinas existe un diafragma muy fino de lámina de acero o hierro, tensado, que es atraído por el imán aunque no llega a tocarlo, se dice que el diafragma está pretensado, todo este conjunto se encierra en una caja de material aislante que cierra por unas de sus caras con una tapa roscada que tiene un orificio central por donde salen al exterior las vibraciones de aire provocadas por el diafragma.

Al aplicar voltaje en la bobina, la atracción del diafragma será reforzada o disminuida, oscilando hacia adelante o hacia atrás, al igual que en el altavoz dinámico el imán permanente cumple su función, que sin su previa magnetización el diafragma sería atraído en cada semiperíodo oscilando a una frecuencia doble del voltaje alterno aplicado, el movimiento del diafragma produce alternativamente compresión y expansión del aire en el orificio de la tapa, con lo que se producen ondas sonoras que se transmiten al oído. Debido a la constante atracción hacia el campo magnético, el

diafragma no se mueve la misma distancia en cada semiciclo del voltaje aplicado, por lo que se introduce distorsión.

La máxima sensibilidad se obtiene cuando la corriente eléctrica circula por la bobinas en un determinado sentido, el cual suele estar indicado por el fabricante con un signo +, la distorsión creada por la constante atracción del diafragma, se elimina cambiándolo por una membrana muy fina (mylar) que lleva adosada una bobina móvil, inmersa en un campo magnético constante creado por el imán permanente.

Este sistema disminuye el peso y asegura una buena reproducción de frecuencias altas. Cuando a las terminales de las bobinas se les aplica el voltaje procedente del amplificador, circula por ella una corriente que a su vez crea un campo magnético de polaridad y fuerza conforme a la intensidad de corriente citada, debido a la orientación del campo magnético del imán permanente, éste ejerce una fuerza de atracción o repulsión sobre la bobina, la cual transmite su vibración a la membrana, cada audifono esta conectado a un canal del amplificador por lo que marcan las posiciones derecho e izquierdo para el sonido estereofónico.

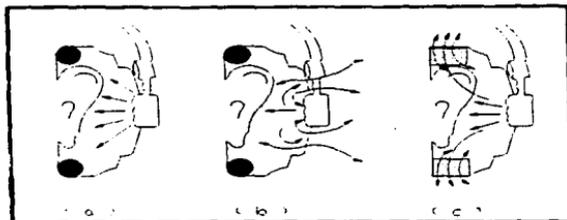
**Los Audifonos Piezoeléctricos.** La conexión de un audifono de cristal con el amplificador se hace a través de un condensador y una resistencia al igual que en los altavoces piezoeléctricos, la impedancia de éstos audifonos es muy alta, entre 45 k $\Omega$  y 80 k $\Omega$ , la curva de respuesta en frecuencia de estos audifonos es muy irregular, por lo mismo no son utilizados en alta fidelidad, su empleo principal es para algunos tipos de radioreceptores y prótesis para sordos.

**Audifonos Electroestáticos.** Basan su principio de funcionamiento en la atracción y la repulsión de las cargas eléctricas presentes en un condensador plano en el que una de las placas es móvil y la otra fija, fabricadas con un material extremadamente fino, al aplicar voltaje, la placa móvil sufre un movimiento de atracción

y repulsión con respecto al campo eléctrico de la placa fija. La repulsión y atracción de las placas es directamente proporcional al cuadrado del voltaje aplicado, debido a esto la distorsión en este tipo de audífonos es grande, para evitarlo se polariza el audífono con un voltaje constante auxiliar.

**Audífono Electrostático/Dinámico.** Este tipo de audífono sustituye la fuente de alimentación por una polarización interna conseguida a base de un elemento capaz de almacenar carga eléctrica, este se dedica a conservar el voltaje necesario, como la señal que se necesita para activar un audífono electrostático debe ser elevada, el audífono cuenta con un transformador dentro de su propio recinto

#### **Audífonos Abiertos, Cerrados y Semiabiertos.**



**Figura 2.3.31 Audífonos: Cerrado (a), Semabierto (b) y Abierto (c)**

**Los audífonos abiertos:** en este tipo de audífonos la almohadilla es acústicamente transparente, de forma que el oyente no queda totalmente aislado de las fuentes sonoras externas, son confortables, pues es muy baja la presión de aire que ejercen. En los audífonos cerrados la almohadilla está rellena de líquido, por lo que se

adapta fuertemente al pabellón auditivo y forman una cavidad hermética a la salida o entrada de ondas acústicas como se muestra en la figura anterior, en estos audífonos el aislamiento del ruido externo debe de acercarse a los 40 dB, como desventajas de estos audífonos se debe mencionar que una irregularidad de las almohadillas puede destruir la respuesta en frecuencia original y que la presión excesiva que ejercen sobre el pabellón auditivo los hace molestos.

En los audífonos semiabiertos la almohadilla es acústicamente impermeable a las ondas sonoras, mientras que en el lado del transductor electroacústico el audífono está abierto, dando las características sonoras de un tipo abierto.

#### **2.3.3.2 Especificaciones de audífonos**

Al igual que en los altavoces, los audífonos que mejor cubran las especificaciones serán lo más recomendables.

Dichas especificaciones son: Respuesta en frecuencia, Nivel de presión sonora nominal, Sensibilidad, Potencia máxima, Impedancia, Distorsión armónica total, Presión de contacto y Peso.

*La respuesta en frecuencia* en audífonos dinámicos de calidad media es fácil que abarque de 20 Hz a 20 kHz y de 15 Hz a 35 kHz en los de alta calidad, en audífonos electrostáticos se obtiene curvas de respuesta de 15 Hz a 50 kHz  $\pm$  2 dB.

Como norma para adquirir unos audífonos se debe procurar que el intervalo de frecuencias reproducibles sea como mínimo igual al del amplificador que utilizamos.

*Nivel de presión sonora nominal*, indica el nivel de presión acústica proporcionada por el audífono, el nivel de presión sonora se mide a una frecuencia de 1 kHz, siendo un valor común el de 94 dB.

*La sensibilidad o sensibilidad* en audífonos abarca desde 90 dB a 105 dB a 1 mW.

La *potencia máxima*, indica la potencia máxima aplicable permanentemente al audifono sin que se produzcan deterioros irreparables, se expresan en miliwatts eficaces o miliwatts en corriente continua, los valores más comunes son: en audifonos dinámicos entre 100 mW y 500 mW y en audifonos electrostáticos varia siendo mucho menores que en los dinámicos.

La *impedancia* de los audifonos dinámicos oscila entre 8  $\Omega$  hasta 2 k  $\Omega$ , esta impedancia se refiere siempre a 1 kHz, los valores más comunes son entre 100  $\Omega$  y 600  $\Omega$ . Donde los de 2 k  $\Omega$  no son comerciales y son utilizados especialmente en investigaciones acústicas.

En los audifonos la *distorsión armónica total* tiene que ser menor o igual a la del amplificador, de no ser así irá en detrimento de la señal. La norma DIN 45 500 establece como limite de distorsión armónica total un 1 %, en la actualidad se encuentran fácilmente valores de 0.2 % en audifonos dinámicos, en los audifonos electrostáticos de 0.1 %.

La *Presión de contacto* es una especificación que no siempre proporciona el fabricante, los valores ideales son entre 1.5 a 3 Newtons.

El *Peso* de los audifonos oscila entre unos 100 y 400 gramos, recomendando que entre más liviano sea más comoda se hará su escucha.

## 2.4 TIPOS DE SISTEMAS DE SONORIZACIÓN

En muchas situaciones, a fin de mejorar la claridad y distribución del sonido en espacios cerrados, o lugares al aire libre predestinados a concentraciones humanas, se hace necesario incrementar la transmisión natural desde la fuente hasta el oyente por medio de un sistema de sonorización. Existen tres tipos principales de sistemas de sonorización; de tipo concentrado, zonal y distribuido.

### 2.4.1 Sistemas de tipo concentrado

En este tipo de sistema un altavoz se encuentra colocado directamente sobre la fuente real de sonido. En un sistema de este tipo sólo se emplea una posición del altavoz, y es posible obtener un realismo máximo. Los oyentes pueden localizar con facilidad la dirección de la fuente de sonido, y si la señal amplificada proviene de la misma dirección que el sonido original, simplemente se tiene la impresión de mayor claridad ó intensidad, pero no de sonido artificial amplificado.(figura 2.4.1)

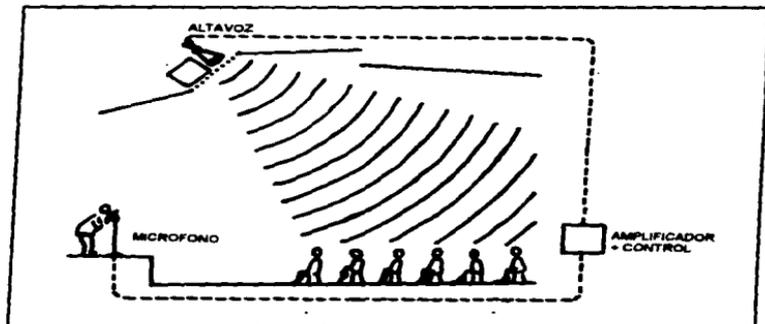


Figura 2.4.1 Sistema de tipo concentrado

#### 2.4.2 Sistemas de tipo distribuido

Es otro tipo de sistema de sonorización en el que se utiliza un gran número de altavoces repartidos uniformemente sobre las áreas del público. Con los altavoces colocados en posiciones elevadas, la operación de este sistema se parece bastante a la de las lámparas de techo. La sala se cubre con pequeñas fuentes de sonido, y cada oyente recibe sonido sólo de los altavoces más cercanos. Este tipo de sistema se utiliza en cualquier situación en que la altura del techo es inadecuada para el empleo de un sistema central o donde no todos los oyentes pueden tener una línea de audición a partir de un altavoz central. También se utiliza en espacios como grandes salones para convenciones y para los edificios de terminales aéreas. Los altavoces jamás deben colocarse a ambos lados del espacio más próximo al público, y tampoco deben distribuirse a lo largo de los dos lados de la sala o en las cuatro esquinas de un gran espacio reverberante. (Figura 2.4.2)

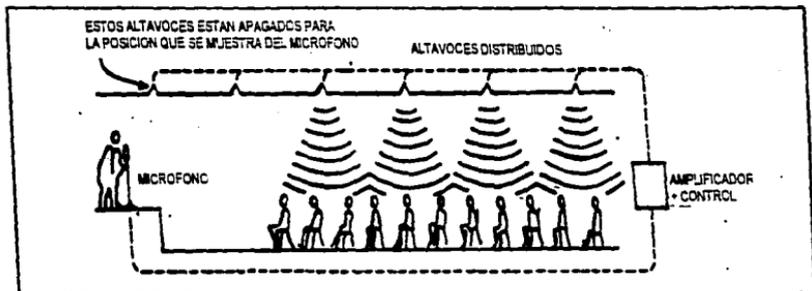


Figura 2.4.2 Sistema de tipo distribuido

### 2.4.3 Sistema de tipo zonal

Los sistemas de sonorización de tipo zonal se dividen de dos formas en lineales y especiales. Los sistemas zonales lineales están destinados a la sonorización de áreas largas pero estrechas (por ejemplo calles). Los sistemas zonales especiales se utilizan para sonorizar grandes superficies que no puedan ser sonorizados por medio de sistemas centrales.

Los altavoces mejor adecuados a la sonorización zonal de áreas anchas son los radiales o conjuntos de altavoces en forma de abanico.

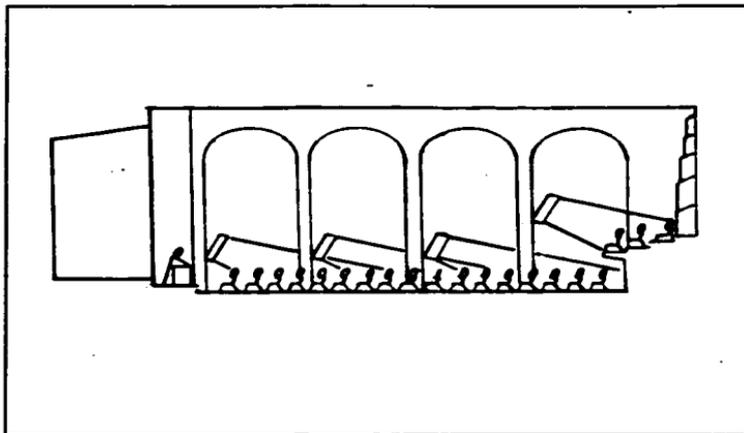


Figura 2.4.3 Sistema de tipo zonal

## **2.5 ELEMENTOS DE INTERCONEXIÓN.**

Uno de los principales elementos de interconexión en un sistema de sonorización son los cables. Si algún cable no está en adecuadas condiciones puede provocar problemas en la calidad de sonido o quizás sea el único responsable de que en determinado momento ningún sonido sea generado. En esta sección, se tratan los aspectos de más importancia con relación a la construcción de los diversos tipos de cable existentes en un sistema de sonorización.

### **2.5.1 Conceptos relacionados con la interconexión.**

Tres de los aspectos de suma importancia dentro de la interconexión de dispositivos en un sistema de sonorización profesional son:

- La impedancia.
- Los niveles de la señal manejada.
- Balanceo de la línea

Con respecto a los niveles de señal, en los sistemas de audio se considera que existen tres niveles de operación :

- Los niveles bajos o niveles de micrófono. Cuyo rango está comprendido desde la ausencia de señal hasta valores de  $-20 \text{ dB}_U$ . Estos valores los podemos encontrar a la salida de un micrófono o en las cabezas para cintas.
- Niveles medios o niveles de línea. Dentro de esta categoría se considera a todos aquellos niveles comprendidos entre  $-20 \text{ dB}_U$  y  $30 \text{ dB}_U$ . Valores que podemos encontrar a la salida de teclados electrónicos, salidas de consolas mezcladoras y en las entradas y salidas de procesadores de señal, como compresores retardadores, limitadores, ecualizadores y reproductores de cartuchos.

No obstante el nivel nominal de línea de gran parte de los equipos son:  
-10 dB<sub>U</sub>, + 4 dB<sub>U</sub> o 8 dB<sub>U</sub>.

- Niveles de altavoz o niveles altos. Se consideran altos a todos aquellos niveles mayores a +30 dB<sub>U</sub>. Estos niveles los encontramos en los amplificadores en sus salidas a bocinas y en todos aquellos cables que transporten más de 24 volts.

Con respecto a la impedancia, se pretende un adecuado acoplamiento de impedancias. En la mayoría de los circuitos de audio de nivel de línea es considerado como adecuado que las impedancias de salida sean tan bajas como prácticamente sea posible y que por su parte las impedancias de entrada sean tan altas como sea posible.

Otro de los aspectos que se deben considerar para llevar a cabo las conexiones entre equipos, es la existencia de las líneas balanceadas y las líneas no balanceadas.

Se considera línea no balanceada a toda aquella línea de dos conductores, en donde uno tiene el propósito de manejar señal y el restante es la conexión a tierra. Este tipo de conexiones puede requerir el uso de transformadores, pero existe el acoplamiento directo o electrónico.

Las conexiones balanceadas emplean al menos dos conductores, cada uno de los cuales transporta la misma señal pero con polaridad invertida, una con respecto de la otra. Las conexiones balanceadas pueden o no pueden ser referenciadas a tierra. En el caso de que no lo estén se dice que la conexión esta flotando. El blindaje es el tercer conductor, el cual no transporta ninguna señal.

Las conexiones balanceadas son preferidas, porque son bastante más inmunes a la interferencia.

Cuando se presentan problemas de acoplamiento de impedancias, de niveles, o de líneas balanceadas con aquellas que no lo son se puede disponer de un pequeño dispositivo conocido como "caja directa" (direct box o direct injection box). El principal componente de una caja directa es un transformador de acoplamiento de impedancias que además puede proporcionarnos:

- Conexión entre una salida no balanceada y una entrada balanceada.
- Aislamiento de los voltajes fantasmas de micrófonos de condensador en aquellas consolas que no poseen conmutador individual por canal.
- Control de nivel para manejar altos voltajes.
- Control de zumbidos.
- Conectores adicionales, que permiten que determinado instrumento pueda ser conectado a su propio amplificador y al mismo tiempo al sistema de sonido.

### **2.5.2 Cables.**

La calidad de un cable depende de las características de:

- El conductor.
- El blindaje
- Los conectores.

Con relación a los conductores los factores a tomar en cuenta son:

- El material de que están hechos.
- Las características de su trenzado.

Con respecto a el material, lo más recomendable son las aleaciones de cobre y bronce. Además se busca que el conductor de los cables sea alambre trenzado. Entre más trenzado este el conductor se tendrá mayor flexibilidad y menos riesgos de falla por fatiga de material.

El propósito principal del blindaje en los cables para audio es el rechazar los ruidos electrostáticos. Teniendo como desventaja el incremento en la capacitancia distribuida, que combinada con la resistencia producen el efecto de un filtro paso-bajas.

Los blindajes que podemos encontrar en los cables para audio son:

- Trenzado.
- Enrollado.
- De hoja.

El blindaje más recomendable es el trenzado. Para la elección de un cable se sugiere elegir aquellos que presenten la más baja capacitancia posible por metro.

#### Cables de un conductor

Este tipo de cable está compuesto por un solo conductor y el blindaje y son utilizados en las conexiones no balanceadas.

#### Cables de dos conductores

Los cables blindados de dos conductores son utilizados en circuitos balanceados, pero pueden ser utilizados cuando una salida balanceada está alimentando a una entrada no balanceada.

#### Cables para bocina.

Para las conexiones existentes entre altavoces y amplificadores no es necesario el uso de cables blindados debido a que los niveles de las señales manejadas por estos son lo suficientemente altas para no permitir que los ruidos electrostáticos sean audibles. Se recomienda el uso de cables de muchos hilos delgados por encima de aquellos que tienen pocos hilos gruesos. La siguiente tabla muestra los calibres recomendados en base a la impedancia relacionada y a la longitud.

IMPEDANCIA (Z)	LONGITUD < 30 m	LONGITUD > 30 m
16 ohms	calibre 16	calibre 14
8 ohms	calibre 14	calibre 12
4 ohms	calibre 12	calibre 10

**Cables múltiples de audio (Snakes).**

Este es un tipo especial de cable en el cual vienen integrados varios cables de dos conductores y blindaje en cantidades estándares desde 8 hasta 24 y en algunos casos más. En los extremos de dichos pares pueden colocarse conectores XLR independientes o un tipo especial de conector multiterminal como se muestra en la figura 2.5.1.

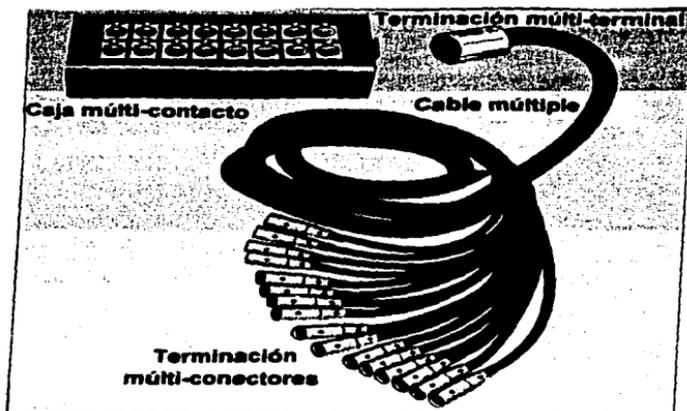
Este tipo especial de cable es utilizado para las conexiones remotas entre la consola de mezcla y las diversas fuentes de sonido en un escenario.

Como complemento a este tipo de cable existen unas cajas conectores múltiples integrados (Stage box), la cual también es ilustrada en la figura 2.5.1.

### **2.5.3 Conectores**

Idealmente un conector debe poseer las siguientes características:

- Fácil de usar.
- Ofrecer dificultad a desconexiones accidentales.
- Mínima resistencia
- Presentar oposición a la interferencia.



**Figura 2.5.1 Cable múltiple con terminación multiconecтор, multiterminal y caja de conectores múltiples**

A continuación se presenta una breve descripción de los conectores de más uso en los cables para audio profesional:

**- Clavija telefónica (Phone Plug)**

Se les conoce de esa manera porque originalmente eran utilizados en telefonía. Los hay de dos tipos: de dos circuitos TS (tip-sleeve) punta y casquillo, y de tres circuitos TRS (tip-ring-sleeve) punta, anillo y casquillo.

En líneas de audio balanceadas, la punta generalmente es señal, el anillo es conectado a el otro conductor y el casquillo es conectado a el blindaje.

Las ventajas de este tipo de conector son:

- Facilidad de alambrear a el cable.
- Baratos
- Se pueden configurar circuitos de conmutación

Desventajas:

- Ausencia de mecanismos de seguridad, lo que significa que pueden ser desconectados accidentalmente con facilidad.
- Son vulnerables a cortos circuitos.
- Alta resistencia de contacto

Las clavijas telefónicas de tres circuitos también son conocidos como plugs estéreo, debido a que es el tipo de conector que más se utiliza en los audífonos. El diámetro estándar para este tipo de conector es de 6.25 mm. La figura 2.5.2 nos muestra este tipo de conectores.



Figura 2.5.2 Conectores conocidos como clavijas telefónicas (Phone Plug)

**- Conectores RCA.**

La figura 2.5.3 nos muestra a este tipo de conector, el cual fue originalmente desarrollado por The Radio Corporation of America.

**Ventajas:**

- Barato.
- Utilizan poco espacio
- Fácil alambrado

**Desventajas:**

- Alta resistencia de contacto
- Carencia de mecanismos de seguridad.



**Figura 2.5.3 Conector RCA.**

**- Conectores XLR.**

Son conectores de tres terminales también conocidos como XLR-3, los cuales originalmente fueron introducidos por la compañía Cannon. También se les llama conectores XLB, tipo XL.

Este tipo de conector puede ser hembra o macho, para extremos en cables o para instalación en dispositivos. La figura 2.5.4 muestra a los conectores de este tipo.

Este tipo de conector es el de uso más común en las conexiones balanceadas debido a que cancela chispazos, permite el alambrado a cables de diámetro grande, presenta baja resistencia de contacto, además de que cuenta con mecanismos de seguridad. El único inconveniente que presenta es su relativo alto costo.

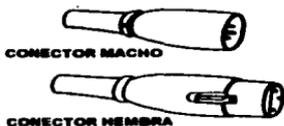


Figura 2.5.4 Conectores XLR

- Conectores de altavoces.

Los conectores de borne de tornillo (Binding Post) son los conectores más comúnmente encontrados en los gabinetes de altavoces. Este tipo de conector acepta conectores banana ya sea dual o individual además de que es posible conectar cables estañados como se muestra en la siguiente figura.

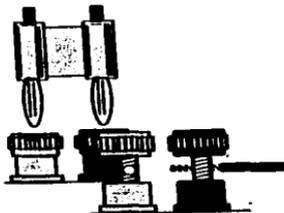


Figura 2.5.5 Conectores de borne de tornillo.

Otro tipo de conector que se maneja en los altavoces son las clavijas y enchufes telefónicos (Phone Plug-Jack). Para una selección entre ambos tipos de conectores se prefieren los de borne de tornillo porque los segundos son fácilmente desconectables pudiendo provocar cortos circuitos y porque ofrecen alta resistencia de contacto.

Por último, un conector de altavoces, de reciente introducción es el que se conoce como Neutrik NL-4. Este conector a diferencia de los demás fue diseñado exclusivamente para utilizarse con altavoces. Se utiliza en sistemas biamplificados por que tiene cuatro terminales conductoras.

La figura 2.5.6 ilustra los alambrados más comunes en cables, con diferentes combinaciones de terminaciones balanceadas y no balanceadas.

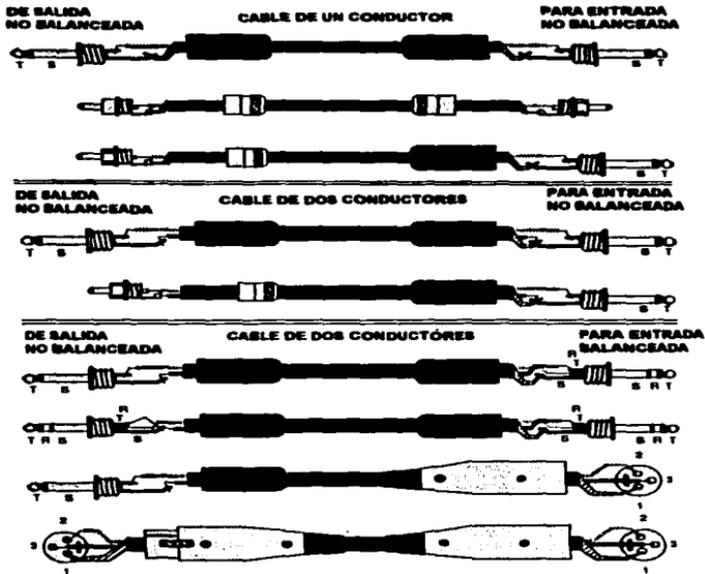
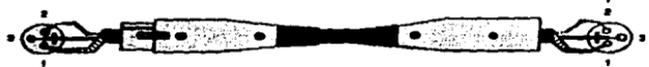
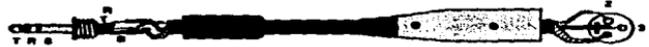
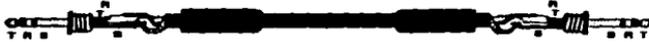
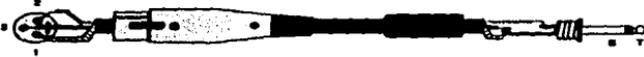
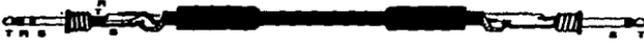


Figura 2.5.6 Alambrados más comunes en cables de audio profesional, (continua)

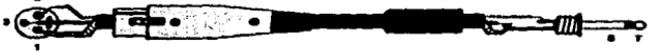
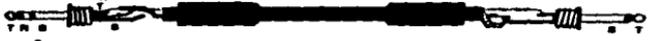
**DE SALIDA DIFERENCIAL BALANCEADA**      **CABLE DE DOS CONDUCTORES**      **PARA ENTRADA DIFERENCIAL BALANCEADA**



**DE SALIDA DIFERENCIAL BALANCEADA**      **CABLE DE DOS CONDUCTORES**      **PARA ENTRADA NO BALANCEADA**



**DE SALIDA FLOTANTE BALANCEADA**      **CABLE DE DOS CONDUCTORES**      **PARA ENTRADA NO BALANCEADA**



**DE SALIDA ATERRIZADA BALANCEADA**      **CABLE DE UN CONDUCTOR**      **PARA ENTRADA NO BALANCEADA**

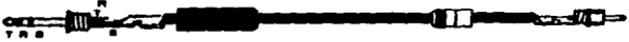


Figura 2.5.6 (continuación).

# **CAPITULO TERCERO**

**PROPUESTA DEL**

**METODO**

**PARA SONORIZAR**

**UN ESPACIO CERRADO**

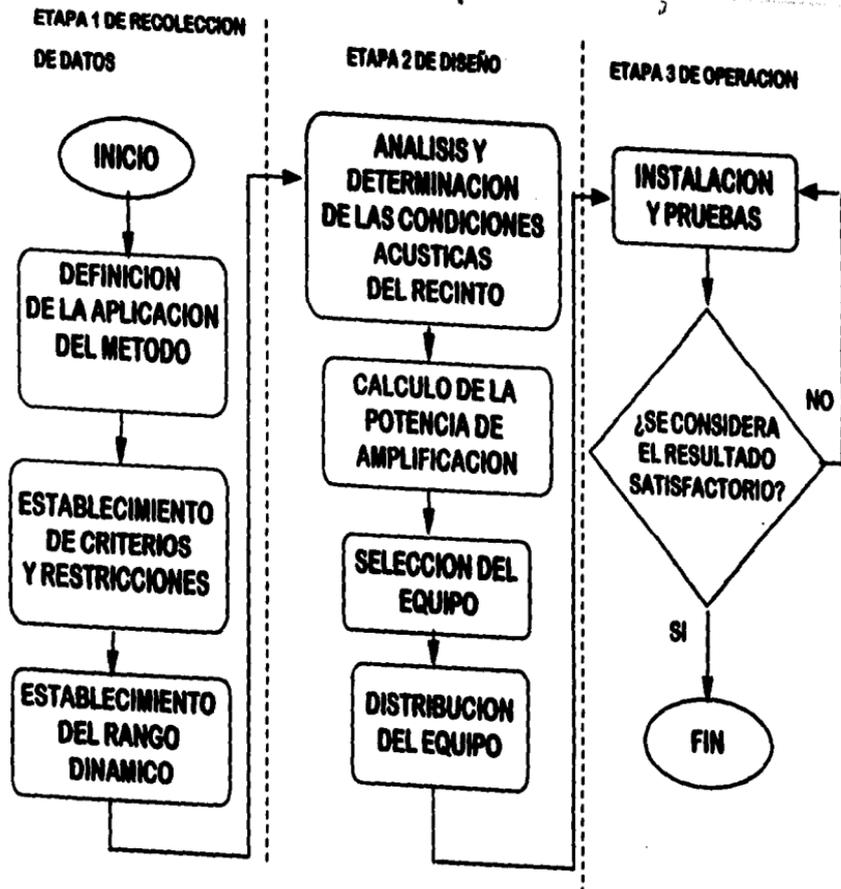


Figura 3.1 Diagrama de flujo del método propuesto para sonorizar eventos musicales en espacios cerrados

### **3.1 METODO PROPUESTO**

El método propuesto para sonorizar un evento musical en un espacio cerrado consta de tres etapas (figura 3.1). En la primera etapa se lleva a cabo una recolección de datos, mismos que son necesarios para determinar los criterios y restricciones para determinar el sistema de sonorización, así como el planteamiento del rango dinámico. En la segunda etapa se realiza un análisis de las condiciones acústicas del recinto y el cálculo de la potencia eléctrica para el planteamiento del sistema de sonorización requerida. Por último se lleva a cabo la instalación del sistema de sonorización y las pruebas necesarias a los elementos de interconexión.

#### **1. Etapa de recolección de datos**

Como primer paso debemos de definir el lugar de aplicación del método, posteriormente la recolección de los datos a considerarse como criterios y restricciones para el planteamiento del sistema, en base a ellos se determinará el rango dinámico del sistema y el planteamiento del tipo de sistema de sonorización a emplearse en el lugar seleccionado. Dichos datos son los siguientes:

##### **a) Determinación de criterios y restricciones**

###### **⇒ Criterios**

- Reverberación
- Permanencia del Equipo
- Tipo de Sonorización

###### **⇒ Las que derivan del recinto:**

- Dimensiones
- Materiales
- Capacidad
- Nivel de ruido

⇒ Las restricciones del equipo utilizado:

- Nivel de Señal
- Nivel máximo
- Respuesta en Frecuencia

**b) Establecimiento del Rango Dinámico**

- Nivel de programa
- Tolerancia
- Nivel máximo manejado

## **2.- Etapa de diseño.**

**a) Estudio de las condiciones acústicas del recinto**

- Obtención de las áreas de materiales existentes en el recinto
- Cálculo del volumen del recinto
- Cálculo del coeficiente de absorción promedio
- Cálculo del tiempo de reverberación

**b) Cálculo de Potencia**

- Selección del tipo de sistema de sonorización y ubicación de las fuentes de sonido para el recinto en cuestión.
- Ubicación del punto de manejo del rango dinámico del sistema.
- Selección del altavoz
- Cálculo de pérdidas en el nivel de presión sonora debidas a distancia al punto de referencia
- Obtención de la ganancia necesaria para garantizar el manejo del rango dinámico establecido

- Obtención de la ganancia necesaria para garantizar el manejo del rango dinámico establecido
- Cálculo de potencia eléctrica necesaria
- Determinar el número de altavoces capaces de soportar la potencia que requiere el sistema.

**c) Selección del Equipo de sonorización**

- Micrófonos
- Ecualizadores
- Procesadores de efectos
- Consolas mezcladoras
- Cables
- Amplificadores
- Monitores
- Altavoces

**d) Distribución de los micrófonos**

- Distribución de los elementos de la banda en el escenario
- Distribución de los micrófonos para instrumentos y vocalistas

**3.- Etapa de operación**

- Instalación
- Pruebas

### **3.1.1 Etapa de recolección de datos**

#### **3.1.1.1 Aplicación del método**

El auditorio seleccionado para desarrollar el método propuesto es el Auditorio Javier Barros Sierra de la Facultad de Ingeniería de Ciudad Universitaria, selección determinada básicamente por las facilidades brindadas para obtener los planos arquitectónicos del recinto dentro de los archivos de la Universidad, aspecto que es importante ya que de ellos se obtienen datos como dimensiones, materiales, capacidad, etc.

#### **3.1.1.2 Establecimiento de criterios y restricciones**

##### **Establecimiento de los Criterios**

La reverberación es en algunas ocasiones deseable, especialmente en aplicaciones musicales, en donde una moderada cantidad de reverberación puede hacer que el sonido percibido sea más agradable. Sin embargo demasiada reverberación implica una considerable pérdida en la inteligibilidad. Por lo que un adecuado control de la reverberación dentro de un recinto permitirá que la calidad del sistema de sonido mejore notablemente.

Cuando el recinto es utilizado exclusivamente para aplicaciones musicales, es deseable, que sea tratado acústicamente ajustando sus niveles de ruido, su tiempo de reverberación, sus modos de resonancia y la uniformidad de su campo reverberante a valores adecuados.

Por otro lado cuando el sistema de sonorización va a ser instalado para utilizarse de manera temporal, el acondicionamiento acústico no se justifica. Bajo estas condiciones, las deficiencias acústicas de los recintos pueden ser superadas a través de dispositivos electrónicos

En los eventos musicales, el tipo de sonorización más utilizado es el de tipo concentrado con disposición estereofónica, sección izquierda y sección derecha. La principal razón por la que este tipo de sistema es preferido es porque el oído humano

es capaz de diferenciar con precisión la localización de las fuentes de sonido desde una perspectiva espacial izquierdo-derecho.

#### Reconocimiento de restricciones.

La adecuada sonorización de un evento musical requiere, en la medida de lo posible, de la disponibilidad de contar con los planos arquitectónicos del recinto. En nuestro caso solo nos fue posible conseguir el plano horizontal. De acuerdo al objetivo general planteado, con el plano horizontal que se presenta en la figura plano 1 es suficiente para llevar acabo la sonorización . Pero si se tratara de realizar un acondicionamiento acústico si es necesario contar con otros planos referentes al auditorio para indicar y trazar las áreas en donde se requiera sustituir materiales.

La siguiente tabla nos muestra las superficies de los materiales predominantes dentro del auditorio seleccionado.

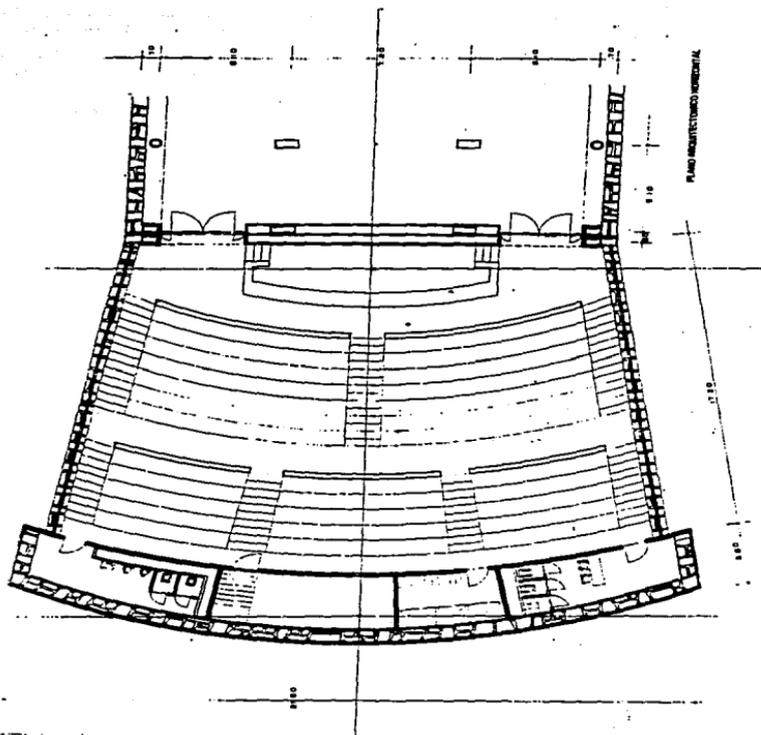
MATERIAL	ÁREA (m <sup>2</sup> )
Madera Barnizada	344.328
Concreto	705.775
Yeso	62.848
Aluminio	32.72
Acrílico	44.26

Tabla 3.1 Superficies de los materiales predominantes dentro del auditorio Javier Barros Sierra

La capacidad del auditorio es de 376 personas en butacas, cuenta con una superficie de 1373.94 m<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 2810.16 m<sup>3</sup> .

El nivel de ruido promedio del auditorio se obtuvo a través de mediciones realizadas con un decibelímetro durante el desarrollo de un evento musical con aproximadamente 2/3 de su capacidad total de personas sentadas.

En la tabla 3.2 se presenta las lecturas obtenidas y con ellas se puede calcular el nivel de ruido promedio:



Plano 1. Plano arquitectónico horizontal del auditorio Javier Barros Sierra de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

No. DE MEDICIONES	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
NIVEL DE RUIDO	71 dB	76 dB	70 dB	75 dB	73 dB	75 dB	73 dB	68 dB	74 dB	80 dB

Tabla 3.2 Mediciones del nivel de ruido en el auditorio Javier Barros Sierra.

Para obtener el nivel de ruido promedio se utiliza la siguiente ecuación:

$$NRPm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i$$

Sustituyendo datos

$$NRPm = \left( \frac{71 + 76 + 70 + 75 + 73 + 75 + 73 + 68 + 74 + 80}{10} \right) \text{dB}_{\text{SPL}}$$

Por lo que el nivel de ruido promedio del recinto es de:

$$NRPm = 73.5 \text{dB}_{\text{SPL}}$$

La respuesta en frecuencia de los altavoces determinará si podemos manejar el rango de frecuencia audible, 20 Hz a 20 kHz. Con el resto del equipo ya no existe esa restricción debido a que prácticamente todo equipo profesional ya es capaz de manejar dicho rango de frecuencias.

### 3.1.1.3 Establecimiento del Rango Dinámico

Para establecer el nivel de señal de programa es recomendable usar una relación señal a ruido mayor a 20 dB. Considerando la Norma de salud OSHA que establece los tiempos de exposición a niveles de presión sonora sin que estos causen daños a la salud ( ver apéndice B, página 205), se establece el nivel de operación para el rango dinámico, para nuestro caso será de 95 dB. Por lo anterior el nivel de señal a ruido para nuestro rango dinámico sera, el nivel de operación menos el nivel de ruido promedio obtenido dentro del recinto, es decir (95 dB - 73.5 dB) = 21.5 dB.

La tolerancia se establece atendiendo la recomendación propuesta por el autor Chris Foreman en su libro Handbook for Sound Engineers, quien recomienda usar una tolerancia entre 10 y 20 dB como la adecuada. Para nuestro caso establecimos un nivel de 15 dB, atendiendo la recomendación y las especificaciones técnicas de los equipos. Con este nivel de tolerancia garantizamos la protección de los equipos contra máximos de señal o picos que se presenten durante el desarrollo del evento musical.

En función de los niveles de tolerancia, programa y nivel de ruido promedio del recinto queda determinado el rango dinámico deseado para el sistema de sonorización del método propuesto, el cual se ilustra en la figura 3.2.

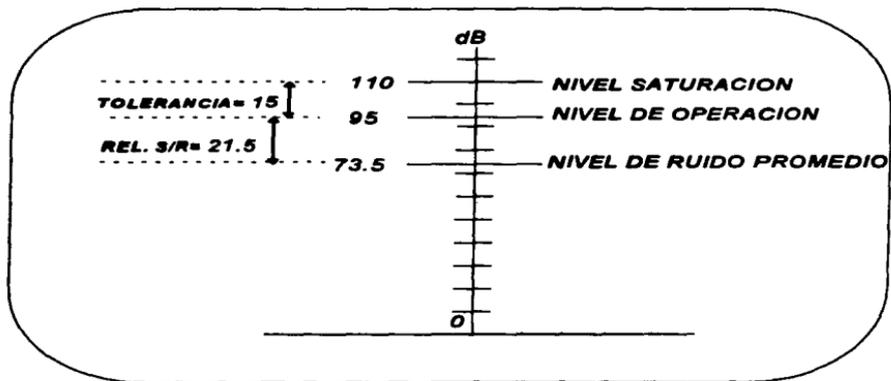


Figura 3.2 Rango dinámico para el sistema de sonorización del método propuesto.

### 3.1.2 Etapa de diseño

#### 3.1.2.1 Estudio de las condiciones acústicas.

Debido a que la reverberación de un recinto ha sido considerada como el factor de mayor influencia sobre la calidad acústica del mismo, esta sección tiene como principal propósito el cuantificar la reverberación existente en el auditorio Javier Barros Sierra. Teniendo en cuenta que a mayor tiempo de reverberación mayor es la cantidad de reverberación existente en el auditorio.

El primer paso es calcular el tiempo reverberación, para lo cual es necesario obtener el coeficiente de absorción existente en el recinto. Debido a que tanto el coeficiente de absorción como el tiempo de reverberación son dependientes de la frecuencia el análisis se realiza para diversas frecuencias. A través de la ecuación de Sabine se calcula el tiempo de reverberación.

$$T_r = (0.161) V / S_T \bar{\alpha} \quad \text{--- (a) Ecuación de Sabine}$$

En donde:

$T_r$  = Tiempo de reverberación en segundos

$V$  = Volumen del recinto en metros cúbicos

$S_T$  = Superficie total del recinto en metros cuadrados

$\alpha$  = Coeficiente de absorción promedio del recinto en sabina

considerando que el coeficiente de absorción promedio puede ser calculado a través de la siguiente fórmula:

$$\bar{\alpha} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i \right)}{S_T} \quad \text{--- (b)}$$

En donde:

$\bar{\alpha}$  = Coeficiente de absorción promedio del recinto.

$S_T$  = Superficie total del recinto

$S_i$  = superficie correspondiente a cada una de las materiales existentes en el recinto.

$\alpha_i$  = coeficiente de absorción del material

Sustituyendo la ecuación (b) en (a), obtenemos la siguiente ecuación:

$$T_r = (0.161) V / \sum S_i \alpha_i$$

donde:

$\sum S_i \alpha_i$  = Absorción acústica en función de las superficies implicadas (S) en metros cuadrados, y los coeficientes de absorción acústica ( $\alpha$ ) correspondiente.

Para el cálculo de la absorción existente en el recinto se emplea la tabla de coeficientes de absorción de los materiales del apéndice A de la página 204. Se requiere obtener los coeficientes de absorción de cada uno de los materiales existentes en el recinto (Madera, yeso, audiencia, concreto y aluminio) y multiplicarlos por la superficie total de cada material como se muestra en la Tabla 3.3. Esto se realiza para 6 diferentes frecuencias.

Materiales	S = Área en (m <sup>2</sup> ) o num. de elementos	Unidades de Absorción o Sabíns para las frecuencias en Hz											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		$\alpha$	$\alpha S$	$\alpha$	$\alpha S$	$\alpha$	$\alpha S$	$\alpha$	$\alpha S$	$\alpha$	$\alpha S$	$\alpha$	$\alpha S$
Madera	344.328	0.1	34.43	0.11	37.87	0.1	34.43	0.08	27.54	0.08	27.54	0.11	37.87
Yeso	92.846	0.12	11.14	0.10	9.28	0.07	6.49	0.09	8.35	0.07	6.49	0.07	6.49
Audiencia	378	0.15	56.4	0.25	94	0.35	131.6	0.38	142.8	0.38	142.8	0.35	131.6
Concreto	760.065	0.025	18.75	0.026	19.5	0.06	45.00	0.083	63.75	0.04	32.25	0.05	42.00
Aluminio	32.72	0.035	1.145	0.025	0.818	0.019	0.621	0.012	0.392	0.07	2.29	0.04	1.308
$\sum S_i \alpha_i$ = Absorción Existente en el recinto			121.969		161.479		218.186		342.928		211.467		219.288

Tabla 3.3 Resultados de la absorción existente en el auditorio Javier Barros Sierra.

Utilizando el volumen final del auditorio que es de aproximadamente 2810.16 m<sup>3</sup> y aplicando la ecuación de Sabine calculamos los tiempos de reverberación existente en el auditorio para seis diferentes frecuencias.

Desarrollando la ecuación para el valor de 121.869 Sabins a 125 Hz, tenemos:

$$Tr = 0.161(2810.16) / 121.869$$

$$Tr = 3.712 \text{ seg.}$$

De la misma manera se obtiene para las demás frecuencias, como se muestra en la tabla 3.4.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
Sabins = Absorción Existente en el recinto (en Sabins)	121.869	161.479	218.168	342.928	211.467	219.286
Tr existente (s)	3.712	2.80	2.07	1.862	2.13	2.063

Tabla 3.4 Tiempos de reverberación del auditorio (ver figura 3.3)

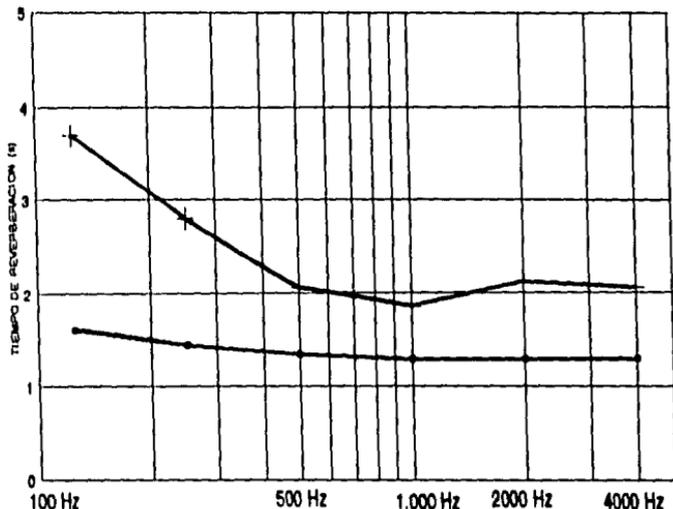
El criterio elegido para establecer el tiempo de reverberación existente en el auditorio como el adecuado para la aplicación, es el propuesto por el Dr. Harry F. Olson en su tratado "Music, Physics, and Engineering" ("Música, Física e Ingeniería). La gráfica correspondiente se muestra en la figura 3.4, donde se ha indicado el volumen final del auditorio. Dicha gráfica muestra los tiempos óptimos de reverberación en recintos para aplicaciones musicales. La siguiente tabla muestra los tiempos óptimos de reverberación obtenidos de dichas gráficas.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
Tr óptimo	1.482	1.333	1.3	1.25	1.25	1.25

Tabla 3.5 Tiempos óptimos de reverberación para el auditorio. (ver figura 3.3)

En la figura 3.3 se ha trazado los tiempos de reverberación existente y el tiempo óptimo, como se puede observar los tiempos de reverberación existentes en el auditorio son bastante mayores a los tiempos óptimos establecidos por las gráficas de la figura 3.4. Situación que nos permite establecer la existencia de un exceso de reverberación.

# TIEMPOS DE REVERBERACION



Tr optimo	1.6 s	1.45 s	1.35 s	1.3 s	1.3 s	1.3 s
Tr existente	3.7 s	2.8 s	2.07 s	1.86 s	2.13 s	2.06 s

FRECUENCIAS 125 Hz 250 Hz 500 Hz 1000 Hz 2000 Hz 4000 Hz

-- Tr optimo + Tr existente

Figura 3.3 Grafico comparativa

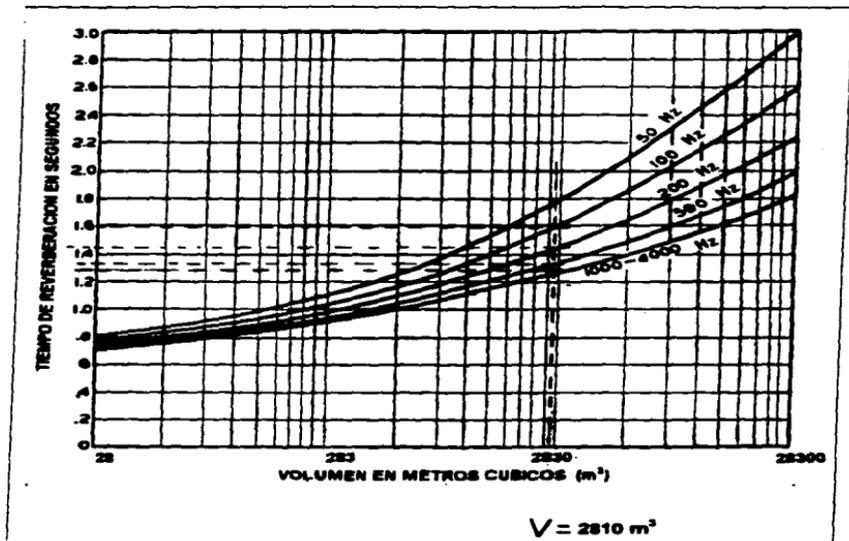


Figura 3.4 Tiempos óptimos de reverberación en función del volumen, para recintos cerrados dedicados a aplicaciones musicales.

Para corregir esos elevados tiempos de reverberación, se proponen dos alternativas como soluciones a dicha situación;

1. Controlar la reverberación existente a través de dispositivos electrónicos generadores de reverberación artificial.
2. Eliminar el exceso de reverberación por tratamiento acústico.

Dadas las condiciones presentadas para la aplicación del método como lo son:

- Función del recinto
- Volumen
- Temporalidad
- Costos de operación

Se optó por la primera alternativa que es la de controlar el tiempo de reverberación a través de medios electrónicos. Esta alternativa se desarrolla a partir del cálculo de potencia en el apartado 3.2.2.2.

Sin embargo también se desarrolla la segunda alternativa, teniendo como principal objetivo, el de proponer el material de acondicionamiento adecuado para llevar a cabo el ajuste del tiempo de reverberación, la cual se presenta a continuación:

#### 1.- Obtención de la absorción óptima para el recinto en cuestión.

De acuerdo a la ecuación de Sabine. Esto es:

$$Si \quad Tr = 0.161) V / \sum S_i \alpha_i$$

$$Entonces \quad (\sum S_i \alpha_i)_{opt} = 0.161(V)/(Tr)_{opt}$$

Donde:

$(Tr)_{opt}$  = Tiempo óptimo de reverberación en segundos (se obtienen de la gráfica de la figura 3.4)

V = Volumen final del recinto en metros cúbicos

$(\sum S_i \alpha_i)_{opt}$  = Absorción acústica óptima

Para nuestro caso y haciendo uso de los valores de tiempos óptimos de reverberación de la tabla 3.5, tenemos:

$$(\Sigma S_i \alpha_i)_{opt} = 0.161(2810.16)/(T_r)_{opt}$$

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
$T_r$ óptimo	1.6	1.45	1.35	1.3	1.3	1.3
$(\Sigma S_i \alpha_i)_{opt} =$ Absorción Opt.	281.65	311.88	333.86	347.6	347.6	347.6

Tabla 3.6 Absorción óptima para el auditorio Javier Barros Sierra.

### 2.- Determinación de la absorción adicional requerida.

Se obtiene de la siguiente forma:

Absorción adicional requerida = (Absorción óptima - Absorción existente)

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Absorción óptima	281.65	311.88	333.86	347.6	347.6	347.6
Absorción existente	121.869	161.479	218.155	242.928	211.467	219.286
Absorción adicional requerida	159.781	150.401	115.705	94.672	136.133	128.314

Tabla 3.7 Absorción adicional necesaria para un adecuado  $T_r$  en el auditorio.

### 3.- Selección de materiales adecuados para la absorción adicional.

Además de la selección del material adecuado para ajustar el tiempo de reverberación del auditorio, también se determina sobre que superficie dicho material debe ser colocado. La selección propuesta es: fibra de vidrio de 10 mm de espesor sobre la superficie de concreto de la pared localizada en la parte posterior del escenario (121.451m<sup>2</sup>) y la superficie correspondiente a madera de la pared posterior del auditorio (82.85 m<sup>2</sup>). La selección del material propuesto se determinó en base al comportamiento de su coeficiente de absorción con respecto a otros materiales. Las absorciones resultantes de la fibra de vidrio se muestran en la siguiente tabla:

Material Propuesto	Absorción del material propuesto a las frecuencias en (Hz)											
	125		250		500		1 k		2 k		4k	
	a	aB	a	aB	a	aB	a	aB	a	aB	a	aB
Fibra de vidrio 121.451m <sup>2</sup>	0.75	91.0	0.96	116.5	0.96	116.5	0.9	109.3	0.84	102.0	0.74	99.87
Fibra de vidrio 92.95 m <sup>2</sup>	0.75	62.13	0.96	79.53	0.96	79.53	0.9	74.5	0.84	69.69	0.74	81.27
Absorción propuesta	153.217		196.128		196.28		183.87		171.804		151.171	

Tabla 3.8 Absorción propuesta.

**4.- Cálculo de la absorción resultante con el material propuesto**

Se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Absorción final} = (\text{Absorción existente} - \text{Absorción de materiales sustituidos} + \text{Absorción propuesta})$$

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
Absorción existente	121.86	161.47	218.15	242.92	211.46	219.28
Absorción de materiales sustituidos	11.321	12.26	15.572	16.951	11.85	15.913
diferencia Absorción	110.54	149.21	202.58	225.97	199.61	203.37
Absorción propuesta	153.21	196.12	196.12	183.87	171.60	151.17
Absorción final	263.75	345.33	398.70	409.84	371.21	354.54

Tabla 3.9 Absorción resultante con el material propuesto.

**5.- Comparación del tiempo de reverberación óptimo y el tiempo de reverberación ajustado.**

Aplicando nuevamente la ecuación de Sabine y usando los valores de la absorción final se obtienen los tiempos de reverberación ajustado para cada una de las frecuencias.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
Absorción final	203.75	345.33	398.70	409.64	371.21	354.54

$$Tr_{de\ ajuste} = (0.161)(2810.16) / \text{absorción final}$$

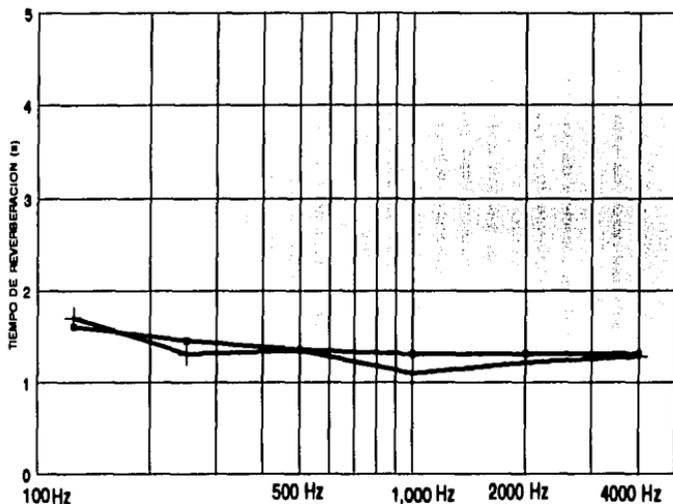
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
Tr óptimo	1.6 seg	1.45 seg	1.35 seg	1.3 seg	1.3 seg	1.3 seg
Tr de ajuste	1.7 seg	1.3 seg	1.34 seg	1.1 seg	1.21 seg	1.27 seg

Tabla 3.10 Tiempo de reverberación ajustado (Ver figura 3.5).

Es así entonces, que los resultados obtenidos en la tabla 3.10, para los tiempos de reverberación calculado ( $Tr_{de\ ajuste}$ ) y óptimo ( $Tr_{opt}$ ), son comparados en la gráfica de la figura 3.5 concluyendo que las consideraciones llevadas a efecto en la corrección acústica se acercan en buena proporción a los lineamientos marcados en el método.

A partir del cálculo de potencia comienza el desarrollo de la alternativa del control de la reverberación a través de dispositivos electrónicos.

# TIEMPOS DE REVERBERACION



Tr optimo	1.6 s	1.45 s	1.35 s	1.3 s	1.3 s	1.3 s
Tr ajustado	1.7 s	1.3 s	1.34 s	1.1 s	1.21 s	1.27 s

FRECUENCIAS 125 Hz 250 Hz 500 Hz 1000 Hz 2000 Hz 4000 Hz

○ Tr optimo + Tr ajustado

Figura 3.5 Grafico comparativa

### **3.1.2.2 Cálculo de potencia**

#### **3.1.2.2.1 Selección del tipo de sistema de sonorización y ubicación de los altavoces**

En sonorizaciones de conciertos musicales el tipo de sistema más utilizado es el concentrado con disposición estéreo. La principal razón de esta preferencia es que proporciona al oyente una sensación auditiva concordante con lo que está viendo en el escenario. Por ejemplo, si el oyente está viendo al vocalista de un grupo musical en el centro del escenario, el oyente deberá percibir auditivamente la voz de dicho cantante, a través del sistema de sonorización también en el centro.

La ubicación de los altavoces está en función del tipo de sistema de sonorización elegido y por las características arquitectónicas propias del recinto a sonorizar. Lo que se busca es que a el área de audiencia le llegue la mayor cantidad de sonido directo posible, lo cual se consigue ubicando dichos altavoces lo más prácticamente cerca a el área de audiencia. Con lo cual se evitan problemas innecesarios de reverberación y desperdicio de energía.

#### **3.1.2.2.2 Establecimiento del punto de manejo del rango dinámico**

El objetivo de este paso dentro del método es establecer un punto adecuado, dentro de el área de audiencia, para el manejo del rango dinámico en niveles de presión sonora al cual llamaremos punto de manejo o punto óptimo de control del sistema. Se busca una distribución uniforme en los niveles de presión sonora a través de toda el área de audiencia evitando en la medida de lo posible muy altos niveles para los primeros oyentes y que el nivel alcanzado a los escuchas más alejados no sea menor al ruido ambiental.

La mejor manera de obtener uniformidad en los niveles de presión sonora es ubicando el punto de referencia lo más céntricamente posible dentro del área de audiencia. El punto seleccionado como punto óptimo de control del sistema dentro del auditorio se marca con la letra A en el plano de la figura 3.6.

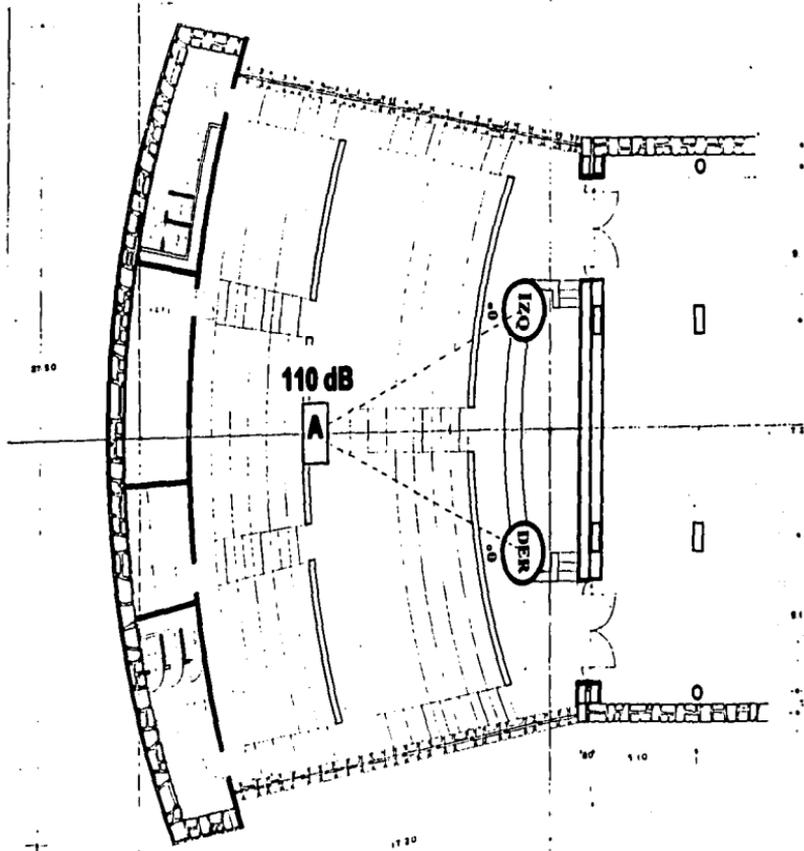


Figura.3.6 Ubicación del punto de referencia o punto de control ( punto A).

Las pérdidas al punto de referencia se calculan por cada altavoz, es decir calcular las pérdidas respecto al altavoz del lado izquierdo y después con el del lado derecho, por lo que en el punto A tenemos:

- Respecto al sistema del lado izquierdo

$d_0 = 1$  m, dato obtenido de las especificaciones del altavoz seleccionado

$d_1 = 11.5$  m

$$P_d = 20 \log (d_1 + d_0)$$

$$P_d = 20 \log (11.5 + 1)$$

$$P_d = 21.21 \text{ dB}$$

- Respecto al sistema del lado derecho

$d_0 = 1$  m

$d_1 = 11.5$  m, con el ejemplo se verá que colocar el punto de referencia simétricamente simplifica los cálculos.

$$P_d = 20 \log (d_1 + d_0)$$

$$P_d = 21.21 \text{ dB}$$

**3.1.2.2.5 Cálculo de pérdidas en el nivel de presión sonora debidas a la ubicación del oyente con respecto a el punto de referencia en función de cada altavoz.**

Las pérdidas en el nivel de presión sonora debidas a la ubicación se obtienen mediante la utilización de las gráficas de patrones de dispersión del sonido a diferentes frecuencias. Los datos que contienen las gráficas se establecen por el fabricante de los altavoces.

Los sistemas de altavoces están orientados de tal manera que los  $0^\circ$  de dispersión están dirigidos al punto de referencia. Por ser el punto de control y origen respecto a la cual se realizan los cálculos de los demás puntos, ver figura 3.6.

Entonces, de acuerdo a las gráficas, el punto A ubicado a 0° grados, no produce pérdidas, ya que es nuestro punto de partida, por lo que en el punto A tenemos:

Respecto al sistema del lado izquierdo.

$$\text{Grados} = 0$$

$$P_U = 0 \text{ dB}$$

Respecto al sistema del lado derecho

$$\text{Grados} = 0$$

$$P_U = 0 \text{ dB}$$

donde:

$$P_U = \text{Pérdidas por ubicación}$$

**3.1.2.2.6 Obtención de la ganancia necesaria para garantizar los niveles de presión sonora establecidos por el rango dinámico del sistema en el punto de referencia.**

De acuerdo al rango dinámico el valor máximo de nivel de presión sonora que nuestro sistema debe ser capaz de manejar es de 110 dB. Si partimos de que es suficiente un sistema con un altavoz por lado para garantizar dicho nivel, y considerando las pérdidas debidas a distancia y de ubicación, entonces la contribución de cada una de los altavoces cuando se le aplica 1 w eléctrico será de:

$$C_s = S - P_d - P_U$$

Donde:

$C_s$  = Contribución del sistema

$S$  = Sensibilidad especificada de los altavoces

$P_d$  = Pérdidas debidas a distancia

$P_U$  = Pérdidas por ubicación del punto con respecto al altavoz.

Por lo que:

- En el sistema izquierdo

$$S = 98 \text{ dB}$$

$$P_d = 21.21 \text{ dB}$$

$$P_U = 0 \text{ dB}$$

$$C_s = 98 - 21.21 - 0 = 76.78$$

$$C_s = 76.78 \text{ dB}$$

- Para el sistema derecho

$$S = 98 \text{ dB}$$

$$P_d = 21.21 \text{ dB}$$

$$P_u = 0 \text{ dB}$$

$$C_s = 98 - 21.21 = 76.78$$

$$C_s = 76.78 \text{ dB}$$

Para saber cual es el nivel alcanzado en el punto de referencia A con la contribución de cada uno de los sistemas se aplica la fórmula para sumar decibeles.

$$SPL_T = 10 \log (10^{98/10} + 10^{21.21/10} + \dots + 10^{0/10})$$

Para el punto A tenemos:

$$SPL_A = 10 \log (10^{76.78/10} + 10^{76.78/10}) = 79.78$$

$$SPL_A = 79.78 \text{ dB}_{SPL}$$

La ganancia del sistema se obtiene de la resta del nivel alcanzado en el punto A a el nivel máximo marcado por el rango dinámico. Por lo tanto la ganancia es:

$$G = 110 - 79.78 = 30.21$$

$$G = 30.21 \text{ dB}$$

### 3.1.2.2.7 Cálculo de la potencia eléctrica

Para obtener la potencia que nos garantice los niveles de presión deseados se utiliza la fórmula de ganancia expresada en decibeles relativa a niveles de potencia eléctrica, esto es:

$$G = 10 \log (W1 + W0)$$

Donde:

G = Ganancia en decibeles

W0 = Potencia de entrada en watts

W1 = Potencia de salida en watts

Para nuestro caso la incógnita a despejar en esta fórmula es W1, por lo que, despejando y aplicando antilogaritmos tenemos:

$$W1 = W0(10^{G/10})$$

W0 = Potencia de entrada obtenida de la especificación de sensibilidad multiplicada por el "n" número de altavoces utilizados.

$$= (n)(p) = (2)(1 \text{ w}) = 2 \text{ w}$$

G = La ganancia del sistema obtenida en el punto anterior (30.21dB)

$$W1 = 2 (10^{30.21/10})$$

$$W1 = 2099.99 \text{ watts}$$

Por lo que para garantizar los 110 dB <sub>SPL</sub> en el punto A se requiere alimentar los altavoces propuestos con 2100 watts. El altavoz seleccionado en el punto 3.2.2.2.3 soporta 450 watts de potencia, por lo que es necesario determinar el número total de altavoces que se requiere para distribuir la potencia calculada.

**3.1.2.2.8 Determinación del número de altavoces capaces de soportar la potencia que requiere el sistema para garantizar el manejo del rango dinámico establecido.**

Para determinar el número de altavoces necesarios, utilizamos el diagrama de flujo de la figura 3.7.

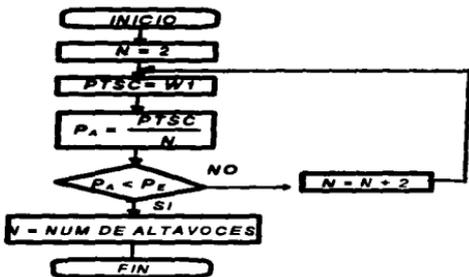


Figura 3. 7 Diagrama de flujo para determinar el número de altavoces que un sistema de sonorización requiere a partir de la potencia necesaria.

En donde:

$W1$  = La potencia eléctrica obtenida en el punto anterior (2099.99 watts)

$P_E$  = La potencia que soporta el altavoz = 450 watts

$P_A$  = Potencia por altavoz requerida

$N = (2, 4, 6, 8, \dots)$

Para nuestro sistema de sonorización tenemos que la potencia que es capaz de soportar el altavoz seleccionado es de 450 watts con picos instantáneos de hasta 1200 watts por lo que  $P_E = 450$  watts.

El diagrama de flujo se interpreta de la siguiente manera

- Con 1 altavoz por lado

$$N = 2$$

$$PTSC = 2100.99 \text{ Watts}$$

$$P_A = 2100.99/2 = 1050.50 \text{ Watts}$$

$$P_A > P_E$$

- Con 2 altavoces por lado

$$N = 4$$

$$P_A = 2100.99/4 = 525.25 \text{ Watts}$$

$$P_A > P_E$$

- Con 3 altavoces por lado

$$N = 6$$

$$P_A = 350.17 \text{ Watts}$$

$P_A < P_E$  cuando la potencia por altavoz requerida es menor que la potencia que soporta el altavoz, entonces el resultado es de:

$$N = 6 \text{ altavoces}$$

Por lo tanto nuestro sistema de sonorización requiere de 2 sistemas con 3 altavoces en cada lado.

A manera de comprobación, tenemos que la ganancia para cada uno de los altavoces es:

$$G = 10 \log (W1 + W0)$$

$$W0 = 1 \text{ watts}$$

$$W1 = 350.17 \text{ Watts}$$

$$G = 25.44 \text{ dB}$$

Lo que significa que el nivel generado por cada altavoz alimentado con 350.17 watts es de:

$$SPL_{PA} = 96 + 25.44 = 123.44$$

$$SPL_{PA} = 123.44 \text{ dB}$$

Por lo tanto el nivel generado por cada uno de los sistemas a 1 metro de distancia es:

- Para el sistema del lado izquierdo.

$$SPL_{Ti} = 10 \log ( 10^{123.44/10} + 10^{123.44/10} + 10^{123.44/10} ) = 128.21 \text{ dB}_{SPL}$$

- Para el sistema del lado derecho

$$SPL_{Td} = 10 \log ( 10^{123.44/10} + 10^{123.44/10} + 10^{123.44/10} ) = 128.21 \text{ dB}_{SPL}$$

El nivel de presión sonora que recibe el punto A es la contribución de los dos sistemas menos las pérdidas debidas a distancia y de ubicación.

- Contribución del sistema izquierdo:

$$C_i = 128.21 - 21.21 - 0 = 107 \text{ dB}_{SPL}$$

- Contribución del sistema derecho

$$C_d = 128.21 - 21.21 - 0 = 107 \text{ dB}_{SPL}$$

Por lo tanto el nivel total en el punto A es de:

$$SPL_A = 10 \log ( 10^{107/10} + 10^{107/10} )$$

$$SPL_A = 110 \text{ dB}_{SPL}$$

Resultado que coincide con el nivel del rango dinámico que se desea manejar en el punto de referencia ( punto A ).

Utilizando las características de dispersión proporcionadas por las especificaciones altavoz podemos obtener los niveles de presión sonora alcanzados en cualquier otro punto dentro del área de audiencia para las diversas frecuencias a las que se nos proporcionan dichas características de dispersión.

Se puede fijar a otros puntos de análisis y determinar su nivel de presión sonora, estos puntos se muestran en la figura 3.8.

Para mostrar que se puede obtener el nivel de presión sonora para cualquier punto dentro del área de audiencia, se analiza el punto E.

a) Cálculo de pérdidas debidas a distancia

Para el sistema izquierdo

$$P_d = 20 \log (d1 + d0)$$

$$P_d = 20 \log (6.5 + 1)$$

$$P_d = 16.26 \text{ dB}$$

Para el sistema derecho

$$P_d = 20 \log (d1 + d0)$$

$$P_d = 20 \log (11 + 1)$$

$$P_d = 20.83 \text{ dB}$$

b) Obtención en los patrones de dispersión del nivel generado a los grados a los que se encuentra el punto de análisis con respecto al punto de referencia.

Debido que los sistemas de altavoces están orientados de tal manera que los 0° de dispersión están dirigidos al punto de referencia, es necesario obtener el nivel generado por el sistema a los grados a los que se encuentra el punto de análisis con respecto al punto de referencia (Punto A) a la frecuencia deseada (en este caso a 1 kHz) para a ese nivel restarle las pérdidas debidas a distancia por lo tanto:

Para el sistema izquierdo

$$\text{Grados} = 330^\circ$$

$$P_u = 5 \text{ dB}$$

$$C_i = 128.21 - 5 - 16.26$$

$$C_i = 106.85 \text{ dB}_{\text{ref}}$$

Para el sistema derecho

$$\text{Grados} = 330^\circ$$

$$P_u = 5 \text{ dB}$$

$$C_D = 128.21 - 5 - 20.83$$

$$C_D = 102.38 \text{ dB}_{\text{ref}}$$

c) Obtener el nivel de presión sonora total en el punto de análisis.

El nivel total en el punto será la suma de la contribución de cada uno de los sistemas, esto es:

$$SPL_E = 10 \log ( 10^{108.88/10} + 10^{102.38/10} )$$

$$SPL_E = 108.18 \text{ dB}_{AEL}$$

Los datos presentados en la tabla 3.11 nos permite comprobar la uniformidad en niveles de presión sonora dentro del área de audiencia y que en ninguno de los puntos analizados se rebasa el nivel del umbral del dolor (120 dB<sub>AEL</sub>).

Punto de Análisis	Distancia del punto con respecto a los sistemas (m)		Angulo con respecto al punto A		Nivel de presión sonora (dB <sub>AEL</sub> ) proporcionado por ambos sistemas a las frecuencias de				
	S Izq	S der	S Izq	S der	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Punto A	11.5	11.5	0°	0°	110	110	110	110	110
B	5	5	33°	327°	118.41	118.68	114.76	111.18	111.18
C	4.5	12.5	270°	330°	105.88	102.88	104.88	98.24	99.32
D	12	4	80°	90°	107.03	108.88	102.75	98.24	99.40
E	6.5	11	330°	330°	114.84	108.24	110.24	108.14	108.14
F	16	10	35°	55°	108.17	108.88	105.43	101.89	101.89
G	18	18	355°	8°	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13
H	15	19.5	315°	335°	104.28	100.24	102.07	98.07	97.28
I	19.5	15	25°	45°	105.07	105.84	104.27	99.27	102.10
J	15.5	17	340°	358°	107.02	108.88	108.80	105.84	105.84
K	4	4	70°	285°	98.84	98.84	97.8	92.02	96.25
L	4.5	4.5	90°	265°	98.83	98.83	92.35	82.6	85.6

Tabla 3.11 Niveles de presión sonora para diversos puntos dentro del área de audiencia.( Ver figura 3.8 )

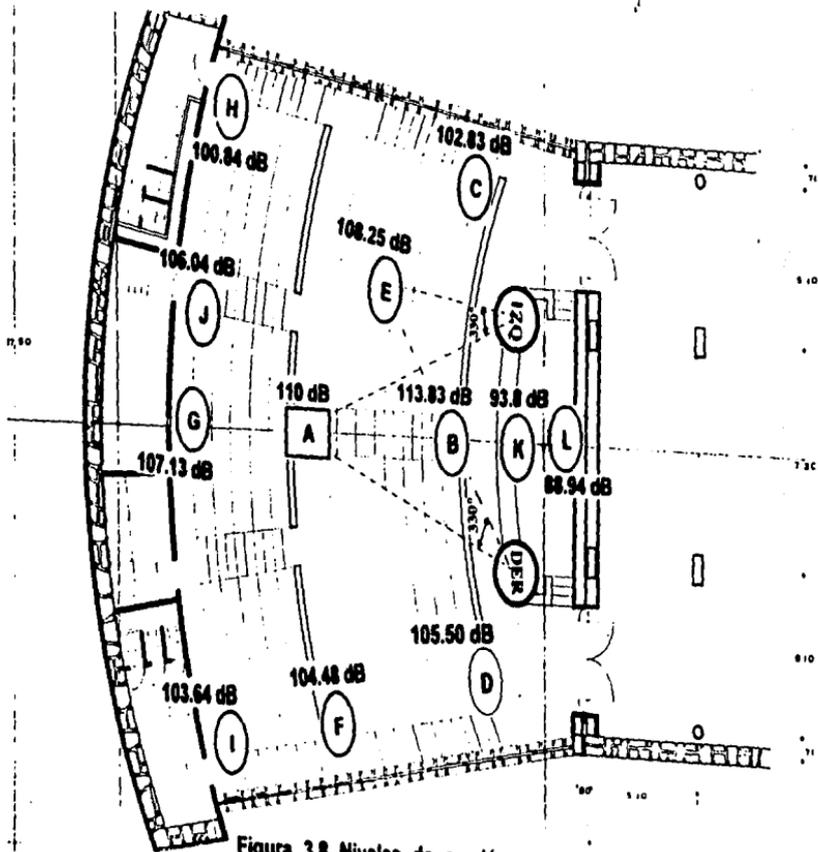


Figura 3.8 Niveles de presión sonora alcanzados en diferentes puntos dentro del área de audiencia. Cálculos realizados a la frecuencia de 1000 Hz.

### **3.1.2.3 Selección de equipo para el sistema de sonorización propuesto.**

La presente sección esta compuesta de la descripción de las especificaciones que se deben tomar en cuenta para la selección del equipo electrónico que componen a un sistema de sonorización así como la relación de interconexión del mismo equipo para el sistema que ejemplifica el método propuesto, ver figura 3.9 y tabla 3.19 de las páginas 175 y 178 respectivamente.

#### **Altavoces**

Además de las características de sensibilidad y respuesta en frecuencia de los altavoces, necesariamente empleadas para el cálculo de potencia del sistema, también se debe tener en cuenta las especificaciones de patrones de cobertura, impedancia, y la capacidad de potencia manejada por el altavoz.

La especificación de respuesta en frecuencia nos indica el rango de frecuencias que el sistema de altavoces es capaz de reproducir. El valor debe venir acompañado por la tolerancia, el valor aceptable para esta última en sistemas profesionales es de  $\pm 3$  dB.

La sensibilidad nos indica el nivel de presión sonora que un sistema de altavoces es capaz de producir cuando es alimentado por determinada potencia. El valor de la sensibilidad en sistemas profesionales debe ser especificado a un watt y a un metro de distancia (1 w / 1 m). La sensibilidad es confundida frecuentemente con la eficiencia del sistema de altavoces hay que recordar que la eficiencia es el porcentaje de la potencia acústica total radiada en todas direcciones con respecto a una potencia de entrada. Si dos sistemas tienen la misma sensibilidad será más eficiente aquel que tenga una dispersión mayor.

La especificación de potencia manejada por el altavoz nos indicara la cantidad de potencia de amplificación que el altavoz puede soportar sin peligro de ser dañada. Las especificaciones del fabricante nos deben indicar la capacidad del altavoz para:

- Potencia continua o potencia promedio
- Potencia de programa.
- Potencia pico

La potencia continua, algunas veces incorrectamente llamada potencia rms, nos indica la potencia promedio disipada en el altavoz, debida muy frecuentemente a una onda senoidal. Representa una condición que resulta en el máximo calentamiento de la bobina.

La potencia de programa es establecida en función de señales de onda complejas que simulan programas musicales. Esta potencia siempre debe ser mayor a la especificación de potencia continua. Desafortunadamente no se utilizan señales estandarizadas de prueba, por lo que las especificaciones de diferentes fabricantes difícilmente pueden ser comparadas directamente.

La potencia pico nos indica los picos de potencia instantáneos que el altavoz es capaz de soportar.

Existe otra manera de especificar esta potencia esto es :

- La potencia manejable EIA

Esta norma establece los niveles de potencia soportados por un altavoz utilizando una señal estandarizada por la Asociación de Industrias Electrónicas (Electronic Industries Association EIA). Dicha norma proporciona tanto el nivel promedio, el cual prueba las capacidades térmicas del altavoz, y un nivel pico de 6 dB por encima del nivel promedio.

El valor de la potencia manejada por el altavoz nos permitirá seleccionar el amplificador más adecuado para no dañar a los altavoces.

La impedancia del altavoz nos indica la impedancia mínima que el altavoz presentará a el amplificador. En sistemas de altavoces para audio profesional el valor de impedancia más comúnmente encontrado es de 8 ohms.

Los patrones de dispersión son una manera de indicarnos las características direccionales de un altavoz . Es recomendable que dentro de las especificaciones vengan incluidos los patrones de dispersión para diversas frecuencias. De tales especificaciones se obtiene la de los ángulos de dispersión los cuales generalmente nos indican a que ángulo el nivel de el sistema disminuye 6 dB.

Las principales marcas disponibles en el mercado y que se localizaron en sistemas de diversos grupos musicales son: Cerwin-Vega, JBL y Yamaha.

El altavoz seleccionado para el sistema de sonorización propuesto, es el modelo PS-15F de la marca Cerwin-Vega. En la tabla 3.12 se muestra sus valores característicos, así como valores recomendables en la selección de altavoces. La cantidad de altavoces requeridas para el sistema se encuentran en la tabla 3.18 y para la relación de interconexión ver la figura 3.9 y tabla 3.19.

ESPECIFICACION	RECOMENDADO	SELECCIONADO
Sensibilidad	> 93 dB	96 dB
Respuesta en frecuencia	40 Hz - 16 KHz	50 Hz - 20 KHz
Potencia manejada	> 350 Watts	450 Watts
Impedancias	8 Ohms	8 Ohms

Tabla 3.12 Valores característicos de los altavoces seleccionados para el sistema de sonorización del método propuesto.

#### **Amplificadores.**

La selección de los amplificadores adecuados para un sistema de sonorización esta directamente relacionada con la capacidad de potencia de los altavoces utilizados para el cálculo de la potencia eléctrica necesaria para el sistema. Para determinar cuales son los amplificadores adecuados para los altavoces seleccionados se debe tener presente:

- Que la capacidad de potencia del amplificador debe ser mayor al valor de potencia por altavoz obtenida en el punto 3.2.2.7.
- Que la capacidad de potencia del amplificador debe ser como máximo 2 veces el valor de la potencia promedio que los altavoces utilizados son capaces de soportar.
- Que sean capaces de manejar las impedancias ofrecidas por los altavoces a utilizar.

Las especificaciones de importancia para los amplificadores son:

- La respuesta en frecuencia

En el caso particular de los amplificadores la respuesta en frecuencia debe ser extremadamente plana con un ancho de banda mucho mayor al del espectro de audio, generalmente esta especificada a 1 watt de salida y a determinada impedancia de carga.

- Nivel de potencia de salida

Este valor debe ser especificado indicando la impedancia de carga, la distorsión y el ancho de banda.

- El ancho de banda de potencia

Esta especificación es una medida de la capacidad del amplificador de reproducir alta potencia de salida sobre un amplio rango de frecuencia y nos define el rango de frecuencia a través del cual el amplificador reproduce al menos la mitad de su potencia especificada antes de que se sature. Es conveniente que este rango sea mayor al de la respuesta en frecuencia.

- Slew rate

Esta especificación nos indica la capacidad del amplificador para reproducir con precisión cambios bruscos que se presenten en la entrada y a la salida del mismo. Se especifica en volts por microsegundos. A mayor potencia del amplificador mayor el valor del slew rate, para amplificadores menores o iguales a 100 w se considera como bueno un valor de 10 volts/ $\mu$ seg y para amplificadores mayores a 200 watts el slew rate deberá ser de al menos 30 volts/mseg.

- Factor de amortiguamiento

El factor de amortiguamiento de un amplificador es igual a la impedancia de carga (impedancia del sistema de altavoces conectado al amplificador) entre la impedancia de salida del amplificador. Un amplificador con alto factor de amortiguamiento ejerce mejor control sobre el movimiento del diafragma de el altavoz, por lo que mejora la calidad del sonido. Valores mayores a 50 son considerados aceptables.

Las marcas existentes en el mercado son: Crown, QSS, Peavey, Carver, Yamaha. Los amplificadores de potencia seleccionados para el sistema de sonorización propuesto son los siguientes:

Para los altavoces el modelo P2350 y para los monitores el modelo P216, ambos de la marca Yamaha. Las características de éstos amplificadores se muestran en la tabla 3.13. La cantidad de amplificadores requeridos para el sistema en cuestión se encuentran en la tabla 3.18 y la relación de interconexión en la figura 3.9 y tabla 3.19.

ESPECIFICACIÓN	RECOMENDADO		SELECCIONADO	
	PARA EL ALTAVOZ	PARA EL MONITOR	PARA EL ALTAVOZ	PARA EL MONITOR
Capacidad de Potencia	> 450 Watts	> 200 Watts	500 Watts	250 Watts
Respuesta en Frecuencia	20 Hz - 20 KHz			
Impedancia de salida	8 Ohms	8 Ohms	8 Ohms	8 Ohms
Slew Rate	> 30 v/ $\mu$ seg	> 30 v/ $\mu$ seg	40 v/ $\mu$ seg	50 v/ $\mu$ seg
Factor de amortiguamiento	> 50	> 50	> 100	> 100

Tabla 3.13 Valores característicos de los amplificadores seleccionados para el sistema de sonorización del método propuesto.

### Consolas mezcladoras

La selección de una consola dentro de un sistema de sonido de refuerzo sonoro para un evento musical esta determinada principalmente por el número de elementos del grupo musical, de los instrumentos musicales que los integrantes utilizan, para garantizar que la consola dispone de el número suficiente de entradas para cada una de las voces e instrumentos que el grupo maneja.

Se debe poner especial atención en el número de canales de entrada disponibles, el número de canales de salida, el número de canales para envíos a efectos, la disponibilidad de filtros para cada una de las entradas, la posibilidad de disponer de fuentes de alimentación para los micrófonos de condensador, el tipo de conectores disponibles tanto a las entradas como a las salidas, si se dispone de controles de ganancia y atenuadores y si además se cuenta con control para manejar

controles de ganancia y atenuadores y si además se cuenta con control para manejar la distribución de sonido estéreo, misma que es ampliamente utilizada en sistemas de refuerzo sonoro para eventos musicales.

En aplicaciones profesionales (Sala Nezahualcoyotl, Palacio de los Deportes, Auditorio Nacional) nosotros encontramos que la marca más utilizada es Yamaha. En aplicaciones a nivel de grupos populares las marcas predominantes son: Yamaha y Peavey. Otras marcas que se encuentran en el mercado son: Mackie y Soundcraft.

Con respecto a las especificaciones de los fabricantes es importante considerar que estas varían en función de diversas situaciones por lo que para llevar una adecuada selección lo mejor es que la persona encargada con dicha tarea trate de operar diversas consolas para familiarizarse con su funcionamiento y entonces tomar una buena decisión. El modelo de consola seleccionado para el sistema de sonorización propuesto es el MC1604 II de la marca Yamaha cuyas características se muestran en la tabla 3.14.

La cantidad de consolas mezcladoras requeridas para el sistema de sonorización propuesto se encuentra en la tabla 3.18 y para la relación de interconexión ver la figura 3.9 y tabla 3.19.

ESPECIFICACION	RECOMENDABLE	SELECCIONADA
Número de canales	> 14	16
Respuesta en frecuencia	20 Hz - 20 KHz	20 Hz - 20 KHz
Conectores de E/S	XLR-3 y Plug	XLR-3 y Plug
Niveles de señal de E/S	Compatibles	Varios
Impedancias de E/S	Compatibles	Varios

Tabla 3.14 Valores característicos de la consola mezcladora seleccionado para el sistema de sonorización del método propuesto.

### **Ecuualizadores**

Los ecualizadores son elementos prácticamente indispensables dentro de todo sistema de sonido, son utilizados principalmente para mejorar la inteligibilidad dentro del sistema de sonido y para minimizar la realimentación

De los diversos tipos de ecualizadores existentes (paramétricos, gráficos digitales y paragráficos), los que más se utilizan son los gráficos y se recomiendan los de tercios de octava de 31 bandas con niveles de distorsión muy bajos, bajo nivel de ruido y con tipos de entrada y salida balanceadas. El tomar en cuenta los niveles que maneja con relación a los niveles de la consola a la que serán conectados nos garantiza la ausencia de distorsión. El ecualizador seleccionado para nuestro caso es el modelo Q2031A de la marca Yamaha, sus características se muestran en la siguiente tabla 3.15.

La cantidad de ecualizadores requeridas para el sistema de sonorización propuesto se encuentra en la tabla 3.18 y para la relación de interconexión ver la figura 3.9 y tabla 3.19.

<b>ESPECIFICACION</b>	<b>RECOMENDABLE</b>	<b>SELECCIONADO</b>
Tipo y Número de bandas	Gráfico de 31 bandas	gráfico de 31 bandas
Respuesta en frecuencia	20 Hz - 20 KHz	20 Hz - 20 KHz
Conectores de E/S	XLR-3 y Plug	XLR-3 y Plug
Niveles de señal E/S	Compatibles	Varios
Impedancias de E/S	Compatibles	Varios

**Tabla 3.15** Valores característicos del Ecualizador seleccionado para el sistema de sonorización del método propuesto.

### **Procesador de efectos**

En la sonorización de eventos musicales dentro de determinados recintos, los ingenieros de sonido no disponen del tiempo suficiente para determinar el tiempo de reverberación y muchos menos para llevar a cabo un tratamiento acústico, es por eso que se desarrollaron dispositivos para manipular la reverberación a través de medios electrónicos, de ahí la necesidad de que nuestro sistema de sonido cuente con un generador de reverberación como procesador de efectos.

Las características deseables para un generador son: que los niveles de entrada y salida sean compatibles con los niveles de la consola mezcladora, que el rango de frecuencia sea de 20 Hz - 20 kHz, que disponga de salida estéreo debido a nuestro tipo de sistema de distribución del sonido.

En sistemas de sonido en operación la marca más comúnmente encontrada fue Yamaha. Las otras marcas disponibles en el mercado son: Digitec, Lexicon y Alesis.

Para nuestro sistema de sonorización se ha seleccionado el generador de reverberación modelo SPX990 de la marca Yamaha. Las características de este procesador se muestran en la siguiente tabla 3.16.

La cantidad de generadores de reverberación requeridas para el sistema de sonorización propuesto se encuentra en la tabla 3.18 y para la relación de interconexión ver la figura 3.9 y tabla 3.19.

<b>ESPECIFICACION</b>	<b>RECOMENDABLE</b>	<b>SELECCIONADO</b>
Respuesta en frecuencia	20 Hz - 20 KHz	20 Hz - 20 KHz
Conectores de E/S	XLR-3 y Plug	XLR-3 y Plug
Niveles de señal de E/S	Compatibles	Varios
Impedancias de E/S	Compatibles	Varios

**Tabla 3.16** Valores característicos del generador de reverberación seleccionado para el sistema de sonorización del método propuesto.

### Monitores

Los monitores deben ser de forma tal que no obstruyan la vista de la audiencia, contar con las siguientes características: alta sensibilidad, buena respuesta en frecuencia y adecuado control de dispersión vertical. Las marcas disponibles en el mercado nacional son iguales a las encontradas para los altavoces. Los monitores seleccionados para nuestro sistema de sonorización son de la marca Cerwin-Vega, modelo SM-15B, sus valores característicos se muestran en la tabla 3.17. El número de monitores requeridos para el sistema de sonorización propuesto se encuentra en la tabla 3.18 y para la relación de interconexión ver la figura 3.9 y tabla 3.19.

ESPECIFICACION	RECOMENDADO	SELECCIONADO
Sensibilidad	> 93 dB	102 dB
Respuesta en frecuencia	40 Hz - 16 KHz	80 Hz - 16 KHz
Potencia manejada	< Potencia del Amplificador	200 Watts
Impedancia	8 Ohms	8 Ohms

Tabla 3.17 Valores característicos de los monitores seleccionados para el sistema de sonorización del método propuesto.

### Cables

Los elementos básicos de interconexión dentro de los sistemas de sonido son:

- Cajas multicontacto
- Cable múltiple.
- Cables de nivel de línea con conectores terminales de diversos tipos y de diversas longitudes.
- Cajas directas para ajustes de impedancia.
- Cables para conexiones de altavoces.

El cable múltiple se utiliza para evitar el tendido de varios cables sobre grandes distancias (generalmente las conexiones existentes entre el control central y el escenario). Los hay en grupos de 8 a 24 pares de cables blindados. El más recomendable es con terminación multiterminal para acoplarlos a las cajas multicontacto. Sin embargo es muy difícil de localizarlos en el mercado.

En cables para nivel de línea se recomienda utilizar cables con blindaje trenzado, con bajo valor de capacitancia por metro, de calibre 24 o 26 AWG con aislante entre conductores de gaulcho o vinil. El mejor material conductor para aplicaciones de audio es una aleación de cobre y bronce. Las longitudes más comúnmente encontradas para cables de nivel de línea son: 1.5, 5, 10, 15 y 20 metros.

Las consideraciones para la selección de cables para altavoces son considerablemente diferentes debido a que se manejan señales de diferentes niveles. Los calibres más utilizados en cable para altavoces se encuentran comprendidos entre 18 y 10 AWG, pero para sistemas de audio profesional se utiliza cable de calibre 16 para niveles medios y bajos y distancias cortas. No se recomienda el uso de cables trenzados. Las cajas directas se utilizan para conectar las salidas no balanceadas de la guitarra y del bajo eléctrico a las entradas balanceadas de la consola mezcladora.

En la tabla 3.18 se lista el equipo necesario para nuestra aplicación y en la tabla 3.19 se indica la relación de interconexión entre los elementos del sistema de sonorización.

La figura 3.9 muestra el diagrama de conexión de los componentes del sistema de sonido para la sonorización del grupo musical de rock en el auditorio Javier Barros Sierra.

CANTIDAD	EQUIPO	MODELO	MARCA
6	Sistema de altavoces	PS-15F	Cerwin-Vega
1	Consola Mezcladora	MC1604-II	Yamaha
4	Ecualizadores	Q2031A	Yamaha
6	Amplificadores/altavoces	P2350	Yamaha
2	Amplificadores/monitor	P216	Yamaha
1	Generador de reverberación	SPX990	Yamaha
4	Monitores	SM-15B	Cerwin-Vega
2	Micrófono/solista	SM-58	Shure
1	Micrófono/Bombo	SM-91A	Shure
3	Micrófono/Tom y Terola	SM-57	Shure
1	Micrófono/contratiempo	BETA 57	Shure
2	Micrófono/platillos	SM-51	Shure
3	Cajas directas		
1	Cable múltiple		
2	Cajas multicontacto		
20	Cable 5m, XLR-H / XLR-M		
30	Cable 1.5m, XLR-H / XLR-M		
5	Cable 5m, Plug / Plug		
2	Cable 20m, P.E. / Plug		
2	Cable 1.5m Plug / Plug		
6	Cable 5 m P.E. / Neutrik 2		

**Tabla 3.18** Equipo requerido para el sistema de sonorización propuesto para el auditorio Javier Barros Sierra.

Además del equipo propio para la sonorización se recomienda el siguiente equipo de prueba y medición, adecuadamente calibrados:

- Multímetro
- Generador de señales
- Generador de ruido rosa
- Decibelímetro
- Analizador de espectros en tiempo real de tercios de octava.

No.	ORIGEN	DESTINO	LONG.	TIPO CONECTOR
1	Mic. vocalista 1	Caja múltiple C1	5 m	XLR-H / XLR-M
2	Mic. vocalista 2	Caja múltiple C2	5 m	XLR-H / XLR-M
3	Mic. Bombo	Caja múltiple C3	5 m	XLR-H / XLR-M
4	Mic. Tom piso	Caja múltiple C4	5 m	XLR-H / XLR-M
5	Mic. Tom aire	Caja múltiple C5	5 m	XLR-H / XLR-M
6	Mic. Tarola	Caja múltiple C6	5 m	XLR-H / XLR-M
7	Mic. Platillo 1	Caja múltiple C7	5 m	XLR-H / XLR-M
8	Mic. Platillo 2	Caja múltiple C8	5 m	XLR-H / XLR-M
9	Mic. contratiempo	Caja múltiple C9	5 m	XLR-H / XLR-M
10	Teclado	Caja directa 1	5 m	Plug / Plug
11	Caja directa 1	Caja múltiple C10	5 m	XLR-H / XLR-M
12	Guitarra	Caja directa 2	5 m	Plug / Plug
13	Caja directa 2	Caja múltiple C11	5 m	XLR-H / XLR-M
14	Bajo	Caja directa 3	5 m	Plug / Plug
15	Caja directa 3	Caja múltiple C12	5 m	XLR-H / XLR-M
16	Caja múltiple C21	IA P2350 (L)	5 m	XLR-H / XLR-M
17	Caja múltiple C23	IA P2160 (BB)	5 m	XLR-H / XLR-M
18	Caja múltiple C24	IA P2160 (GT)	5 m	XLR-H / XLR-M
19	OM Amp. 2350 1	Altavoz PS-15F 1L	5 m	P E / Neutrik
20	OM Amp. 2350 2	Altavoz PS-15F IR	5 m	P E / Neutrik
21	OM Amp. 2160 1	Monitor SM-15B 1	5 m	P E / Plug
22	OM Amp. 2160 2	Monitor SM-15B 3	5 m	P E / Plug
23	Monitor SM-15B 1	Monitor SM-15B 2	5 m	Plug / Plug
24	Monitor SM-15B 3	Monitor SM-15B 4	5 m	Plug / Plug
25	Caja múltiple C22	IA P2350 (R)	5 m	XLR-H / XLR-M
26	OCHA Q2031A1	CMCC C23	1.5 m	XLR-H / XLR-M
27	OCHB Q2031A1	CMCC C24	1.5 m	XLR-H / XLR-M
28	AUXO1 MC2404II	ICHA Q2031A1	1.5 m	XLR-H / XLR-M
29	AUXO2 MC2404II	ICHB Q2031A1	1.5 m	XLR-H / XLR-M
30	OR MC2404II	ICHB Q2031A2	1.5 m	XLR-H / XLR-M
31	OL MC2404II	ICHA Q2031A2	1.5 m	XLR-H / XLR-M
32	CMCC C1	ICH1 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
33	CMCC C2	ICH2 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
34	CMCC C3	ICH3 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
35	CMCC C4	ICH4 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
36	CMCC C5	ICH5 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
37	CMCC C6	ICH6 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
38	CMCC C7	ICH7 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
39	CMCC C8	ICH8 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M

Tabla 3.19 Relación de interconexión entre elementos del sistema (continua).

No.	ORIGEN	DESTINO	LONG.	TIPO CONECTOR
40	CMCC C9	ICH9 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
41	CMCC C10	ICH10 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
42	CMCC C11	ICH11 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
43	CMCC 12	ICH12 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
44	OCHA Q2031A2	CMCC C21	1.5 m	XLR-H / XLR-M
45	OCHB Q2031A2	CMCC 22	1.5 m	XLR-H / XLR-M
46	OL SPX990	ICH13 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
47	OR SPX990	ICH14 MC2404II	1.5 m	XLR-H / XLR-M
48	AUXO3 MC2404II	IL SPX990	1.5 m	Plug / Plug
49	AUXO4 MC2404II	IR SPX990	1.5 m	Plug / Plug
50	OG1 MC2404 II	ICHA Q2031A3	1.5 m	XLR-H / XLR-M
51	OG2 MC2404 II	ICHB Q2031A3	1.5 m	XLR-H / XLR-M
52	OG3 MC2404 II	ICHA Q2031A4	1.5 m	XLR-H / XLR-M
53	OG4 MC2404 II	ICHB Q2031A4	1.5 m	XLR-H / XLR-M
54	OCHB Q2031A3	CMCC 17	1.5 m	XLR-H / XLR-M
55	OCHA Q2031A3	CMCC 18	1.5 m	XLR-H / XLR-M
56	OCHB Q2031A4	CMCC 19	1.5 m	XLR-H / XLR-M
57	OCHA Q2031A4	CMCC 20	1.5 m	XLR-H / XLR-M
58	Caja múltiple C17	IA P2350 3L	1.5 m	XLR-H / XLR-M
59	Caja múltiple C18	IA P2350 3D	1.5 m	XLR-H / XLR-M
60	Caja múltiple C19	IA P2350 2L	1.5 m	XLR-H / XLR-M
61	Caja múltiple C20	IA P2350 2D	5 m	XLR-H / XLR-M
62	OM P2350 2L	Altavoz PS-15F 2L	5m	P. E. / Neutrik
63	OM P350 2D	Altavoz PS-15F2R	5m	P. E. / Neutrik
64	OM P2350 3L	Altavoz PS-15F 3L	5m	P. E. / Neutrik
65	OM P2350 3D	Altavoz PS-15 3R	5m	P. E. / Neutrik

Tabla 3.19 Relación de interconexión entre elementos del sistema.

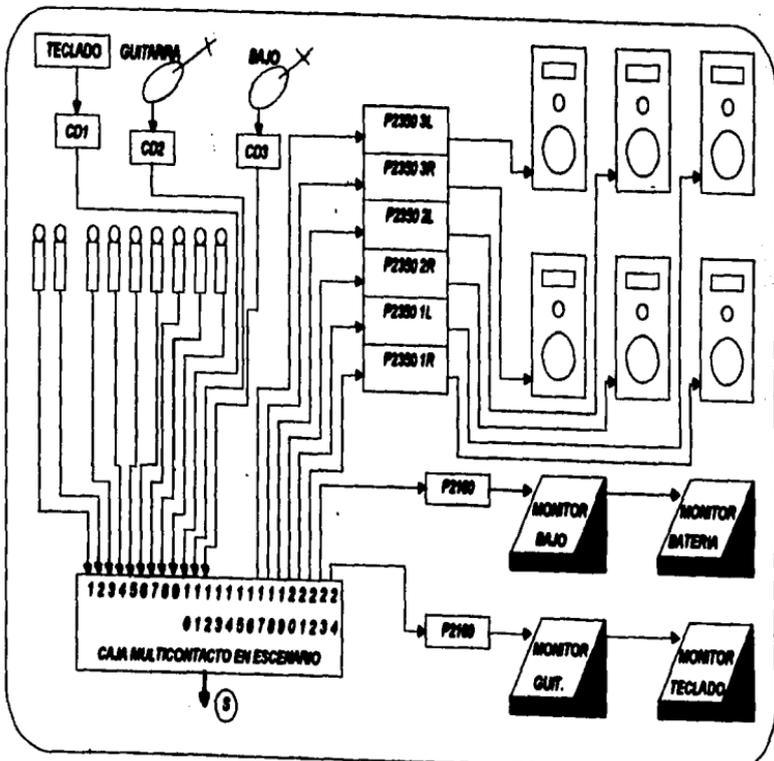


Figura 3.9 Sistemas de sonorización para evento musical en el auditorio Javier Barros Sierra (continua).

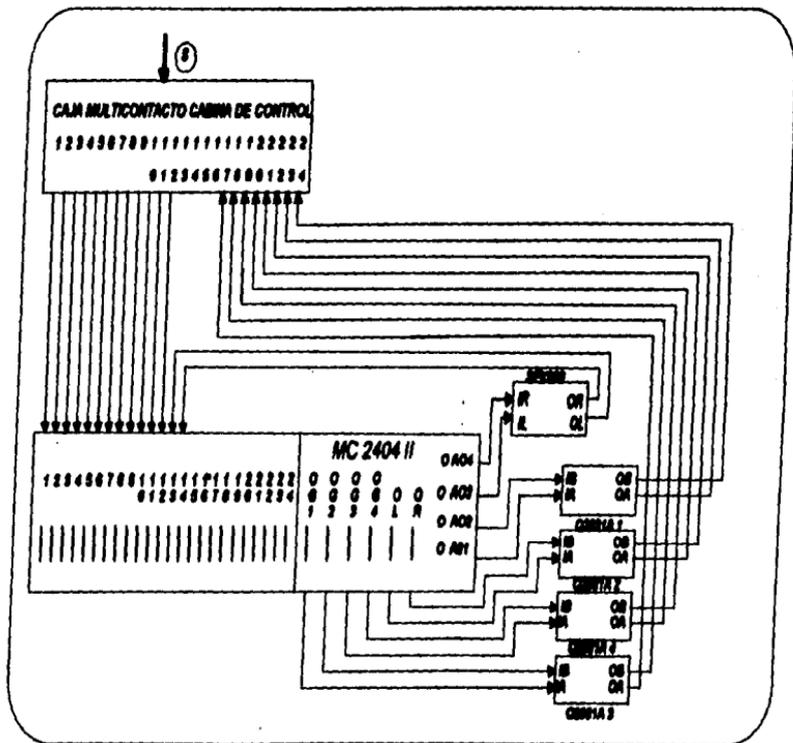


Figura 3.9 Sistema de sonorización para evento musical en el auditorio Javier Barco Sierra.

#### **3.1.2.4 Distribución del equipo de sonorización**

La adecuada posición de todos los elementos se traduce en una mejor calidad de sonido durante la etapa de operación, evita confusiones durante la etapa de conexión y facilita la búsqueda de fallas.

##### **Ubicación de altavoces**

La ubicación de los altavoces es un paso requerido durante el cálculo de potencia. Por lo tanto es ahí donde se determina su ubicación dentro del auditorio Javier Barros Sierra.

##### **Ubicación de la consola mezcladora**

Las consideraciones para la ubicación de la consola de mezcla (control central) para el auditorio Javier Barros Sierra son:

- El centro de control debe estar en un punto dentro de la zona de audiencia (Punto A, de la figura 3.6). El sonido percibido por la audiencia es resultado directo de los ajustes que el ingeniero de sonido realiza en el balance, nivel general y ecualización. Los ajustes mencionados están basados totalmente en lo que el operador percibe.
- Debe evitarse una ubicación demasiado cerca del escenario para evitar la influencia de los sonidos directos generados en el mismo. Además el nivel para dicha ubicación puede no ser el adecuado para las últimas posiciones en la zona de audiencia.

##### **Ubicación de los monitores.**

Los principales criterios para la ubicación de los monitores en el escenario del auditorio Javier Barros Sierra son:

- El intérprete debe quedar dentro del ángulo de dispersión del monitor.
- La ubicación del monitor debe estar lo más prácticamente cerca del intérprete.
- El monitor debe colocarse justamente en el área de máximo rechazo de los micrófonos cardioides.

### Ubicación de amplificadores

Se recomienda que en el escenario del Auditorio Javier Barros sierra los amplificadores se encuentren lo mas cerca posible a su correspondiente sistema de altavoces.

### Colocación de micrófonos para Instrumentos musicales

#### 1. Elementos que componen el juego de batería.

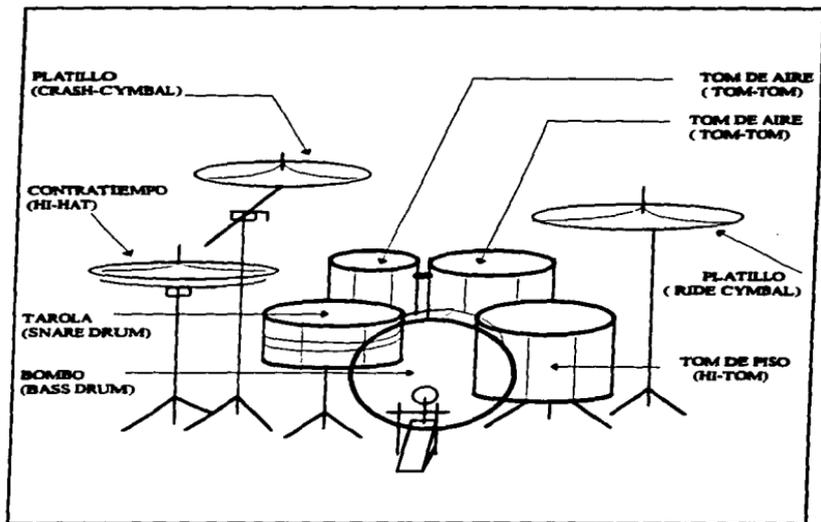
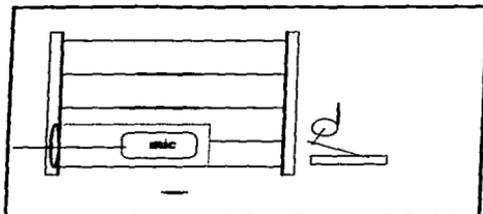


Figura 3.10. Juego de batería.

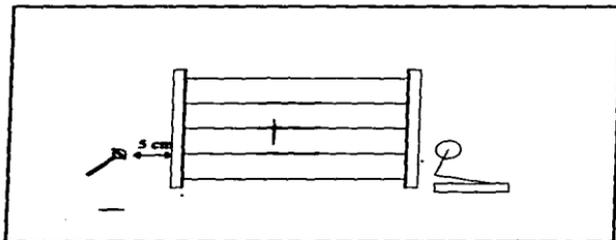
**a) Colocación de micrófonos para el tambor**



**Figura 3.11. Tambor con orificio**

- El micrófono se coloca insertándolo en el orificio de la parte delantera del tambor. Como se muestra en la figura 3.11.

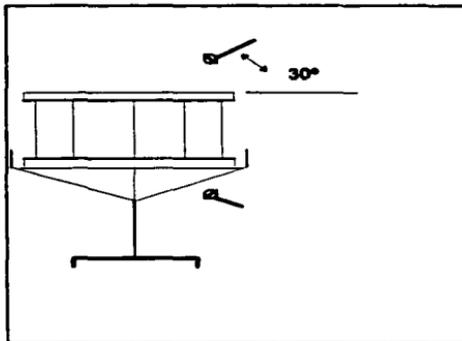
- Cuando el tambor no cuenta con orificio, se instala el micrófono a 5 cm de distancia y ligeramente hacia a un lado del centro del tambor. (Ver figura 3.12)



**Figura 3.12. Tambor sin orificio**

**b) Colocación de micrófono para la tarola**

- Se instala un micrófono en cada una de las caras de la tarola, en la parte superior y en la parte inferior. (ver figura 3.13)
- En la parte superior de la tarola se recomienda instalar el micrófono formando un ángulo de aproximadamente  $30^\circ$  grados con la superficie de golpeo y en un lugar ligeramente hacia a un lado del centro de la tarola.
- Debe cuidarse que no haya posibilidad que el micrófono sea golpeado por la baqueta.
- El micrófono para la parte inferior no es indispensable. Esa parte se puede cubrir con el mismo micrófono de la cara superior.

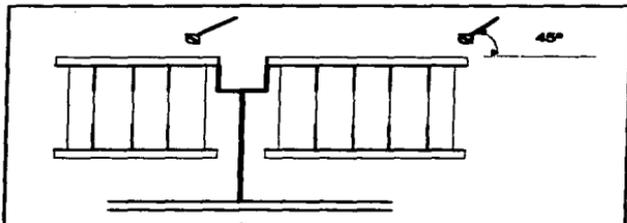


**Figura 3.13. Tarola**

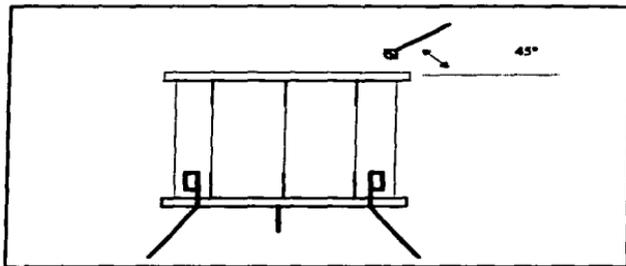
**C) Colocación de micrófonos para tom de aire y tom de piso**

-Es recomendable colocar el micrófono por la base de los Toms, esto permite una mayor libertad al baterista y evita que una baqueta pueda alcanzar algún micrófono.

- Se recomienda colocar el micrófono a unos 45° grados de la superficie de golpeo. Como se muestra en la figura 3.14 y 3.15.



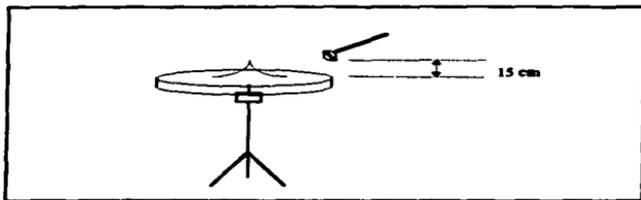
**Figura 3.14 Tom de aire**



**Figura 3.15. Tom de piso.**

**d) Colocación de micrófono para el Contratiempo.**

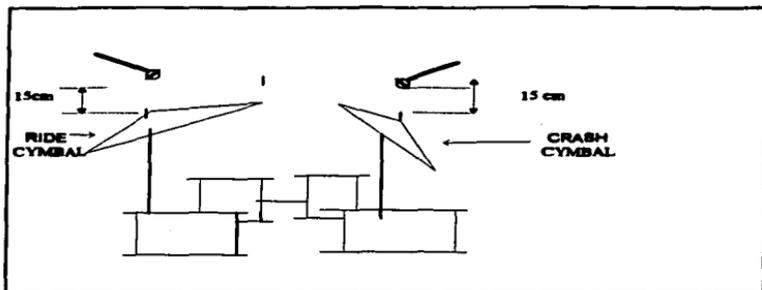
- El micrófono se debe colocar a unos 15 cm de distancia (ver figura 3.16)
- Tener cuidado que el micrófono no registre el sonido del aire que produce el instrumento.



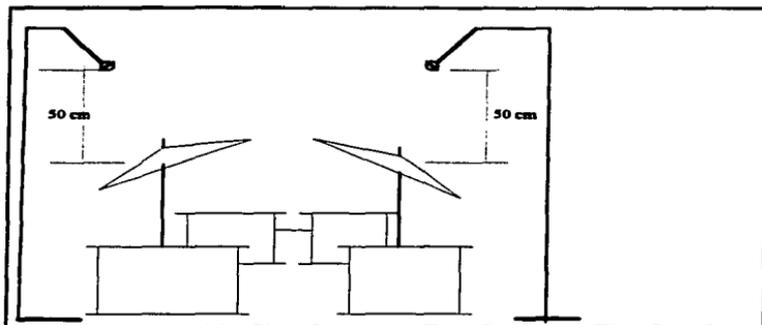
**Figura 3.16 Contratiempo.**

**E) Colocación de micrófonos para Platillos**

- Se instalan dos micrófonos, uno en cada lado, izquierda y derecha. (Figura 3.17)
- Se recomienda instalar los micrófonos a una distancia de aproximadamente 15 cm.
- No es muy usual, pero con frecuencia se utilizan dos micrófonos de tipo omnidireccional colocados a unos 2 o 3 de distancia con respecto al piso.(Figura 3.18).



**Figura 3.17. Platillos con microfonos en cada lado.**



**Figura 3.18. Micrófono ambiental para el juego de batería.**

#### F) Instalación de la guitarra eléctrica

- Normalmente se recoge el sonido por inyección directa a través de la caja de impedancias.(Figura 3.19)
- Algunas veces se recoge sonido del altavoz y se mezcla con el sonido de inyección directa.

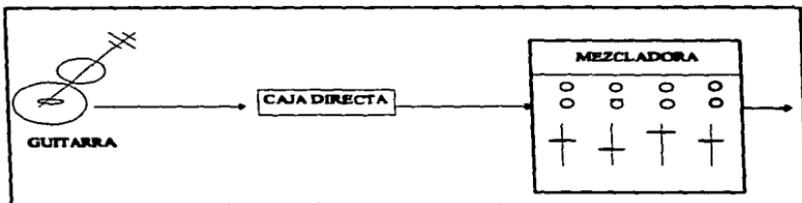


Figura 3.19. Conexión de la guitarra eléctrica a través de la caja directa.

#### G) Instalación del bajo eléctrico

- Normalmente se utiliza la señal inyectada directamente a través de la caja de impedancias.(Figura 3.20)
- Con frecuencia se utiliza un micrófono frente al altavoz del bajo y se mezcla con el sonido de inyección directa.

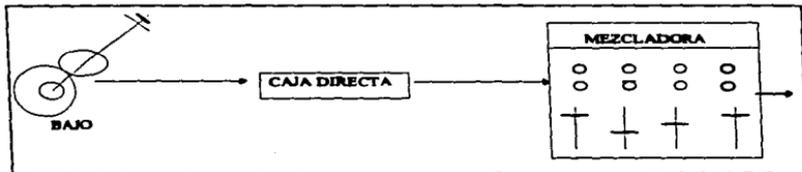


Figura 3.20 Conexión del bajo eléctrico a través de la caja directa

## H) INSTALACION DEL TECLADO

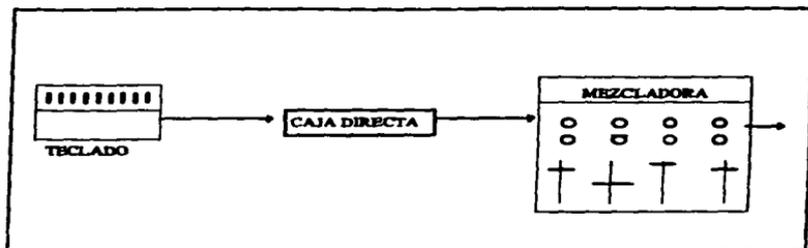


Figura 3.21 La señal del teclado es inyectado a la mezcladora a través de la caja directa.

INSTRUMENTOS	TIPO DE MICROFONO	MARCA	MODELO	VALORES CARACTERISTICOS DE LOS MICROFONOS			
				RESPUESTA EN FRECUENCIA	SENSIBILIDAD	DIRECTIVIDAD	IMPEDANCIAS DE SALIDA
VOZ SOLISTA	DINAMICO	SHURE	SM-58	80 - 18000 Hz	-75 dB (0.18 mV)	CARDIOIDE	180 OHMS
BOMBO	DINAMICO	SHURE	SM-91A	20 - 20000 Hz	-68 dB (0.33 mV)	SEMICARDIOIDE	180 OHMS
TOM DE AIRE	DINAMICO	SHURE	BETA-57	80 - 18000 Hz	-71.5 dB (0.27 mV)	SUPERCARDIOIDE	180 OHMS
TOM DE PISO	DINAMICO	SHURE	BETA-57	80 - 18000 Hz	-71.5 dB (0.27 mV)	SUPERCARDIOIDE	180 OHMS
TAROLA	DINAMICO	SHURE	SM-47	40 - 18000 Hz	-75.5 dB (0.17 mV)	CARDIOIDE	180 OHMS
CONTRATIEMPO	DINAMICO	SHURE	BETA-57	80 - 18000 Hz	-71.5 dB (0.27 mV)	SUPERCARDIOIDE	180 OHMS
PLATILLOS	DINAMICO	SHURE	SM-41	20 - 20000 Hz	-68 dB (0.33 mV)	CARDIOIDE	180 OHMS

Tabla 3.20 Características de los micrófonos seleccionados para el sistema de sonorización propuesto para el auditorio Javier Barros Sierra. (Ver apéndice "c" página 203)

### **3.1.3 Etapa de operación del sistema de sonorización.**

En esta sección se plantean lineamientos de operación para el sistema de sonorización propuesto. La instalación del sistema se lleva a cabo atendiendo las sugerencias de distribución planteadas en la sección 3.1.2.3 y de la información de interconexión contenida en la figura 3.9 y de la tabla 3.19.

Las tres principales fases para la puesta en marcha del sistema de sonorización son:

- Establecimiento de la estructura de ganancia del sistema.
- Control del campo reverberante a través de medios electrónicos.
- Ecuilización.

Existen dos principios básicos para llevar a cabo una adecuada estructura de ganancia:

1) Todos los componentes deben presentar saturación al mismo tiempo. Si algún componente en el sistema se encuentra operando bajo condiciones de saturación mientras otros se encuentran operando muy por debajo de sus niveles máximos se está sacrificando rango dinámico disponible y se incrementa el nivel de ruido del sistema.

2) Se debe estructurar tanta ganancia como sea posible y lo más temprano posible. El elemento crítico en el establecimiento de la estructura de ganancia es el punto en donde la ganancia es establecida dentro del sistema. Si la ganancia es establecida a la salida del sistema, todo el ruido de las etapas previas es incrementado junto con la señal. En cambio, si la ganancia es tomada a la entrada del sistema habrá menos ruido a incrementar por lo que el sistema será menos ruidoso.

La rutina propuesta para llevar a cabo el establecimiento de la estructura de ganancia es la siguiente

- 1.- Verificar que los amplificadores no estén encendidos.
- 2.- Establecer al mínimo los controles de salidas y entradas a la consola.  
Situación que evita condiciones de realimentación.
- 3.- Establecer los controles de nivel de entrada de los sistemas de ecualización al máximo.
- 4.- Establecer a los controles de nivel de entrada y salida de los divisores de frecuencia, si los hay, al máximo.
- 5.- Fijar los controles de entrada de los amplificadores a la mitad. Esta condición es temporal y permitirá escuchar mientras se realizan otros ajustes.
- 6.- Conectar un reproductor de discos compactos o cassettes u otra fuente de sonido a uno de los canales de entrada de la consola. Establecer el fader de dicho canal a su valor nominal (a 2/3 de su máximo). y encender el canal.
- 7.- Encender la fuente de sonido, la consola, los procesadores de señal y los amplificadores de potencia en dicho orden.
- 8.- Observar los indicadores de saturación en los ecualizadores. Si permanecen encendidos por periodos de tiempo muy grandes reducir el nivel de los conductores de entrada de el ecualizador.
- 9.- Con la fuente de sonido reproduciendo, ajustar la entrada de los amplificadores hasta que el sonido en los altavoces alcance el nivel deseado.
- 10.- Repetir el procedimiento para cada uno de los monitores en el escenario.

Control del campo reverberante por medios electrónicos.

Una vez que se ha establecido una adecuada estructura de ganancia puede procesarse la señal para establecer un campo reverberante de mejores condiciones a las que originalmente existen en el recinto. El crear reverberación a través de dispositivos electrónicos no se esta reproduciendo o modificando la reverberación del recinto, por el contrario, se crea totalmente un nuevo y diferente campo reverberante.

Los microfonos que se encuentran en el escenario reciben las señales para que estas posteriormente sean procesadas por el dispositivo y genere reverberación para posteriormente aplicarla al recinto a través de los altavoces. Las principales ventajas de la creación de reverberación por medios electrónicos son:

- 1) Debido que el sonido es captado muy de cerca a la fuente, el sistema es mucho más estable.
- 2) Cualquier señal puede ser ajustada en frecuencia con la posibilidad de crear un amplio rango de campos reverberantes.
- 3) El sistema de sonido no dependerá del campo reverberante arquitectónico y puede ser utilizado en recintos muy problemáticos con respecto a la reverberación.
- 4) Debido a la enorme flexibilidad de los procesadores digitales una gran variedad de condiciones de reverberación pueden ser programadas y almacenadas en memoria para volver a ser utilizadas.
- 5) Debido al enorme control a base de software tanto mejoras como características adicionales son fácilmente agregadas.  
y quizás lo más importante de todo es que controlar la reverberación del recinto a través de medios electrónicos es mucho más económico que cualquier otra solución.

#### **Ecuación**

La ecualización de un sistema es el proceso de ajustar la respuesta en frecuencia electrónica del sistema a la acústica del recinto.

Los objetivos de la ecualización son:

- Proporcionar naturalidad al sonido.
- Reducir la realimentación.
- Mejorar la calidad del sonido.

**Lo que no se puede hacer con la ecualización es:**

- **Hacer que un sistema mal diseñado genere sonido de buena calidad.**
- **Mejorar el desempeño de componentes de baja calidad.**
- **Modificar el tiempo de reverberación del recinto.**

**Es importante tener presente que la ecualización es la última etapa a llevar a cabo durante la puesta en marcha de un sistema de sonorización, por lo que antes de llevarse a cabo es importante:**

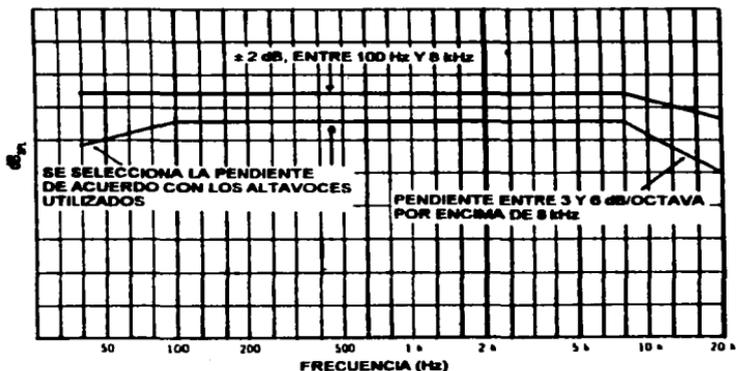
- 1) Checar el desempeño individual de todos y cada uno de los dispositivos del sistema y posteriormente la totalidad del mismo.**
- 2) Verificar que la polaridad de todas las fuentes de entrada conectadas a la consola sea congruente.**
- 3) Asegurarse que las conexiones amplificador/altavoz tengan la misma polaridad.**
- 4) Probar el sistema con programas típicos y aniveles normales de operación**

**Proceso de ecualización:**

- **Conectar el generador de ruido rosa a una de las entradas de la consola.**
- **Mantener los controles del ecualizador gráfico a respuesta plana.**
- **Instalar el analizador de espectros en tiempo real cerca del ecualizador gráfico.**
- **Colocar el microfono de prueba del analizador en una posición típica de escucha evitando que se encuentre directamente en eje con alguno de los altavoces.**
- **Encender el sistema y el generador de ruido rosa.**
- **Usando un medidor de presión sonora grabado en curva C o plan, establecer la ganancia del sistema al nivel de diseño.**

- Usando un medidor de presión sonora grabado en curva C o plan, establecer la ganancia del sistema al nivel de diseño.
- Encender el analizador de espectros y observar la respuesta.
- Cambie la posición del micrófono a diversos puntos y observe la respuesta para cada uno de los puntos en el analizador de espectros. Si la respuesta del sistema cambia radicalmente de posición a posición o existen picos o baches en la respuesta. Resuelva ese problema antes de continuar con el proceso de equalización. Las posibles causas pueden ser: la ubicación de los altavoces o el mal suministro de potencia a las mismas.

El proceso de ecualización consiste en modificar la respuesta a través de los controles del ecualizador gráfico para que la respuesta en el analizador se asemeje a la de la gráfica de la siguiente figura.



**Figura 3.22 Curva de respuesta recomendada para sistemas de refuerzo sonoro con aplicación en conciertos de rock.**

### Pruebas al equipo del sistema de sonorización

La funcionalidad permanente del equipo electrónico supone la necesidad de realizar, periódicamente, una serie de pruebas (en el caso de una sonorización permanente las pruebas y mediciones cada 6 meses) que aseguren el buen estado del equipo electrónico y de las instalaciones asociadas, y que, por lo tanto garanticen una calidad aceptable en la realización de los eventos musicales que se efectuen en el auditorio que nos ocupa. En la tabla 3.21 se indican los elementos bajo prueba, y el equipo de medición necesarios para realizarlas.

ELEMENTOS BAJO PRUEBA	PRUEBAS	OBJETIVO	APARATOS NECESARIOS
<b>Cables de:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Micrófonos</li> <li>• Entrada y salida de amplificadores</li> <li>• Altavoces</li> <li>• Entrada y salida de la Consola de mezcla</li> <li>• Entrada y salida del ecualizador</li> <li>• Entrada y salida del Generador de reverberación</li> <li>• Monitores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuidad</li> </ul>	Verificar que cada uno de los cables que componen las líneas, posea la continuidad e independencia necesaria, desde el punto de origen hasta el punto de destino.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ohmetro</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altavoces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribución de la energía acústica</li> </ul>	Verificar que a la potencia eléctrica propuesta, se logren los niveles de presión sonora proyectados y una distribución adecuada de la energía acústica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generador de ruidos rosa</li> <li>• Analizador de audio por tercios de octava</li> <li>• Ecualizador por tercios de octava</li> <li>• Voltmetro</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preamplificadores en consola</li> <li>• Amplificadores de potencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuesta en frecuencia</li> <li>• Distorsión armónica</li> <li>• Relación señal a ruido</li> </ul>	Verificar las características de estos equipos, en los parámetros mencionados, según las especificaciones del fabricante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oscilador de audio</li> <li>• Medidor de distorsión armónica</li> </ul>
Consola Mezcladora Generador de efectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuesta en frecuencia</li> </ul>	Verificar las características de estos equipos, en los parámetros mencionados, según las especificaciones del fabricante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oscilador de audio</li> </ul>

Tabla 3.21 Programación general de pruebas

# **CONCLUSIONES**

## C O N C L U S I O N E S

El profesional en Ingeniería de Audio requiere de amplios conocimientos de teoría musical, teoría acústica, en Ingeniería en Electrónica y del estudio detallado del funcionamiento de una gran diversidad de equipo y de procedimientos adecuados. La tesis proporciona las bases teóricas para la formación de personal capaz de diseñar sistemas de sonorización dentro de un marco profesional.

El método es una guía completa, que contempla desde la fase de análisis hasta la fase de operación. La estructura del método no es rígida, por lo que cada persona puede configurarlo de acuerdo a las situaciones particulares del recinto, del equipo y de las necesidades propias de cada aplicación. Sin embargo se obtendrán mejores resultados siguiendo los lineamientos establecidos por el método.

Como principal aportación, esta tesis ofrece de manera clara y resumida información actualizada en español de los conceptos relacionados con la sonorización.

También se encuentran en esta tesis criterios y recomendaciones para el uso de las especificaciones proporcionadas por los fabricantes de equipos de audio que actualmente compiten en el mercado.

Por otro lado se realizó el análisis acústico de un escenario útil a la comunidad universitaria el auditorio Javier Barros Sierra, en el cual se detectó un marcado problema de reverberación en su interior, y para corregirlo se propone como solución alternativa un acondicionamiento acústico, seleccionando y disponiendo materiales adecuados. Siguiendo los lineamientos marcados para el acondicionamiento acústico y sonoro, los resultados obtenidos serán los óptimos para cada uno de ellos.

Hubiéramos deseado concluir este trabajo con una exposición acerca de los resultados reales de la aplicación del método propuesto en el auditorio Javier Barros Sierra. Pero debido al alto costo que representa adquirir el equipo electrónico propuesto y los materiales acústicos, pues, no es posible por el momento.

Queda en manos de las autoridades competentes, en función, desde luego, de las posibilidades presupuestales, la decisión acerca de la importancia de llevar a cabo,

## **C O N C L U S I O N E S**

en su totalidad, o en una de sus dos partes (acondicionamiento acústico y sistema de sonorización ) la realización de este trabajo.

Además es muy importante considerar al momento de sonorizar en dicho recinto el nivel de presión sonora que se emplea en los eventos musicales principalmente en los de tipo rock, ya que se llegan a generar más de 100 dB's, nivel en el cual, el oyente que se encuentra más próximo al escenario corre el riesgo de padecer daños en el conducto auditivo al exponerse por más de dos horas consecutivas a dicho nivel.

El profesional en Ingeniería de audio debe considerar en los cálculos pertinentes los niveles en los cuales el oyente más próximo al escenario no sufra ningún daño en su estado físico al estar expuesto a ciertos niveles de presión sonora por tiempos prolongados considerados como dañinos para la salud. Por lo que hay que respetar lo establecido por las normas internacionales en cuanto a tiempos de exposición en los cuales no causen daños.

En la elaboración del presente trabajo se pueden remarcar algunos puntos importantes a considerar:

1. El planteamiento de los criterios en el análisis, diseño, instalación y prueba de los componentes que conforman el sistema acústico y sonoro son considerados los adecuados para poder cumplir con el objetivo planteado en un principio.
2. Resalta la aplicación objetiva del estudio de las condiciones acústicas y sonoro necesaria para el auditorio Javier Barros Sierra.
3. Después de finalizar este trabajo queda como campo para investigaciones posteriores, el estudio sobre los parámetros controlables de la reverberación artificial para ser acoplados al campo reverberante de los recintos.
4. Como conclusión personal consideramos que no deben ser ignoradas estas áreas de aplicación de la Ingeniería en Electrónica, porque representan alternativas laborales.

# **APENDICES**

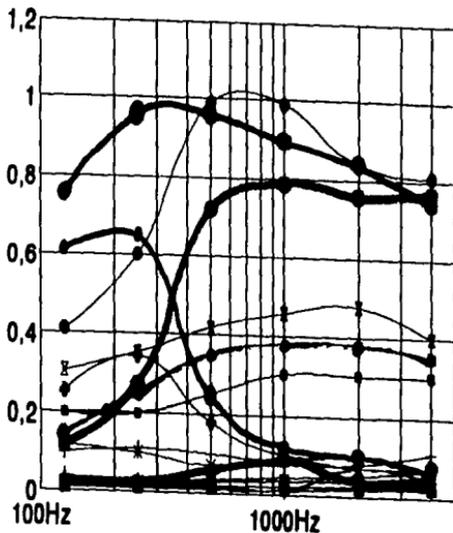
**APENDICE A: COEFICIENTES DE ABSORCION DE MATERIALES MAS COMUNES  
A SEIS DIFERENTES FRECUENCIAS**

Material	Coeficientes de absorción a las frecuencias en (Hz)					
	125	250	500	1 K	2 K	4 K
Agua	0.010	0.010	0.010	0.010	0.020	0.020
Placa de aluminio	0.035	0.025	0.019	0.012	0.070	0.040
Butaca de madera	0.020	0.020	0.030	0.035	0.038	0.038
Butaca tapizada	0.200	0.200	0.250	0.300	0.300	0.300
Corcho	0.120	0.270	0.720	0.790	0.760	0.770
Concreto	0.025	0.026	0.080	0.085	0.043	0.056
Espec. en asiento de madera	0.150	0.250	0.350	0.380	0.380	0.350
Espec. en asiento tapizado	0.300	0.350	0.420	0.480	0.480	0.400
Fibra de vidrio de 5 mm.	0.410	0.600	0.990	0.990	0.840	0.810
Fibra de vidrio de 10 mm.	0.750	0.960	0.960	0.900	0.840	0.740
Pared de ladrillo	0.024	0.025	0.032	0.042	0.050	0.070
Ladrillo pintado	0.012	0.014	0.017	0.020	0.023	0.025
Madera delgada	0.250	0.340	0.180	0.100	0.100	0.060
Madera gruesa	0.610	0.650	0.240	0.120	0.100	0.060
Madera barnizada	1.100	0.110	0.100	0.080	0.080	0.110
Yeso	0.120	0.100	0.070	0.090	0.070	0.070
Yeso sobre ladrillo	0.013	0.015	0.020	0.028	0.040	0.005

# COEFICIENTES DE ABSORCION

A FRECUENCIAS DE: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 KHz, 2 KHz Y 4 KHz

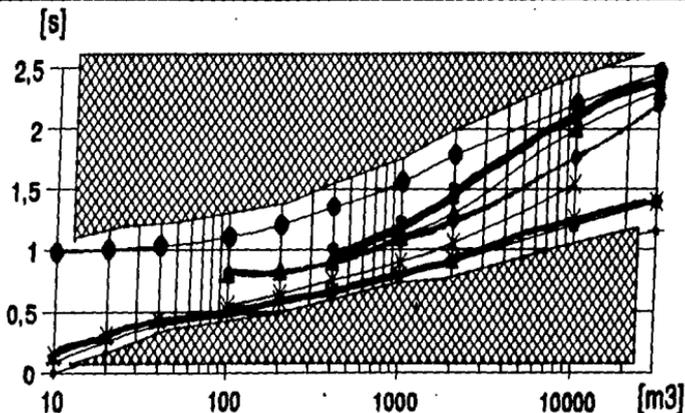
205



- AGUA
- + PLACA DE ALUMINIO
- \* BUTACA DE MADERA
- ⊕ BUTACA TAPIZADA
- CORCHO
- CONCRETO
- PERSONA/BUTACA MADERA
- ⊕ PERSONA/BUTACA TAPIZ
- ◆ FIBRA DE VIDRIO 5mm
- FIBRA DE VIDRIO 10mm
- ★ PARED DE LADRILLO
- ⊕ LADRILLO PINTADO
- ◆ MADERA DELGADA
- MADERA GRUESA
- + MADERA BARNIZADA
- \* YESO

# TIEMPOS OPTIMOS DE REVERBERACION CONTRA VOLUMEN PARA DIVERSOS LOCALES

206



→ CAMARA ANECOICA

+ SALA DE LOCACION

\* SALA DE CONFERENCIAS

■ TEATRO DE COMEDIA

× ESTUDIO DE GRABACION

● TEATRO DE OPERA

▲ TEMPLOS

● SALA DE CONCIERTOS

● CAMARA REVERBERANTE

### APENDICE B: NORMA OSHA

Norma de salud que establece los tiempos de exposición a niveles de presión sonora, sin que estos últimos causen daños a la salud.

Nivel de presión sonora en dB <sub>SPL</sub>	Exposición diaria recomendada en horas
90	8
92	6
95	4
97	3
100	2
102	1.5
105	1
110	0.5
115	0.25

**APENDICE C**

**ESPECIFICACIONES  
DEL  
EQUIPO PROPUESTO**

APLICACION	NIVEL INICIACIÓN		PRECIO MEDIO		PROFESIONAL
 VOCAL	Prologue 12 Prologue 14 Prologue 22 Prologue 24	BC 1.0 BC 2.0 BC 3.0	5885D 3635D 3M48	BC 5.0	Beta 56 Beta 87 SM58 SM87 SM51 Series II SM10A SM12A
 CONJUNTO KORAL O MUSICAL	Prologue 12 Prologue 14 Prologue 22 Prologue 24	BC 1.0 BC 2.0 BC 3.0	5435D	BC 5.0	Beta 57 Beta 87 SM57 SM87 SM81
 PIANO ACÚSTICO	5195D	Prologue 16L	5435D	BC 4.0	Beta 57 SM81 SM91A SM90A SM98A
 GUITARRA ACÚSTICA, BANJO	5195D	Prologue 16L	5435D	BC 4.0	Beta 57 SM57 SM81 SM11
 VIOLÍN	5195D	Prologue 16L	5435D	BC 4.0	SM81 SM11 SM98A
 METAL	Prologue 10 Prologue 12 Prologue 14	BC 1.0 BC 2.0 BC 3.0	5885D 5435D 3635D	SM48	Beta 58 Beta 57 SM58 SM57 SM98A
 VIENTO	Prologue 12 Prologue 14	BC 1.0 BC 2.0 BC 3.0	5885D 5435D	SM48	Beta 57 SM58 SM57 SM98A
 FLAUTA	Prologue 12 Prologue 14	BC 1.0 BC 2.0 BC 3.0	5885D 3635D SM48	BC 4.0	Beta 58 SM58 SM81 SM98A
 GUITARRA ELÉCTRICA, PIANO; SISTEMA DE ALTAVOCES LESLIE	Prologue 10 5195D	Prologue 16L	5435D	BC 4.0	Beta 57 SM57 SM98A
 BOMBO BATERÍA	Prologue 10 5195D		5435D 3635D	BC 4.0	SM91A SM98A SM90A
 CAJA Y TIMBALES	Prologue 10 5195D	Prologue 16L	5435D 3635D	BC 4.0	Beta 57 SM57 SM98A
 PLATILLOS, HI-HAT	5195D	Prologue 16L	5435D	BC 4.0	Beta 57 SM57 SM81 SM98A
 ARMÓNICA					520D
 KARAOKE		BC 1.0 BC 2.0		BC 3.0	3635D



## Beta 58®

El Beta 58 es inequívocamente el mejor micrófono dinámico, para las exigentes aplicaciones vocales del directo. Combina la calidez de la baja frecuencia con la "fuerza" del standard mundial SM58, con el aumento de presencia más suave y el extremo agudo del micrófono de condensador de concierto, SM57. Lo cual significa que el Beta 58 proporciona una respuesta optimizada para la gama vocal, más completa, desde el grave más profundo hasta el agudo más alto, con captación mínima del ruido de fondo de escena y la "fuga" de los platillos. Es realmente una combinación innovadora de un sonido excelente, increíble robustez y legendaria fiabilidad Shure. Respuesta de frecuencia: 50 a 16.000 Hz. Dispersión polar: Supercardioid (unidireccional). Impedancia: 150 Ohms. (290 Ohms. real). Nivel de salida: -71.0 dB (0.28 mV). **Beta 58M** (rejilla mate, sin cable).

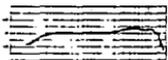


También Disponible  
Como Versión Inalámbrica



## Beta 57®

El Beta 57 es un micrófono de instrumentos, dinámico, que proporciona un nuevo sentido a la claridad y definición. Mientras el Beta 57 debe su herencia al famoso SM57, éste añade una respuesta de bajo grave ampliada y un aumento de presencia más suave y gradual. Incluso la respuesta de muy alta frecuencia es ampliada para un sonido de instrumento más "abierto" y natural añadiendo el impacto del original SM57. Además, la auténtica dispersión supercardioid del Beta 57 proporciona un mejor aislamiento de sonidos indeseados y ausencia de coloración fuera del eje. El resultado está en una mayor separación de los instrumentos individuales para una claridad y definición en la mezcla, excepcionales. Respuesta de frecuencia: 50 a 16.000 Hz. Dispersión polar: Supercardioid (unidireccional). Impedancia: 150 Ohms. (290 Ohms. real). Nivel de salida: -71.5 dB (0.27 mV) **Beta 57M** (rejilla mate, sin cable).



## Beta 87®

El más alto de la línea, el micrófono de condensador para vocales de tecnología más avanzada, el Beta 87 incorpora el nuevo elemento condensador supercardioid de Shure que proporciona un sonido rico y respuesta excepcionalmente suave sin, prácticamente, ninguna coloración fuera de eje. Es singularmente inmune al zumbido y ruido de manipulación, y ha sido utilizado en conciertos de directo por algunos de los intérpretes más grandes del mundo y sus técnicos de sonido. Respuesta de frecuencia 50 a 18.000 Hz. Dispersión polar: supercardioid (unidireccional). Impedancia: 150 Ohms. (90 Ohms. reales). Nivel de salida: -74 dB. (0.2 mV).



También Disponible  
Como Versión Inalámbrica



## Micrófono de Vocalista Número Uno Del Mundo SM58

El estándar mundial en micrófonos de escena profesional y primera elección de intérpretes en todo el mundo, el SM58 es una autentica leyenda en estudio, que combina un sonido vivo e inteligible con una sobresaliente robustez y fiabilidad. Su aumento de presencia suave y atenuación de las de baja frecuencia, minimiza "el sonido de lata", proporcionando una potencia máxima a un "punch" muy especial, en aplicaciones vocales. Además, la capsación cardiode dinámico del SM58 elimina virtualmente la colación, fuera de eje y rechaza el ruido de fondo para un nivel de ganancia más alto antes de que llegue a la saturación. El SM58 hace que el rock, pop, country y cualquier tema vocal surten con sus mejores posibilidades. Respuesta de frecuencia: 50 a 15 000 Hz. Dispersión polar: Cardiode (unidireccional). Impedancia: 150 Ohms (310 reales). Nivel de salida: -75 dB (0,18 mV). SM58-LC (sin cable), SM58-CW (con cable), SM58-LC (con interruptor, sin cable).



También Disponible  
Como Versión Inalámbrica



## El Standard Mundial en Micrófono de Instrumentos — el SM57

El clásico SM57 es el micrófono dinámico "de batalla" en espectáculos de todo el mundo. Su aumento de presencia cuidadosamente perfilado, significa una reproducción instrumental bellamente definida y limpia, a la vez que una cálida captación vocal. El SM57 es el estándar para micrófonos de batería, percusión y amplificador de instrumentos. Respuesta de frecuencia: 40 a 15 000 Hz. Dispersión polar: Cardiode (unidireccional). Impedancia: 150 Ohms (310 reales). Nivel de salida: -75,3 dB (0,17 mV). SM57-LC (sin cable), SM57-CW (con cable).



## Un Duo de Condensadores

### SM87

El micrófono de condensador de mano preferido por los presentadores más importantes del mundo, el SM87 tiene como característica una respuesta de frecuencia uniforme que garantiza especialmente una reproducción vocal cálida y enriquecida. Su captación polar supercardiode, evita el exceso de volumen en reproducción y un excelente rechazo de ruidos no deseados, además de su filtro de tres etapas anti-viento, que reduce al mínimo el ruido de respiración del usuario. Alimentación phantom únicamente. Respuesta de frecuencia: 50 a 15 000 Hz. Dispersión polar: Supercardiode (unidireccional). Impedancia: 150 Ohms (185 reales). Nivel de salida: -74 dB (0,2 mV). SM87-LC (sin cable).

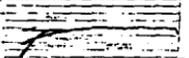


También Disponible  
Como Versión Inalámbrica



### SM81

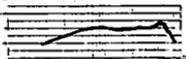
Un gran logro de los ingenieros de micrófonos de Shure, el SM81 unidireccional es uno de los grandes micrófonos de estudio del mundo, proporcionando lo último en reproducción de sonido detallado y preciso. Excelente para micrófono de coros vocales, la mayoría de instrumentos acústicos y especialmente los platillos de las baterías, la respuesta "full-flat" del SM81 puede ajustarse a medida con un interruptor de atenuación incorporado. El SM81 tiene por característica además un armador incorporado de 10 dB. Funciona únicamente con phantom. Respuesta de frecuencia: 20 a 20 000 Hz. Dispersión polar: Cardiode (unidireccional). Impedancia: 150 Ohms (185 reales). Nivel de salida: -65,5 dB (0,56 mV). SM81-LC (sin cable), SM81A capsula omnidireccional puede ser utilizada con el cuerpo del SM81 para proporcionar una versión omnidireccional igualmente de alto rendimiento.





## SM11

Para aquellos que necesitan un micrófono levantal dinámico, el SM11 es el modelo más pequeño de Shure. El SM11 pone la robustez y seguridad de funcionamiento Shure en un micrófono que no abulta más que un clip sus accesorios incluye accesorios de montaje tipo alicat de corbata y pasador de corbata. Respuesta de frecuencia: 50 a 15.000 Hz. Dispersión polar: Omnidireccional. Impedancia: 150 Ohms (200 Ohms reales). Nivel de salida: -85 dB (0,26 mV). SM11-CN (con cable añadido): BK279 Kit de montaje para adaptar el SM11 a aplicaciones de microfonos de instrumentos acústicos.



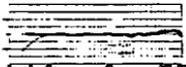
## SM48

Perfecto para vocalistas que empujan, el robusto y fiable SM48 contiene muchas de las características de rendimiento destacadas y similar apariencia del SM58 — a un precio asequible. Proporciona el famoso sonido Shure y entre sus características esta la de captación cardióide uniforme y la gama media alta característica ensalzada de su hermano, un mundial en su clase. Respuesta de frecuencia: 55 a 14.000 Hz. Dispersión polar: Cardióide (unidireccional). Impedancia: 150 Ohms (220 Ohms reales). Nivel de salida: -77,5 dB (0,13 mV) SM48-LC (sin cable). SM48S-LC (con interruptor, sin cable).



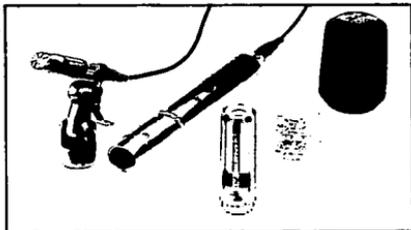
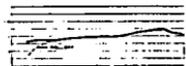
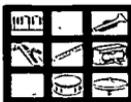
## SM91A

Este micrófono para superior unidireccional del mundo se va a ver superado gracias al elemento transductor de condensador, excepcional del SM91) y al excelente sistema de preamplificación. Es una gran elección para la reproducción de puros acústicos y bombo. El preamplificador incluye filtro de bajo corte conmutable y un interruptor auxiliar de ganancia de 10 dB. Funciona con phantom. Respuesta de frecuencia: 20 a 20.000 Hz. Dispersión polar: Semicardióide (cardióide en hemisferio sobre una superficie de concavidad unidireccional). Impedancia: 150 Ohms (90 Ohms reales). Nivel de salida: -69 dB (0,35 mV). SM91A (no se muestra): versión omnidireccional del SM91A.



## SM98A

El SM98A es mucho más que el mejor micrófono de instrumentos musicales miniatra del mundo. Se trata de un sistema completo con accesorios que lo hacen ideal para una amplia gama de aplicaciones. El SM98A plantea un espectro de captación cardióide extremadamente uniforme y una capacidad para manejar niveles de presión de sonido de hasta 155 dB. Es una excelente elección para funciones de microfonía en instrumentos de percusión, metales y otros instrumentos acústicos. Alimentación phantom únicamente. Respuesta de frecuencia: 40 a 20.000 Hz. Dispersión polar: Cardióide (unidireccional). Impedancia: 150 Ohms (90 Ohms real). Nivel de salida: -80 dB (0,10 mV).



## Accesorios SM 98A

Preamplificador ILP-1 (se muestra)  
 Adaptador Baseculante (se muestra)  
 Paravientos (se muestra)  
 AMSPM Modificador polar supercardióide que rápidamente y fácilmente cambia el espectro de captación polar del SM98 de cardióide a supercardióide.



## Prologue 10

La robusta forma de su móvil de al Prologue 10 un perfil bien cuando se sostiene en la mano o permanece montado, tanto en aplicaciones vocales como instrumentales o para grabaciones de cinta. Acabado en cromo con rejilla negra. Respuesta de frecuencia: 80 - 10.000 Hz. Elección de modelos en alta impedancia (10H-LC) o baja impedancia (10L-LC)



## Prologue 12

El popular Prologue 12 con rejilla en forma de bola está diseñado para proporcionar una robustez incrementada, más una protección añadida contra las señales "pop-pops" producidas por el habla. Acabado en cromo. Respuesta de frecuencia: 80 a 10.000 Hz. Elección de modelos de alta impedancia (12H-LC) o baja impedancia (12L-LC)



## Prologue 14

El Prologue 14 tiene todas las ventajas de un micrófono de bola, más prestaciones adicionales tales como respuesta extendida, rendimiento mejorado, un acabado más duradero, auto-deslustrarse y un dispositivo para bloqueo del interruptor. Respuesta de frecuencia: 60 a 13.000 Hz. Disponible en ambos modelos de alta impedancia (14H-LC) y baja impedancia (14L-LC)



## Prologue 16L

El más alto de la línea Prologue: El Prologue 16L es un micrófono de condensador "retrofit" con funcionamiento a batería, unidireccional de baja impedancia, diseñado fundamentalmente para aplicaciones de grabaciones subyugantes domésticas. Proporciona una respuesta de frecuencia uniforme plana y una alta capacidad de nivel de presión de sonido. Además su dispersión polar característica le hace muy adecuado para la captación en estereos de instrumentos acústicos. Respuesta de frecuencia: 50 a 15.000 Hz.



## Prologue 22H, 22L

Uno de los micrófonos vocales superlativos más económicos del mundo, el Prologue 22 proporciona un superior aislamiento de la mano para un sonido en escena claro y definido. Incluye un interruptor de encendido/apagado con un dispositivo para bloqueo y un acabado en cromo mate supercalidadmente duradero. Respuesta de frecuencia: 60 a 13.000 Hz. Disponible en modelos de alta impedancia (22H-LC) sin cable, 22H-CS cable de 15 pies) y baja impedancia (22L-LC sin cable, 22L-CS cable de 15 pies.



## Prologue 24H, 24L

El atractivo Prologue 24 es el más alto de la línea dinámica de los Prologue. Su acabado negro no resquebraja tanto en el cuerpo como en la bola, acoplado con un diseño desprovisto de interruptor. le da un aspecto profesional y sereno. En su interior, el soporte de captación superlativo del Prologue 24 proporciona un excelente rechazo de los sonidos no deseados, mientras mantiene un sonido puntante y vívido. Respuesta de frecuencia: 40 a 13.000 Hz. Disponible en modelos de alta impedancia (24H-LC) sin cable 24H-CS cable de 15 pies) y baja impedancia (24L-LC sin cable 24L-CS cable de 15 pies)





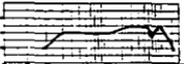
## 5155SD

El Shure 5155SD es un "performer" dinámico de doble impedancia y bajo costo que puede cumplir una amplia gama de aplicaciones de refuerzo de sonido. Su interruptor de encendido/apagado/bloqueable permite un cuidado fácil de la unidad en ambientes de rendimiento exigentes. Respuesta de frecuencia: 80 - 13,000 Hz. Dispersión polar: Cardióide (unidireccional). Impedancia: Base Z: 150 Ohms (170 Ohms reales). Alta Z: "Alta". Nivel de salida: Base Z: -82.5 dB. (0.074 mV). Alta Z: -99.0 dB (1.1 mV). 5155SD-LC (dual impedancia, sin cable)



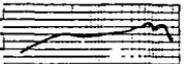
## 5885SD

El 5885SD es un modelo de doble impedancia y bajo costo que ofrece una amplia variedad de útiles prestaciones. Un paravents incorporado minimiza el ruido producido por la respiración cuando se usa en primer plano y difumina el ruido del viento cuando se utiliza en el exterior. La dispersión polar cardióide uniforme del 5885SD reduce la realimentación en cualquier aplicación en que esta versátil modelo se pueda aplicar. Respuesta de frecuencia: 80 a 13,000 Hz. Dispersión polar: Cardióide (unidireccional). Impedancia: Base Z: 150 Ohms (180 Ohms real); alta Z: "Alta". Nivel de salida: Base Z: -82 dB (0.08 mV); Alta Z: -99.5 dB. (1.1 mV). 5885D-LC (Sin cable).



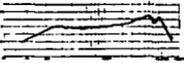
## 5455SD

La respuesta remarkablemente fiel del 5455SD UNIDYNE® III hace de él la elección favorita tanto para captación vocal como de instrumentos. Su diseño de doble impedancia permite al 5455SD ser utilizado con la mayoría de equipos de sonido y su amplia respuesta de frecuencia está especialmente combinada para un rendimiento natural, claro y vigoroso - independientemente de la aplicación. Respuesta de frecuencia: 90 a 15,000 Hz. Dispersión polar: Cardióide (unidireccional). Impedancia: Base Z: 150 Ohms (170 Ohms reales); alta Z: "Alta". Nivel de salida: Base Z: -79 dB (0.13 mV). Alta Z: -95 dB (0.76 mV). 5455SD-CN (con interruptor encendido/apagado y cable). 5455D-LC (con interruptor encendido/apagado, sin cable).



## 5655SD

Los modelos UNISPHERE I Serie 563 son los micrófonos dinámicos más fieles del mundo, para refuerzo de sonido y aplicaciones de representaciones de directo. Su respuesta remarkablemente fiel y natural los convierte en la elección favorita de cantantes e intérpretes en todo el mundo. Además, su diseño de doble impedancia e interruptor de encendido/apagado significa que los 563 son altamente funcionales en prácticamente cualquier ambiente de representación escénica. Respuesta de frecuencia: 90 a 15,000 Hz. Dispersión polar: Cardióide (unidireccional). Impedancia: Base Z: 150 Ohms (190 Ohms reales). Alta Z: "Alta". Salida de potencia: Base Z: -76 dB (0.16 mV); Alta Z: -54 dB (2.2 mV). 5655D-CN (con interruptor de encendido/apagado y cable). 5655D-LC (con interruptor encendido/apagado, sin cable).





## BG 1.0

Es el micrófono vocal destacado, diseñado e presupuesto para el intérprete que no quiere pagar mucho, pero que desea un micrófono de calidad Shure. El BG 1.0 incluye un anillo de electrónica-filtro y ofrece un excelente rendimiento, en su gama de precios. Además, su diseño de doble impedancia permite conectar con prácticamente cualquier sistema de micrófono que se pueda encontrar en una mesa de mezclas o estudio profesional. Incluye una bobina de ruido con protección y un robusto adaptador de pie. Respuesta de frecuencia: 80 a 12.000 Hz. Desplazamiento polar: Cardiaco. Impedancia: 600 Ohms. (840 reales). Nivel de salida: -77 dB.



## BG 2.0

La construcción rígida de media esfera angular del BG 2.0 y la empalmadura controlada hace que su apoyo se distorsione de la manera de los demás micrófonos dinámicos. En su interior, su nuevo diseño del diafragma mejora la respuesta de baja frecuencia y su forma de abanico de radiación proporciona una salida significativamente superior a la del BG 1.0. Baja impedancia. Incluye un adaptador de pie robusto y aislado para transporte de lujo. Respuesta de frecuencia: 80 a 14.000 Hz. Desplazamiento polar: Cardiaco. Impedancia: 150 Ohms. (290 reales). Nivel de salida: -74 dB.



## BG 3.0

El diseño de media de esfera se adapta al clásico mundial, el SM58, y su rendimiento lo convierte en el micrófono vocal más alto de la gama de precios intermedios de los BG. Eso se debe a que el BG 3.0 convierte la alta energía de un anillo de radiación, dando más respuesta en las bajas frecuencias, para producir un impacto añadido en representaciones vocales de género. Además, su interior empalmado reforzado significa un ruido de manipulación menor. Baja impedancia. Incluye adaptador de pie robusto e aislado para transporte de lujo. Respuesta de frecuencia: 60-15.000 Hz. Desplazamiento polar: Cardiaco. Impedancia: 150 Ohms. (290 reales). Nivel de salida: -75 dB.



## BG 4.0

El BG 4.0 es un micrófono de instrumento/grabación, de condensador para usuarios o personal de grabación, que requieren una respuesta sensible y ampliada, sin ruido de presencia. El BG 4.0 funciona bien con una batería AA interna o con phantom. Incluye un robusto adaptador de pie y una maleta para transporte de lujo. Respuesta de frecuencia: 40-18.000 Hz. Desplazamiento polar: Cardiaco. Impedancia: 600 Ohms. (820 reales). Nivel de salida: -68 dB.



## BG 5.0

Diseñado específicamente para aplicaciones vocales tales "pop-beat", el BG 5.0 ofrece alta salida, respuesta omnívoros y el cercano momento de presencia Shure para representaciones limpias y energéticas. Además su avanzada tecnología garantiza una distorsión de encendido transitoria a lo largo del tiempo. Incluye un adaptador de pie robusto y una maleta para transporte de lujo. Respuesta de frecuencia: 40 a 18.000 Hz. Desplazamiento polar: Cardiaco. Impedancia: 600 Ohms. (820 reales). Nivel de salida: -69 dB.



Ya sea alumbrando nuevos caminos en el diseño de micrófonos de manos libres o combinando tecnologías de transductores avanzados, con la apariencia clásica de otra época, los modelos especiales de Shure son una clase en sí mismos. Aportan una presentación impactante y el mundialmente famoso sonido Shure, tanto para aplicaciones instrumentales como vocales.



## 55SH Serie II "El Mundialmente Famoso Unidyne II"

El 55SH Serie II es un micrófono contemporáneo técnicamente, con la apariencia clásica que ayudó a configurar la historia del rock n' roll. Perfecto para intérpretes que desean el "look" y el "feeling" de los 50 y 60 pero lo último en transductores dinámicos. Respuesta de frecuencia: 50-15.000 Hz. Dispersión polar: Cardiode (unidireccional). Impedancia: 150 Ohms. (270 Ohms. reales). Nivel de salida: -78.0 dB (0.13 mV).



## Micrófono de Cabeza SM10A

El favorito de los bateristas cantantes, teclistas y guitarristas que desean una completa libertad de movimientos en escena. El elemento de micrófono dinámico con aproximación a la boca ajustable proporciona un excelente aislamiento y mínimos problemas de realimentación. Respuesta de frecuencia: 50 a 15.000 Hz. Dispersión polar: cardiode (omnidireccional). Impedancia: 150 ohms (200 reales). Nivel de salida: -47 dB (4.5 mV.) SM10 A-CN (Con cable incorporado).

o  
SM12A (sin ilustración)

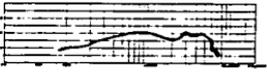
Las mismas características y rendimiento que el SM10A, pero con un monitor auricular. SM12A-CN (con cable incorporado).



## 520D "¡La Bala Verde!"

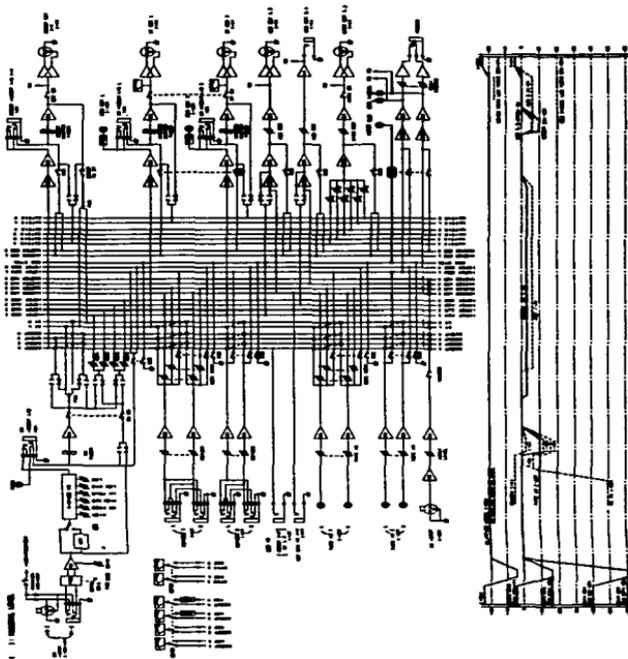
Una leyenda en la industria musical, el 520D la "Bala Verde", es la única elección auténtica de intérpretes de armónica de blues, que desean el sonido del sur, asociado a los legendarios muestros del arpa "estilo Chicago".

Doble impedancia; suministrado con conector macho para auricular de 1/4". Respuesta de frecuencia: 100 a 5.000 Hz. Dispersión polar: Omnidireccional. Impedancia: Baja Z: 150 Ohms. (160 Ohms reales); Alta Z: "Alta". Nivel de salida: Baja Z: -73 dB (0.22 mV); Alta Z: -56.0 dB (1.6 mV).





## BLOCK &amp; LEVEL DIAGRAM



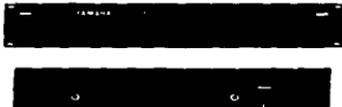




**POWER AMPLIFIERS**

**PROFESSIONAL POWER AMPLIFIER**

**P2160**



- The compact, economical answer to professional power performance.
- Ideal for applications requiring medium power with outstanding reproduction quality.

**PROFESSIONAL POWER AMPLIFIERS**

**P2700/P2350**



- High power professional amplification with emphasis on reproduction performance.
- Exceptionally low noise and distortion with broad bandwidth for crisp, clean sound.

**GENERAL SPECIFICATIONS**

Power Output (1 kHz)  
 STEREO: 100 w @ 8 Ω, 1 w @ 16 Ω — 20 Hz — 20 kHz, THD ≤ 0.1 %  
 100 w @ 8 Ω, 1 w @ 16 Ω — 20 Hz — 20 kHz, THD ≤ 0.1 %  
 MONO: 200 w @ 8 Ω, 1 w @ 16 Ω — 20 Hz — 20 kHz, THD ≤ 0.1 %

Frequency Response: 8 Ω @ 1.0 mm, 1 w — 10 Hz — 20 kHz, RL = 8 Ω, P.O. 1 w

Input Sensitivity: 100 mV

THD: 10 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

8 Ω: 100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

THD: 100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

Total Harmonic Distortion (THD):

STEREO: 100 w @ 8 Ω, 1 w @ 16 Ω — 20 Hz — 20 kHz

8 Ω: 100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

MONO: 200 w @ 8 Ω, 1 w @ 16 Ω — 20 Hz — 20 kHz

8 Ω: 100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

Intermodulation Distortion (IMD):

STEREO: 100 w @ 8 Ω, 1 w @ 16 Ω — 20 Hz — 20 kHz

8 Ω: 100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

MONO: 200 w @ 8 Ω, 1 w @ 16 Ω — 20 Hz — 20 kHz

8 Ω: 100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

Channel Separation (ATY test, input 0 dB):

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %

100 Hz — 20 kHz, P.O. = 100 W, RL = 8 Ω, THD ≤ 0.1 %



# SPECIFICATIONS



## V 15 D

Usable Frequency Response  
 EIA Power Handling Capacity  
 1m SPL @ 1W  
 1m SPL @ Rated Input  
 Nominal Dispersion (H x V Degrees)  
 Nominal Impedance

LF

MF

HF

45Hz - 18kHz  
 300W  
 102dB  
 123dB  
 90 x 40  
 8 ohms  
 (1) 188EB 18" Cone 3" VC  
 (1) 8 ohm JMM-1 1" Throat  
 Compression Driver & 90 x 40  
 Controlled Coverage Horn  
 (1) H-25 Compression Horn Tweeter

### Crossovers

1kHz 2-Pole LP

1kHz 3-Pole HP

8kHz 2-Pole HP

(2) 1 1/4" Phone Jacks

Vented, Directional Front Baffle Plywood

### Connections

Enclosure

### Finish & Features

Indoor/Outdoor Carpet Handles Wheels

Metal Corners Rubber Feet

MF HP Auto-Resetting Protection

2-Position Equalizer

### Protection & Controls

Dimensions (H x W x D)

30" x 24.25" X 20.25" 199cm x 61.6cm x 54cm

Net Weight

121 lbs 55 kg



## M 15 E

Usable Frequency Response  
 EIA Power Handling Capacity  
 1m SPL @ 1W  
 1m SPL @ Rated Input  
 Nominal Dispersion (H x V Degrees)  
 Nominal Impedance

LF

MF

HF

50Hz - 18kHz  
 200W  
 102dB  
 123dB  
 60 x 60  
 8 ohms  
 (1) 153EV 15" Cone 3" VC

(1) H-25 Diffraction Horn Tweeter

### Crossovers

3kHz 2-Pole LP

3kHz 3-Pole HP

(2) 1 1/4" Phone Jacks

Sealed Direct-Radiating Plywood

### Connections

Enclosure

### Finish & Features

Indoor/Outdoor Carpet Handle Metal Corners

Metal Mesh Grille

MF Auto-Resetting Protection

2-Position Equalizer

### Protection & Controls

Dimensions (H x W x D)

19.5" x 17.25" x 20" 49.5cm x 43.8cm x 50.8cm

# **BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

1. Ballou, Glen  
Handbook for sound engineers  
the new audio cyclopedia  
Editorial: Howard W. Sans & Co.  
Indianapolis, 1988.
2. Davis, Don y Carolyn  
Sound system engineering  
Editorial: Howard W. Sans & Co.,  
Indianapolis, 1989.
3. Davis, Gary y Jones, Ralph  
Yamaha the sound Reinforcement handbook  
Editorial: Hal Leonard  
Mitwaukee, 1990
4. Giddings, Phillip  
Audio system desing & installation  
Editorial: Howard W. Sans & Co.,  
Indianapolis, 1990
5. Clifford, Martin  
Morden audio thecnology  
Editorial: Prentice Hall  
New Jersey, 1992.
6. Runstein, Robert E. Y Huber, Davis Miles.  
Morden recording Techniques  
Editorial: Howard W. Sans & Co.,  
Indianapolis, 1988

7. Eargle, Jhon M.  
Music, sound and technology  
Editorial: Van Nostrand Reinhold  
New York, 1989.
8. Olson, Harry F.  
Music, Physics and engineering  
Editorial: Dover  
New York, 1967
9. Ruiz Vesallo, Francisco  
Manual de altavoces  
Editorial: Cesc s.a.  
Barcelona, 1989.
10. Manuel Recuero  
Acústica Arquitectónica  
Editorial: Paraninfo  
Barcelona, 1982
11. Harris, C. M. y Knudsen V.O  
Acoustical Designing in Architecture.  
Editorial: American Institute of Physics  
New York, 1980
12. Sandoval, Prospero  
Apuntes de acústica  
I.P.N.  
México D.F., 1993.