



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**Facultad de Ingeniería.**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE PANTALLAS  
ACUSTICAS COMPLEMENTARIAS DE SUPER ALTA FIDELIDAD**

**T E S I S**

**Que para obtener el Título de**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**Presenta:**

**Martín Pedro Carrasco Zanella**

**Director de tesis:**

**M. en I. Jorge Rodríguez Cuevas.**

**México, D.F.**

**1996**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

3.5  
24



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.

**A mi madre, en paz descance; y a mi padre:**

De quienes he aprendido que con optimismo, esfuerzo, y respeto, podemos obtener las cosas verdaderamente valiosas de la vida.

**A mis hermanos y hermanas:**

De quienes siempre y a diario he tenido un ejemplo que seguir.

**A Edna Bustamane Arroyo:**

Por todo lo que ha inspirado en mí desde el día en que la conocí.

Mi más sincero agradecimiento para:

**Mis Padres:** Por el respeto que siempre mostraron ante todas las decisiones importantes de mi vida.

**Mi hermano Carlos:** Por todo el apoyo incondicional y consejos que he recibido de su parte.

**Mi hermana Margara:** Por su apoyo en las correcciones de estilo y ortografía hechas para este trabajo.

**Todos mis maestros.** Por la transmisión de su experiencia y conocimientos durante mi estancia en la Facultad de Ingeniería.

En especial a Jorge Rodríguez Cuevas, de quien siempre he tenido buenos recuerdos por sus enseñanzas, y por la ayuda brindada en la presentación de este trabajo.

**Mi amigo Carlos Nuñez.** Por el préstamo de su computadora durante el desarrollo de este trabajo.

## INDICE TEMATICO

Contenido	página
I) INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE AUDIO DE ALTA FIDELIDAD Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.-----	(1)
II) DESCRIPCION GENERAL DE UNA PANTALLA ACUSTICA.-----	(8)
III) FUNDAMENTOS TEORICOS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE PANTALLAS ACUSTICAS COMPLEMENTARIAS DE SUPER ALTA FIDELIDAD.-----	(51)
IV) PRUEBAS, MEDICIONES, Y RESULTADOS, EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE PANTALLAS ACUSTICAS COMPLEMENTARIAS DE SU- PER ALTA FIDELIDAD.-----	(69)
V) CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE PANTALLAS ACUSTICAS COM- PLEMENTARIAS DE SUPER ALTA FIDELIDAD.-----	(95)
VI) CONCLUSIONES.-----	(102)
VI) BIBLIOGRAFIA.-----	(107)

## CAPITULO I

### **INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE AUDIO DE ALTA FIDELIDAD Y PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA**

En teoría, un sistema de audio ideal de alta fidelidad debería de ser capaz de reproducir los sonidos exactamente como los oímos en la realidad. Esto quiere decir que si escuchamos un concierto en vivo de música clásica, por ejemplo, y reproducimos el mismo concierto con el sistema de audio ideal, no deberíamos de apreciar diferencia alguna. Pero en realidad, esto es un imposible, ya que la única forma de reproducir los sonidos que emiten los instrumentos musicales, es con otros instrumentos musicales iguales y aún así, se pueden apreciar diferencias entre unos y otros. Si comparamos los actuales sistemas de audio de alta fidelidad con los instrumentos musicales, nos daremos cuenta de que son dos me-

dios totalmente diferentes que se utilizan para producir los mismos sonidos, es por ello que difícilmente encontraremos un equipo de audio de alta fidelidad que reproduzca los sonidos como lo hacen los instrumentos musicales, o la voz, o toda una orquesta completa. Por lo tanto no existe un sistema de audio de alta fidelidad en el más estricto sentido de la palabra.

Además, si consideramos que una sala de conciertos es muy diferente a la sala de nuestro hogar, acústicamente hablando, el problema de reproducir los sonidos fielmente se complica aún más.

Sin embargo, desde que Thomas Alva Edison inventó el fonógrafo en el año de 1878, y hasta nuestros días, los sistemas de audio que se consideran de alta fidelidad, han logrado una calidad en la reproducción de los sonidos significativamente mayor, gracias a los avances científicos y tecnológicos de cada época, con la intención final de acercarse en la medida de lo posible, a la reproducción realista de los sonidos.

Visto desde el punto de vista técnico, los sistemas han hecho posible esta reproducción dividiendo toda la cadena de audio en cuatro etapas básicas que de una u otra forma manipulan señales eléctricas. Estas etapas son: las fuentes de audio, la de preamplificación, la de potencia y la etapa electroacústica. En la primera etapa se originan las señales eléctricas. Dichas señales son proporcionales a los sonidos previamente grabados en diferentes

medios, y por regla general son muy pequeñas y provienen de los transductores de cada fuente de audio, de aquí que a esta etapa también se le conozca como etapa de transducción. En la segunda etapa de preamplificación es donde las señales entregadas por las fuentes se incrementan un poco, se corrigen para quitarles las imperfecciones introducidas por los mismos transductores y se adecúan a la respuesta del oído humano.

En la tercera etapa de amplificación, las señales entregadas por el preamplificador se incrementan considerablemente a voluntad, cuidando que a la salida del mismo, dichas señales sean prácticamente las mismas que entregó el preamplificador, pero de mayor magnitud.

Finalmente, en la cuarta etapa electroacústica las señales eléctricas entregadas por el amplificador se convierten en señales acústicas que alcanzan nuestros oídos.

Con base en lo anteriormente expuesto es fácil imaginar por qué a los sistemas de audio también se les llama cadenas de audio, en donde el primer eslabón de la cadena queda definido por las fuentes de audio, el segundo por la etapa de preamplificación, el tercero por la etapa de amplificación y el cuarto y último por la etapa electroacústica, todos ellos conectados uno después del otro.

Cada uno de los eslabones de la cadena está formado por un equi-

po o sistema particular que debe de cumplir con un mínimo de calidad para considerarse de alta fidelidad. Este mínimo de calidad está establecido por ciertas normas, las normas DIN (europeas) y las normas IHF (norteamericanas). La intención de estas normas es la de establecer los mismos criterios de medición de los distintos parámetros de los equipos, para que cualquier comprador en cualquier parte del mundo, pueda obtener los mismos resultados con equipos fabricados en distintos países o por distintos fabricantes del mismo país.

Recurriendo a las características técnicas de cada uno de los equipos de la cadena, establecidas por las normas antes mencionadas, podemos determinar si estamos hablando de componentes de alta fidelidad o no.

Entrar en detalle con cada uno de los diferentes parámetros que califican a un equipo particular como de alta fidelidad, no es la intención de este trabajo, sin embargo uno de estos parámetros exige que se le presente suma atención: la distorsión armónica.

La distorsión armónica define matemáticamente el porcentaje de impurezas contenidas en las señales que entrega cada equipo de la cadena, de manera tal, que mientras más pequeño sea este porcentaje para cada equipo, mejor calidad tendrá éste, y el resultado final de toda la cadena será mejor. Esto es algo que se debe tomar en consideración para cualquier cadena, por simple que

sea, ya que basta con que uno solo de los equipos de la cadena no cumpla con el mínimo establecido por las normas para que la reproducción sea pobre.

En otras palabras la distorsión armónica total de la cadena es la suma de los porcentajes de cada uno de los equipos que la forman.

Desde el punto de vista de la configuración de una cadena de alta fidelidad, podemos decir que ésta es muy variada, ya que no es necesario tener una gran cantidad de equipos en la misma para que ésta se considere de alta fidelidad. De esta manera podemos tener una cadena de excelente calidad configurada por tan sólo cuatro elementos: una fuente de audio (tornamesa), un preamplificador, un amplificador de potencia y un par de pantallas acústicas.

Esta cantidad de equipos podría reducirse a tres elementos si utilizamos un amplificador integrado (preamplificador y etapa de potencia en un solo gabinete). Si el presupuesto nos lo permite podríamos ampliar la cadena agregando otras fuentes que aportarán la señal de audio al amplificador integrado. Todos conocemos cuáles son estas fuentes: el magnetofón o tocacintas, sintonizador de radio frecuencias y reproductor de discos compactos.

Imprescindibles en toda cadena de audio son el amplificador integrado y las pantallas acústicas, dado que la cantidad de equipos

pertenecientes a las fuentes de audio en realidad depende del presupuesto y de qué tan versátil queramos que sea la cadena.

Sin embargo, existe otro equipo que sin ser indispensable en la cadena de audio, es utilizado con bastante frecuencia por el aficionado a la alta fidelidad. Se trata del ecualizador gráfico, el cual fue construido con la finalidad de compensar las deficiencias acústicas del recinto en donde se escuchará la música, por un lado, y, por el otro, con la finalidad de lograr lo que se conoce como isofonía. Esto quiere decir que mediante el ecualizador también podemos lograr que todas las frecuencias que escuchan nuestros oídos finalmente lleguen a los mismos con la misma intensidad sonora, sin que unas predominen sobre otras, logrando así una uniformidad sonora muy agradable.

Ahora bien, toda cadena de alta fidelidad termina en las pantallas acústicas, y es a esta etapa de la cadena a la que debemos poner especial atención una vez que se han escogido los equipos adecuados. Las pantallas acústicas son las responsables de convertir las señales eléctricas provenientes del amplificador de potencia, en señales acústicas proporcionales. Esto quiere decir que son precisamente las pantallas acústicas las responsables de imitar todo lo que nuestros oídos son capaces de escuchar, y deben hacerlo de la forma más realista posible.

Esta es la causa por la cual el presupuesto no debe de ser el mo-

tivo para detenernos al adquirir las pantallas acústicas, tomemos en cuenta que no es nada fácil la tarea que les corresponde desarrollar, y que en gran medida el éxito de una cadena de alta fidelidad depende de esta etapa.

Podríamos decir que el 50% del éxito en la reproducción realista de los sonidos depende de las pantallas acústicas y el otro 50% depende de los equipos restantes de la cadena.

Dada la importancia que representan las pantallas acústicas en toda cadena de alta fidelidad, explicaremos a lo largo de este trabajo cómo funcionan todos los elementos que típicamente las componen. Una vez comprendida la filosofía que se ha seguido hasta nuestros días para el diseño de pantallas acústicas de alta fidelidad, desarrollaremos un sistema de pantallas acústicas complementarias de super alta fidelidad, apartándonos de las tendencias clásicas y haciendo ciertas consideraciones poco usuales.

## **CAPITULO II**

### **DESCRIPCION GENERAL DE UNA PANTALLA ACUSTICA**

Toda pantalla acústica está destinada a reproducir de la mejor manera posible todas aquellas frecuencias que para el oído humano son audibles. Estas frecuencias están comprendidas en el intervalo de 20Hz hasta 20KHz aproximadamente, y a este intervalo de frecuencias se le ha denominado el espectro audible.

Típicamente y desde hace algunas décadas las pantallas acústicas han hecho uso de tres elementos básicos para poder lograr este objetivo. Como todos sabemos estos elementos son: los altavoces o bocinas, los filtros divisores de frecuencia o filtros de cruce y las cajas acústicas.

## 1.- Los altavoces.

Un altavoz en realidad no es otra cosa más que un transductor electroacústico. Esto quiere decir que los altavoces tienen la capacidad de transformar energía eléctrica en energía acústica, de aquí su nombre.

Dicha transformación de energía no se lleva a cabo de forma directa, sino que los altavoces primero transforman la energía eléctrica en energía mecánica, y posteriormente, transforman esta última en energía acústica.

Atendiendo a los diferentes elementos constitutivos de los altavoces que hacen posible estas transformaciones de energía y al intervalo de frecuencias del espectro audible para el cual están destinados, pueden hacerse varias clasificaciones de los mismos.

1. Según los elementos eléctricos, los altavoces se clasifican en:

- a) Altavoces dinámicos.
- b) Altavoces electrodinámicos.
- c) Altavoces electrostáticos.
- d) Altavoces piezoeléctricos.

2. Según los elementos mecánicos, la clasificación queda como

sigue:

- a) Altavoces de bobina móvil.
- b) Altavoces de hierro móvil.

3. Según los elementos acústicos, los altavoces se dividen en:

- a) Altavoces de membrana metálica.
- b) Altavoces de membrana cónica de cartón, polipropileno o fibra de carbón.

4. Por último, atendiendo al intervalo de frecuencias que pueden reproducir, los altavoces se clasifican en:

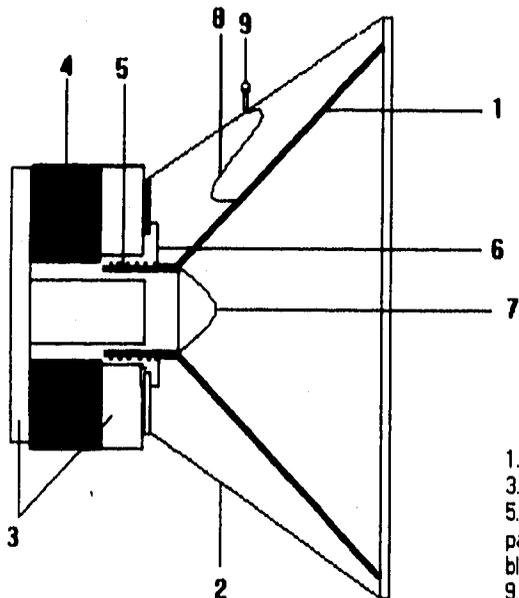
- a) Altavoces de uso general.
- b) Altavoces reproductores de frecuencias bajas.
- c) Altavoces reproductores de frecuencias medias.
- d) Altavoces reproductores de frecuencias altas.
- e) Altavoces especiales de rango extendido.

De todos los tipos de altavoces, el dinámico es el más utilizado en pantallas acústicas de alta fidelidad, ya que reúne algunas características generales muy superiores a los demás tipos. Es por ello que prestaremos especial atención a este tipo de altavoces.

Un altavoz dinámico está constituido por las siguientes partes e-

senciales, como se muestra en la figura 1.

- 1- Cono o diafragma.
- 2- Campana o canastilla.
- 3- Yugo
- 4- Imán permanente.
- 5- Bobina móvil o bobina de voz.
- 6- Araña o centrador.
- 7- Cubre polvo.
- 8- Cables de conexión de la bobina móvil.
- 9- Bornes de entrada.



1. Cono o diafragma.- 2. Campana .
3. Yugo.- 4. Imán permanente.
5. Bobina móvil.- 6. Araña.- 7. Ta-  
pa de retención de polvo.- 8. Ca-  
bles de conexión a la bobina móvil.
9. Bornes de entrada.

**Figura 1.** Partes constitutivas de un altavoz.

**Cono.**

El cono o diafragma es la parte difusora del sonido de cualquier altavoz dinámico, normalmente existe un compromiso entre la masa y las dimensiones del cono, y las frecuencias para las cuales se destina el altavoz.

Por razones de respuesta dinámica los altavoces que están destinados a reproducir las frecuencias bajas, tienen un cono masivo y de gran diámetro (10", 12", 15" o más). Los altavoces destinados a reproducir las frecuencias medias tienen un cono no tan masivo y con un diámetro menor (4", 5.25", 6" y hasta 8"). Finalmente los altavoces destinados a reproducir las frecuencias altas tienen un cono extremadamente liviano y no mayor a 2".

La forma del cono es muy diversa, según las frecuencias para las cuales esté destinado, las características de directividad y la potencia que podrá admitir el altavoz.

**Campana o Canastilla.**

La finalidad de la campana de lámina delgada y troquelada o de acero colado es múltiple, ya que, además de servir como soporte a todas las piezas constituyentes del altavoz, posee una serie de orificios en su contorno para la sujeción del altavoz a la caja acústica, mediante tornillos adecuados.

Una de las medidas más críticas de la campana es su altura, ya que el cono no debe ejercer esfuerzo alguno sobre la araña o centrador, pues de lo contrario aumentaría considerablemente la impedancia mecánica de todo el conjunto móvil del altavoz.

### **Yugo.**

El yugo tiene dos finalidades básicamente; una de ellas es alojar en su interior al imán permanente, y la otra es hacer extensivos los polos del mismo. Esto último con la finalidad de crear una zona en la cual la densidad de flujo magnético sea uniforme y con disposición radial para poder "sumergir" en ella a la bobina móvil.

El yugo debe estar fabricado con un material de alta permeabilidad magnética con el fin de evitar, en la medida de lo posible, pérdidas del campo magnético proporcionado por el imán.

### **Imán Permanente.**

El imán permanente es uno de los elementos más importantes de cualquier altavoz dinámico. El imán, podemos decirlo así, es parte del "motor" de un altavoz dinámico.

Gracias a él tenemos un campo magnético permanente indispensable para producir una fuerza sobre el conjunto de la bobina móvil

y el cono.

En la actualidad estos imanes se fabrican con óxidos ferromagnéticos (ferroxdure), lo que permite inducciones magnéticas muy superiores a la de los imanes clásicos.

### **Bobina móvil.**

La bobina móvil es otro de los elementos más importantes de un altavoz, ya que constituye la otra parte del "motor" de los mismos. Cuando una corriente eléctrica circula por ella, se genera un campo magnético a su alrededor. Este campo magnético interactúa con el campo propio del imán permanente, generando así la fuerza que la impulsará junto con el cono del altavoz al cuál está sujeta.

Normalmente la bobina móvil esta constituida por un devanado montado sobre un cilindro de papel o aluminio. Dicho cilindro debe de ser lo más delgado posible, con la finalidad de reducir el entrehierro del yugo y lograr así una mejor uniformidad del campo magnético en el cual está "sumergida". Además el cilindro sobre el cual está devanada la bobina debe tener ciertas características muy especiales, ya que debe ser capaz de soportar los esfuerzos que se originan durante el embobinado, así como los provocados por la misma fuerza que se produce en ella y la que produce la araña o centrador durante el movimiento vibratorio.

El devanado de la bobina debe de ser realizado con gran exactitud, tanto eléctrica como mecánicamente. El grueso del alambre depende de la carga que debe admitir el altavoz y su aislamiento debe ser de gran calidad para evitar cortocircuitos entre espiras.

Tomemos en consideración que en los altavoces de alta potencia la corriente que circula por la bobina es muy elevada, pudiéndose alcanzar en ella, por efecto joule, temperaturas cercanas a los 200° C.

#### **Araña o Centrador.**

La misión de la araña de cualquier altavoz dinámico es la de centrar la bobina móvil en el entrehierro del yugo, con el fin de que no se produzcan rozamientos entre la bobina móvil y el entrehierro, evitando así que el aislante del conductor de la bobina móvil se raspe y provoque cortocircuitos entre espiras.

La araña va colocada en el cuello del cono, siendo la pieza que sirve de unión entre éste y la bobina móvil, normalmente su perfil es ondulado y con gran flexibilidad en sentido axial para permitir el desplazamiento de ambos con la menor impedancia mecánica posible.

#### **Cubrepolvo.**

El cubrepolvo en realidad es una pequeña tapa de forma semiesfé-

rica que se pone en el cuello del cono para evitar que se introduzca el polvo entre la bobina móvil y el entrehierro del yugo, evitando así que las partículas de polvo que se pudieran introducir provoquen un rozamiento o vibración indeseada.

#### **Sistema de conexión de la bobina móvil.**

El sistema de conexión de un altavoz dinámico consta de dos cables extremadamente flexibles que unen los extremos del devanado de la bobina móvil por la parte delantera del cono con dos bornes situados en la campana del mismo. Dichos bornes deben de estar completamente aislados de la campana, para evitar cortocircuito, y normalmente son robustos y con forma de tornillo para poder asegurar un buen contacto con los cables provenientes del amplificador.

#### **Características técnicas de un altavoz.**

Podemos resumir las características de un altavoz como sigue:

- 1.- Impedancia.
- 2.- Frecuencia de resonancia.
- 3.- Respuesta en frecuencia.
- 4.- Potencia admisible.
- 5.- Directividad o Direccionalidad.
- 6.- Distorsión.

- 7.- Rendimiento.
- 8.- Sensibilidad.
- 9.- Resistencia de la bobina móvil.
- 10.- Campo magnético del imán permanente.

### 1) **Impedancia**

La impedancia de un altavoz depende mucho de su forma constructiva.

Los factores determinantes de la impedancia de un altavoz son:

a) La resistencia óhmica del conductor de la bobina móvil, dependiente de la longitud, sección transversal y conductividad del material del conductor. Se calcula por la fórmula:

$$R = \delta \frac{l}{S} \quad (1)$$

siendo  $R$  la resistencia distribuida a lo largo de la bobina,  $\delta$  la resistividad propia del material utilizado para el conductor (generalmente cobre),  $l$  la longitud del conductor y  $S$  el área de su sección transversal.

b) La reactancia inductiva de la bobina móvil, dependiente de la frecuencia de la señal que la atraviesa y del coeficiente de autoinducción de la misma, según la fórmula:

$$X_l = 2\pi fL$$

(2)

en donde  $X_l$  es la reactancia inductiva,  $f$  la frecuencia de la señal que la atraviesa y  $L$  el coeficiente de autoinducción.

c) Las corrientes inducidas en la bobina móvil, a causa de sus desplazamientos dentro del campo magnético de excitación del imán permanente.

Este tercer factor es el más delicado y difícil de mantener constante, pues como la bobina móvil arrastra en su movimiento al cono y a la masa de aire que lo rodea, dichos desplazamientos estarán condicionados por la forma constructiva del altavoz (masa del cono, elasticidad de suspensión, volumen del aire contenido en la caja acústica, etc.).

Es por este motivo que los fabricantes de altavoces indican la impedancia de los mismos para una frecuencia dada, y ya preestablecida internacionalmente, cuyo valor es de 1Khz. A la impedancia medida a esta frecuencia se le ha denominado la impedancia nominal del altavoz y los valores más usuales en la actualidad son de 4 y 8 ohms.

## 2) Frecuencia de resonancia.

La frecuencia de resonancia de un altavoz es la frecuencia diná-

mica de vibración del cono y la bobina móvil.

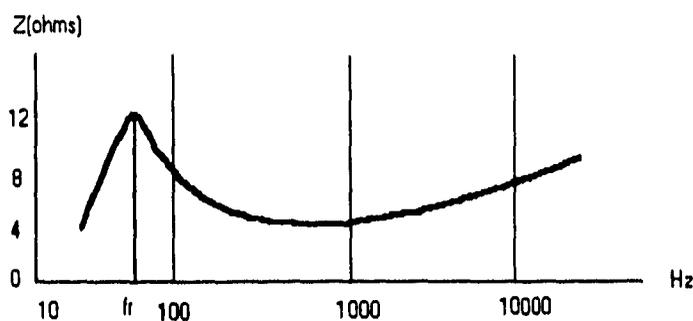
Si a un altavoz se le aplica un impulso eléctrico que separe la bobina móvil y el cono de su posición de equilibrio, y dicho impulso se corta bruscamente, la bobina móvil y el cono oscilarán con una cierta frecuencia fija, de amplitud de onda asintóticamente decreciente, hasta recuperar su posición de equilibrio. Dicha frecuencia es la frecuencia de resonancia del altavoz.

Esta frecuencia es de suma importancia por varias razones. En primer lugar, dicha frecuencia define el límite inferior de respuesta en frecuencia del altavoz, es decir, el altavoz es inoperante para frecuencias inferiores a la de resonancia. En segundo lugar, cuando la frecuencia de la señal eléctrica proveniente del amplificador coincide con la de resonancia del altavoz, la amplitud de su desplazamiento axial es máxima. Por tanto, es a esta frecuencia cuando más sufre el altavoz y cuando entrega la mayor potencia acústica. Por último en la frecuencia de resonancia del altavoz, la impedancia de la bobina de voz alcanza su valor máximo.

En la figura 2 puede verse la curva de impedancia típica de un altavoz en función de la frecuencia, y en la que se ha señalado la frecuencia de resonancia ( $f_r$ ) del mismo.

Básicamente la frecuencia de resonancia de un altavoz se puede modificar variando la masa de su cono, la rigidez de la araña y

suspensión del altavoz.



**Figura 2.** Curva característica de impedancia de un altavoz en función de la frecuencia.

Mientras mayor masa tenga el cono del altavoz, menor es su frecuencia de resonancia y viceversa. Asimismo mientras mayor sea la rigidez de la araña o centrador y de la suspensión del cono mayor será la frecuencia de resonancia.

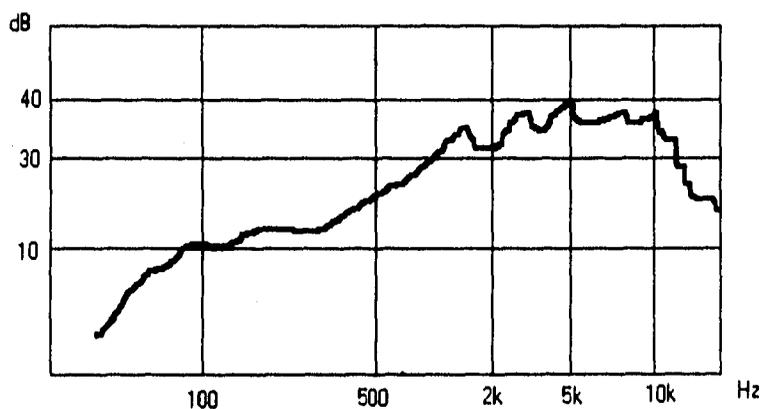
Cabe mencionar aquí que la frecuencia de resonancia de un altavoz cambia al montar éste en su caja acústica.

### 3) Respuesta en frecuencia.

La curva de respuesta en frecuencia es una de las característi-

cas más importantes de los altavoces, ya que mediante ella podemos conocer la intensidad sonora proporcionada por el altavoz para cada una de las frecuencias de audio que debe de reproducir, es decir, se trata de la curva característica intensidad sonora en función de la frecuencia.

La figura 3 muestra una curva típica de la respuesta en frecuencia de un altavoz. Como podemos ver, la curva no es perfectamente plana; esto implica que el altavoz tiene ciertas deficiencias para reproducir algunas frecuencias, sobre todo donde la curva disminuye mucho en intensidad.



**Figura3.** Curva característica de respuesta en frecuencia de un altavoz.

Dado que la intención final de cualquier pantalla acústica de alta fidelidad es mantener esta curva de respuesta en frecuencia

lo más plana posible, es decir, lo más parecido posible a una recta horizontal, se recurre a la utilización de dos o tres altavoces cuyas respuestas en frecuencia abarquen distintas zonas y cuya superposición de efectos cubran todas las frecuencias del espectro audible a un solo nivel.

Este es el motivo por el cual la gran mayoría de las pantallas acústicas de alta fidelidad cuentan con más de un altavoz.

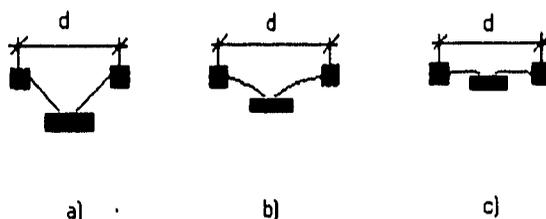
Cabe mencionar que un pico de la curva de respuesta en frecuencia de cuatro a cinco decibeles en la zona media ( 1KHz a 8 KHz aprox.) puede causar el efecto de un sonido chillón o muy brillante. Varios picos con cierto espaciamiento dan la impresión de un sonido hueco, y una muesca o valle puede ser reflejo de un sonido ausente y sin vida.

#### **4) Potencia admisible.**

La potencia admisible por un altavoz es el valor máximo de potencia eléctrica que puede aplicársele durante un corto intervalo de tiempo, sin que sufra daño alguno.

No debe de confundirse la potencia admisible o potencia musical que soporta el altavoz con la potencia de régimen o potencia promedio cuadrática, la cuál es la potencia máxima que puede aplicarse a un altavoz en forma continua.

Por regla general la potencia de un altavoz depende de sus dimensiones y forma constructiva. Los altavoces con cono de sección recta (Fig.4a), admiten mayores potencias, a igualdad de diámetro, que los altavoces con cono de sección elíptica o plana (Fig. 4b y 4c).



**Figura 4.** a) Altavoz con diafragma cónico de sección recta. b) Altavoz con diafragma de sección elíptica. c) Altavoz con diafragma de sección plana.

##### 5) Directividad o Direccionalidad.

Por regla general no todos los altavoces de una pantalla irradian la energía acústica con la misma intensidad en todas las direcciones del espacio, es decir, en forma omnidireccional. Para poder determinar cual es la intensidad sonora que obtendremos de un altavoz según la posición en la que nos encontremos con respecto a él, es necesario recurrir a sus características de direccionalidad.

Para conocer la direccionalidad de un altavoz se recurre a los

diagramas polares de directividad. Las curvas de directividad se trazan para diversas frecuencias, ya que a medida que la frecuencia aumenta, para un mismo cono, el altavoz se hace más directivo. Esto quiere decir que mientras más alta sea la frecuencia, los sonidos emitidos por el altavoz tienden a dirigirse en la dirección del eje axial del altavoz, y tendremos que situarnos justo enfrente del altavoz para poder escucharlos con mayor intensidad.

Normalmente los diagramas polares de directividad de un altavoz se obtiene estando éste al vacío, es decir, fuera de su caja de resonancia acústica. En las figuras 5 y 6 se muestran los diagramas polares de directividad de un altavoz para 2 y 10KHz respectivamente.

Dichos diagramas indican cómo la intensidad sonora en decibelios cambia según sea la posición en la que nos encontremos respecto al eje axial del altavoz, marcado con  $0^\circ$  en el diagrama. Como podemos notar, al aumentar la frecuencia la intensidad disminuye unos 15dB a  $240^\circ$  y  $120^\circ$  del eje axial del altavoz. Este fenómeno se conoce con el nombre de "cortocircuito acústico", y ocurre cuando la profundidad del cono del altavoz corresponde a la mitad de la longitud de onda de las ondas sonoras producidas, y se debe a la interacción de las ondas sonoras producidas en la parte frontal del cono y las producidas en la parte trasera del mismo, provocando cancelación. Esta interacción puede reducirse

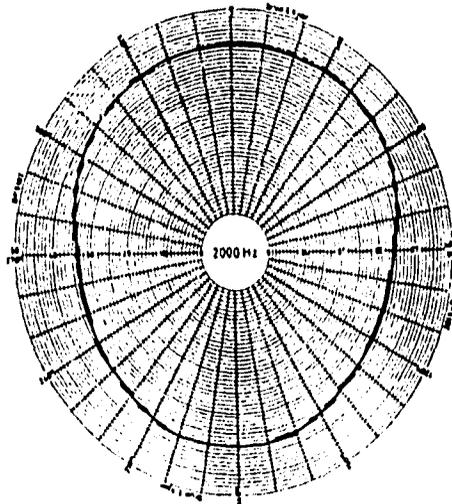


Figura 5.

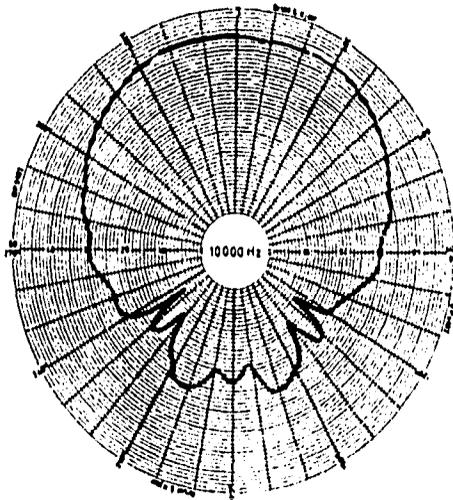


Figura 6.

**Figuras 5 y 6.** Diagramas polares de directividad para un altavoz a 2Khz y 10Khz.

considerablemente montando el altavoz sobre una caja acústica, de tal manera que las ondas sonoras producidas en ambas caras del cono queden separadas. De estas cajas hablaremos más tarde.

## 6) Distorsión.

Básicamente la distorsión armónica es la que más se presenta en los altavoces. Dicha distorsión suele representarse por medio de curvas separadas por armónicos, ya que es importante conocer de que número de armónico se trata. Como todos sabemos, la distorsión producida por los armónicos impares ( 3,5,7, etc.) es mucho más desagradable que la producida por los armónicos pares, pues éstos están en armonía con la frecuencia de la onda fundamental.

La distorsión armónica en los altavoces no sigue una gráfica lineal, es decir, no existe el mismo porcentaje para todas las frecuencias del espectro audible. Generalmente la distorsión armónica aumenta a medida que disminuye la frecuencia.

Todas las curvas de distorsión armónica de los altavoces deben ser referidas al mismo nivel de salida en condición anecoica, es decir, este nivel se obtiene operando el altavoz dentro de un recinto totalmente ausente de eco y corresponde a 90 dB de presión sonora (SPL) a un metro de distancia axial, independientemente de la señal eléctrica que se necesite para producirlos.

## 7) Rendimiento.

El rendimiento de un altavoz es la relación existente entre la potencia de salida del altavoz y la suministrada por el amplifi-

gador. Se expresa en tanto por ciento según la fórmula:

$$\tilde{N} = (P_{alt.}/P_{amp.}) (100)$$

El rendimiento de los altavoces es muy reducido (del orden de 3 a 5% para altavoces de alta fidelidad) dado que los altavoces son muy deficientes en la transformación de energía eléctrica en acústica, produciéndose grandes pérdidas en los mismos.

### **8) Sensibilidad.**

La sensibilidad de un altavoz se define como el nivel de presión sonora producida por el altavoz a una determinada distancia (generalmente un metro), cuando el altavoz es alimentado por una potencia de un Watt.

Con este dato podemos conocer que potencia del amplificador se necesita para obtener un determinado nivel de audición.

Por ejemplo: supongamos que deseamos obtener un nivel de audición de 100 dB en los pasajes fuertes, y se dispone de una pantalla acústica cuya sensibilidad es de 86 dB/W a un metro .

Con estos datos se procede como sigue:

Primero se restan los decibeles de la pantalla de los deseados,

obteniéndose los decibeles a añadir:

$$100 \text{ dB} - 86 \text{ dB} = 14 \text{ dB}$$

A continuación se calcula la potencia que deberá suministrar el amplificador, a partir de la fórmula:

$$P_{amp} = \text{antlog } 14 \text{ dB}/10 = 25W$$

#### **9) Resistencia de la bobina móvil.**

La resistencia de la bobina móvil es la resistencia, en corriente continua, del conductor que forma el devanado de la bobina móvil. Esta resistencia determina, en parte, cuál es la potencia disipada en forma de calor y por efecto Joule al paso de la corriente eléctrica en la misma. Normalmente el valor de esta resistencia oscila entre 2 y 8 ohms, aunque pueden encontrarse altavoces con resistencia de la bobina móvil mucho más elevada.

#### **10) Campo magnético del imán permanente.**

El campo del imán permanente es una de las características más importantes de un altavoz, ya que la densidad de flujo del mismo nos indica que intensidad sonora podemos obtener de él.

Mientras mayor sea el imán de un altavoz, mayor será la densidad de flujo producido en el entrehierro del yugo, y por lo tanto,

menor tendrá que ser la intensidad de corriente para producir una fuerza determinada en la bobina móvil y el cono del altavoz.

Esto quiere decir que mientras más grande sea el imán de un altavoz, más eficiente será, ya que su sensibilidad aumenta y por consiguiente se necesita menor potencia eléctrica para lograr el mismo nivel de audición.

Normalmente la densidad de flujo del campo magnético presente en el entrehierro del yugo (medido en Teslas) no es un dato que proporcione el fabricante, pero podemos acudir al peso del imán para saber qué tan grande es. Por regla general un imán de mayor peso y de aspecto robusto es un indicativo de un altavoz de mejor calidad.

#### **Altavoces reproductores de frecuencias bajas.**

Los altavoces reproductores de frecuencias bajas poseen una frecuencia de resonancia muy baja, de forma que puedan reproducir las notas más graves del espectro audible.

La razón por la cual su frecuencia de resonancia es muy baja se debe al hecho de que por debajo de esta frecuencia el altavoz es inoperante, como ya habíamos mencionado. Mencionamos también, al estudiar el concepto de frecuencia de resonancia, que dicha frecuencia disminuye al aumentar la masa y dimensiones del cono del

altavoz. Es por ello que los altavoces reproductores de frecuencias bajas son los de mayores dimensiones y generalmente los más elásticos, es decir, los que menor rigidez tienen en su araña y suspensión que fija al cono en la parte superior de la campana (suspensión de aire) permitiendo así un mejor movimiento axial.

Cuando a un altavoz para tonos graves se le aplica una señal de frecuencia muy baja, todo el cono se desplaza, proporcionando un rendimiento excelente para dichas notas. Sin embargo, al aplicarle una señal de frecuencia elevada, sólo una pequeña parte del cono, periférica a la bobina móvil, radia energía acústica. El resto del cono prácticamente no se mueve. Esto explica por que los altavoces reproductores de frecuencias bajas proporcionan un bajo rendimiento para las notas de frecuencia elevada (agudos).

La curva de respuesta de un altavoz para tonos graves debe presentar su máximo alrededor de 20 Hz (límite inferior del espectro audible), existiendo altavoces en el mercado cuya frecuencia de resonancia es aún más pequeña. Sin embargo, altavoces de este tipo con frecuencias de resonancia mayores (entre 40 y 80 Hz) son perfectamente aceptables en pantallas acústicas de alta fidelidad, ya que en realidad escuchar una frecuencia de 20 Hz implica un oído superdotado o extremadamente bien educado. La parte recta de la curva de respuesta no debe extenderse más allá de 3KHz, para presentar una frecuencia de corte acústico alrededor de 4KHz.

El diámetro de los altavoces de este tipo debe ser, como mínimo, de 12" para obtener una reproducción realista de las frecuencias bajas, aunque existen altavoces con dimensiones inferiores que proporcionan excelentes resultados.

#### **Altavoces reproductores de frecuencias medias.**

Este tipo de altavoces generalmente posee una frecuencia de resonancia comprendida entre 100 y 200 Hz y una frecuencia de corte acústico comprendida entre los 6 y 8 KHz.

Puede emplearse como altavoz para medios cualquier altavoz de buenas características cuyo diámetro este comprendido entre 4 y 8".

Dado que corresponde a este altavoz reproducir todas aquellas frecuencias alrededor de las cuáles gira la gran mayoría de la música, y que corresponden a las frecuencias que el oído humano escucha mejor, es preciso poner extrema atención en el mismo, si lo que queremos es lograr alta fidelidad. De esto hablaremos en los siguientes capítulos que constituyen la parte central de este trabajo.

#### **Altavoces reproductores de frecuencias altas.**

Al estudiar los altavoces reproductores de frecuencias bajas, se

dijo que la reproducción de las notas bajas es tanto mejor cuanto mayor sea el diámetro y masa del cono; lógicamente queda claro que cuanto menor sea la masa y diámetro del cono mejor será la reproducción de los agudos (notas de frecuencia elevada).

Este es el motivo por el cual este tipo de altavoces generalmente tiene un cono que no excede las 2", y normalmente el cono es de forma semiesférica para evitar la excesiva direccionalidad de los mismos. Algunos altavoces de este tipo llevan colocada en el frente una trompeta de perfil exponencial para mejorar aún más la direccionalidad, aunque existen altavoces de este tipo sin trompeta de excelente calidad.

La frecuencia de resonancia de estos altavoces se encuentra entre los 1000 y 4000 Hz, con una frecuencia de corte acústico situada en ocasiones por encima de los 20KHz (límite superior de las frecuencias audibles).

## **2.-Filtros divisores de frecuencia o filtros de cruce.**

Las técnicas comunes en alta fidelidad recurren, por regla general, a dividir el espectro audible en subespectros o "vías".

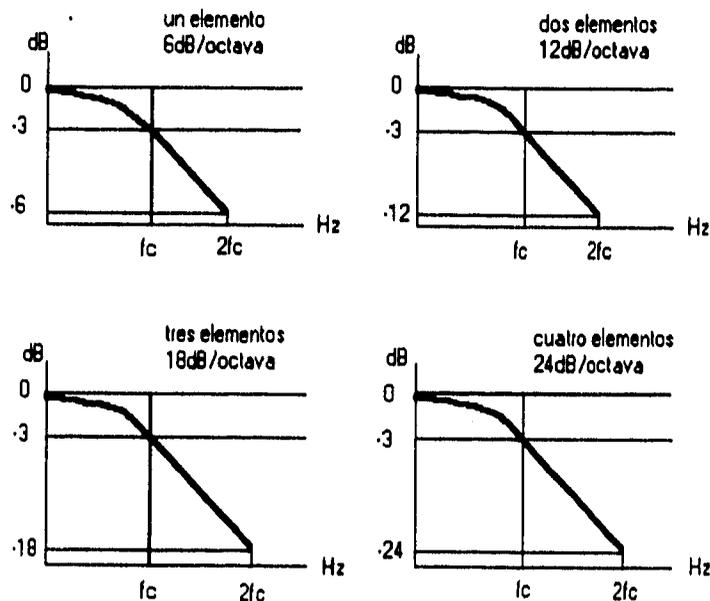
Estas "vías" se logran utilizando filtros eléctricos, con la intención de que a cada altavoz le lleguen únicamente las frecuencias que puede reproducir.

De esta manera al altavoz reproductor de frecuencias bajas (Woofer) se le diseña un filtro que deje pasar libremente las frecuencias bajas, (filtro pasa bajas). Al altavoz reproductor de frecuencias medias (Medios) se le diseña un filtro que deje pasar libremente las frecuencias medias, (filtro pasa banda), y al altavoz reproductor de frecuencias altas (Tweeter) se le diseña un filtro que deje pasar libremente las frecuencias altas (filtro pasa altas).

Para las aplicaciones de alta fidelidad, las transferencias de tales filtros quedan definidas por los siguientes características:

- a) La atenuación en la frecuencia crítica o de corte es de  $-3\text{dB}$  (punto de potencia media).
- b) Fase y pendiente de atenuación son cada una en ese punto la mitad de la final.
- c) La pendiente de atenuación se aproxima asintóticamente al nivel  $0\text{dB}$  a partir de la frecuencia de corte, y tiene una pendiente de  $6\text{dB/octava}$ , multiplicada por el número de elementos reactivos del filtro (Fig.7).
- d) Si dos de tales filtros tienen respuestas complementarias (las mismas frecuencias de corte, con el mismo número de elementos re-

activos, pero atenuando en direcciones opuestas) y se alimentan de una fuente común, la potencia total entregada a sus dos salidas será constante, suponiendo que están correctamente terminados, es decir, impedancia terminal del filtro igual a la impedancia de imagen del mismo.



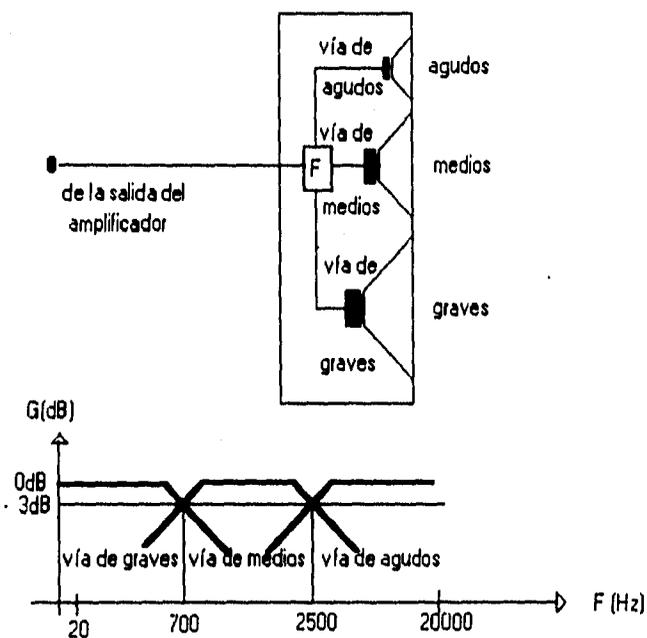
**Figura 7.** Transferencia de los filtros pasabajos de acuerdo al número de elementos reactivos empleados.

e) Asimismo, si dos de tales filtros están correctamente termina-

dos, la impedancia combinada que presentan en su entrada será una resistencia constante igual a la resistencia terminal.

f) La diferencia de fase entre salidas complementarias es constante, de acuerdo al número de elementos.

La figura 8. muestra una pantalla acústica típica de tres "vías" y la transferencia de los filtros.



**Figura 8.** Pantalla acústica típica de tres vías.

Notamos en la figura 8 las dos frecuencias para las cuales las

curvas de transferencia se cruzan en  $-3\text{dB}$ . Este es el motivo por el cuál los filtros así diseñados se denominan filtros de cruce, o los bien conocidos Crossover Filters.

Los valores de las frecuencias mostradas se escogen de acuerdo a las características de respuesta en frecuencia de cada altavoz y del criterio del diseñador. Para nuestro ejemplo notamos que la frecuencia de cruce inferior se encuentra situada en  $700\text{Hz}$ , y que la frecuencia de cruce superior se encuentra situada en  $2500\text{Hz}$ . Estas dos frecuencias definen las tres bandas de paso necesarias para la pantalla acústica.

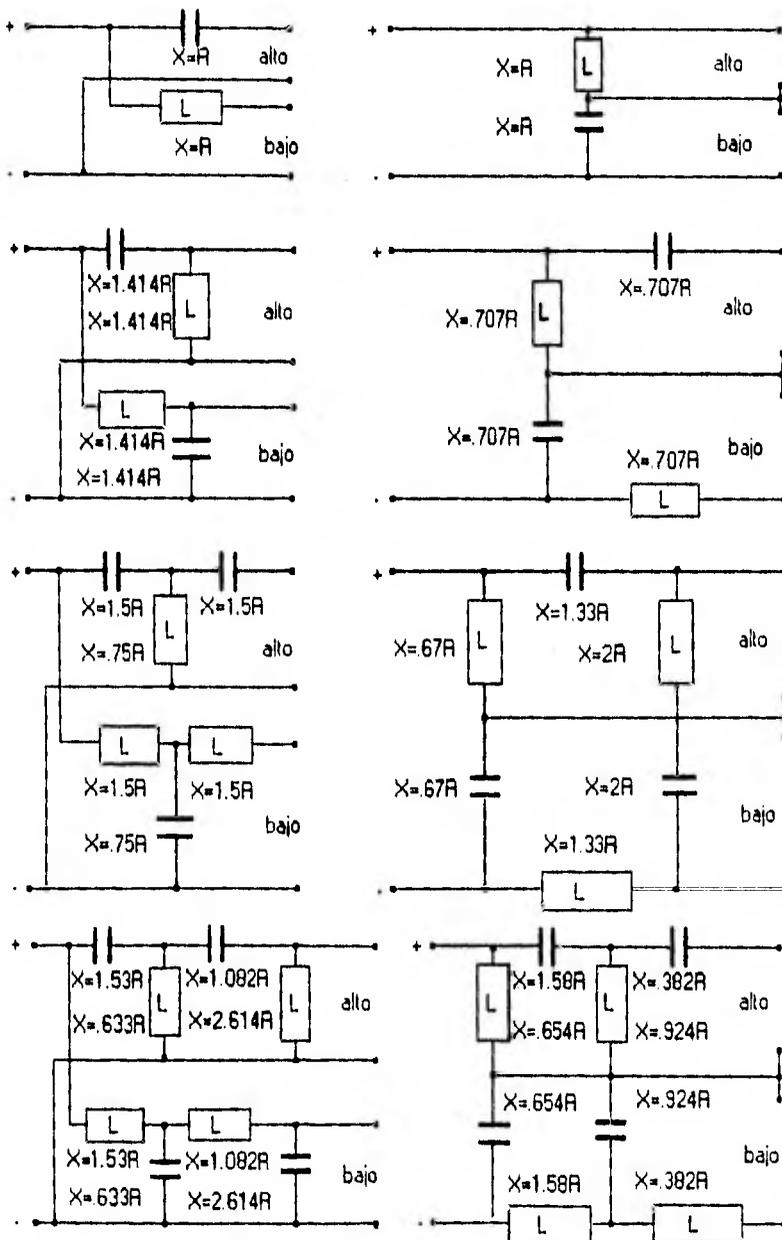
Desde  $20\text{Hz}$  hasta  $700\text{Hz}$  las señales de audio pasan libremente al altavoz reproductor de frecuencias bajas ("vía" de graves), a partir de  $700\text{Hz}$  hasta  $2500\text{Hz}$  las señales de audio pasan libremente al altavoz reproductor de frecuencias medias ("vía" de medios), y a partir de  $2500\text{Hz}$  hasta  $20,000\text{Hz}$  las señales de audio pasan libremente al altavoz reproductor de frecuencias altas ("vía" de agudos).

Existen diversos filtros con los cuales se pueden lograr exactamente las mismas "vías" mostradas en la figura 8. Lo único que establece la diferencia es la pendiente de atenuación que queramos en nuestro arreglo de filtros en la configuración de cruce.

Esta pendiente queda definida por el número de elementos reactivos

que contiene cada filtro, pudiéndose calcular las frecuencias de cruce según las formulas de la teoría de filtros para cada caso.

La figura 9. presenta una variedad de filtros de este tipo, pasa altas y pasa bajas, conectados en serie y en paralelo, utilizando desde un elemento (6dB/octava de atenuación) hasta cuatro elementos en cada sección (24dB/octava de atenuación), con los valores de reactancia en la frecuencia de corte indicados.



**Figura 9.** Variedad de filtros pasa altas y pasa bajas.

Esta es una manera conveniente de diseñar estos filtros ya que permite a la vez una clara visión de su funcionamiento.

La figura 10. presenta los circuitos para filtros pasa banda de dos a ocho elementos por sección.

Cabe mencionar aquí que en alta fidelidad la gran mayoría de los filtros de cruce tienen pendientes en su banda de atenuación que no exceden los 18dB por octava. Esto se debe al hecho de que pendientes mayores a los 18dB por octava pueden hacer al filtro demasiado selectivo, provocando deficiencias en la reproducción de las frecuencias del espectro audible, y por lo tanto que la pantalla acústica no se oiga bien.

### **3.- Cajas acústicas.**

Todo altavoz operando al vacío, es decir, sin recinto acústico o caja, tiene un rendimiento acústico muy pobre. Esto se debe al hecho de que todo altavoz radia energía sonora no sólo por la parte frontal del cono, sino también por la trasera. Esta forma de radiar la energía acústica, en lugar de mejorar los resultados y aumentar el volumen sonoro, como en principio podría parecer, es contraproducente, ya que las ondas sonoras generadas en ambas caras del cono están en oposición de fases, y por lo tanto sus efectos se anulan parcialmente.

Para evitar esto debe de montarse el altavoz en un recinto o caja

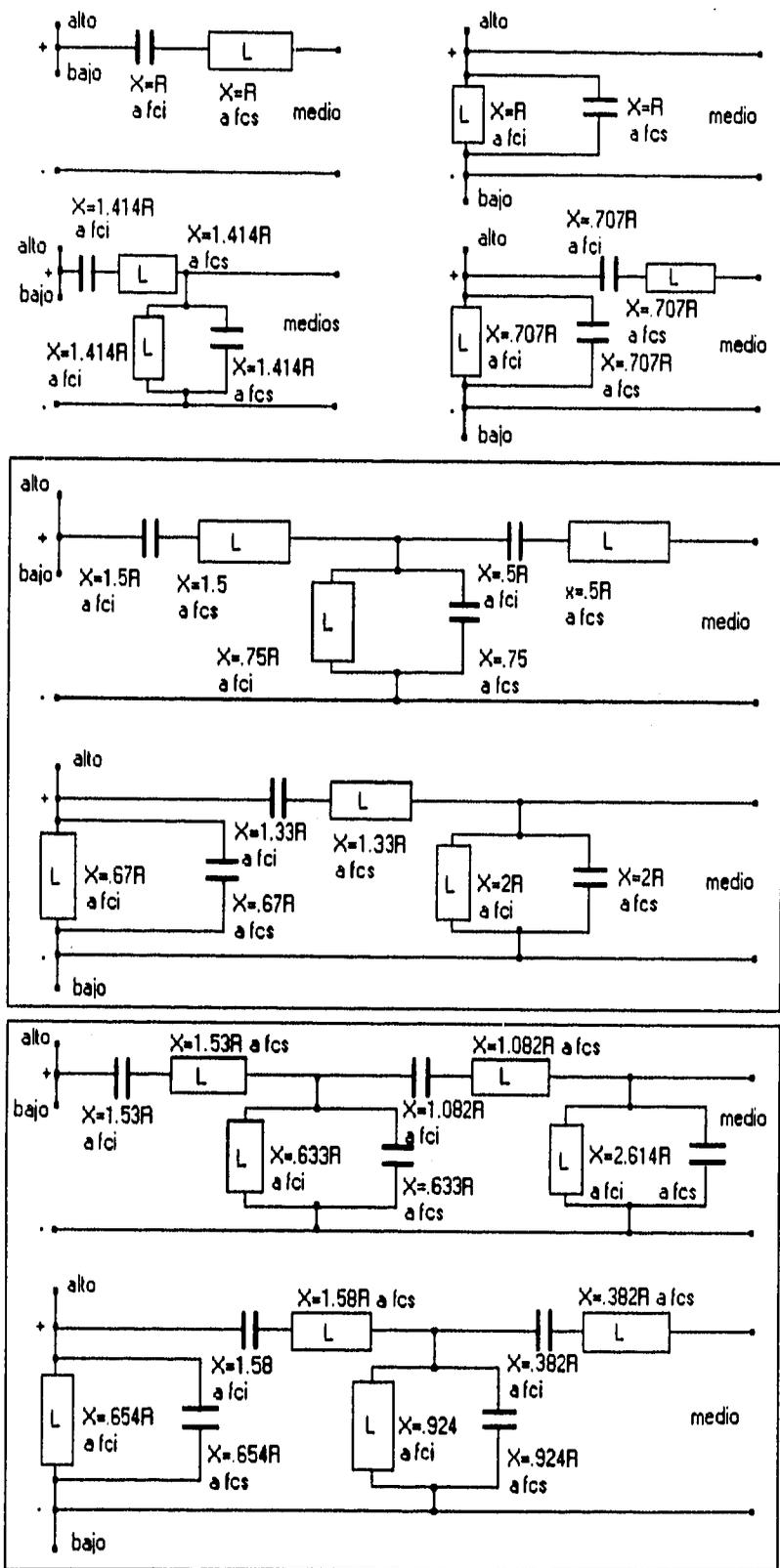


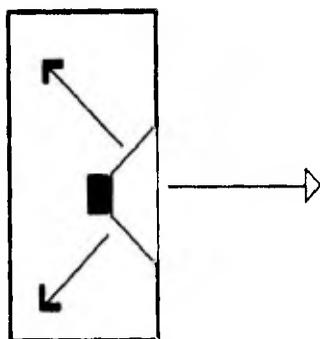
Figura 10. Variedad de filtros pasa banda, de 2 a 8 elementos.

acústica que impida la acción de unas ondas sobre otras, es decir, que aisle la masa de aire situada en la parte frontal del cono de la masa de aire situada en la parte trasera.

El efecto que produce la caja acústica es el de impedir la interacción perjudicial entre las ondas generadas en ambas caras del cono del altavoz, y se conoce con el nombre inglés de baffle (deflector) y con dicho nombre se bautiza normalmente a los recintos o cajas acústicas.

#### **Baffle cerrado.**

Consiste en montar el altavoz o altavoces en una caja completamente cerrada, de forma tal que la radiación trasera no pueda salir del interior de la caja (Fig.11). Sin embargo, esto se logra a costa de sacrificar las condiciones de trabajo del altavoz.

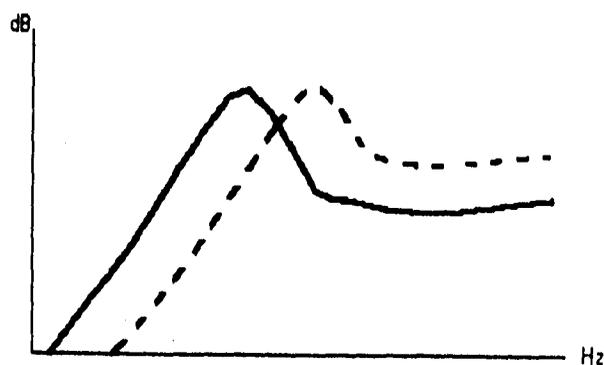


**Figura 11.** Baffle cerrado, consistente en una caja herméticamente cerrada, que evita que las ondas generadas en la parte delantera del diafragma interaccionen por las generadas en la parte trasera.

Lo anterior se debe a que si se elige una caja de dimensiones reducidas, la masa de aire contenida en ésta presenta depresiones y compresiones mucho mayores que las de la masa de aire de la habitación.

El efecto es como si las suspensiones elásticas del altavoz (araña o centrador y suspensión del cono) se hubieran hecho más rígidas y, como consecuencia, se eleva la frecuencia de resonancia del altavoz.

De esta manera cuanto menor sea el volumen de aire que encierra la caja, mayor será la frecuencia de resonancia del altavoz y, por tanto, menor será la respuesta en el extremo de graves (Fig. 12).



— Bocina en baffle perfecto.

--- Bocina en caja cerrada.

**Figura 12.** Influencia de la caja cerrada sobre la frecuencia de resonancia del altavoz.

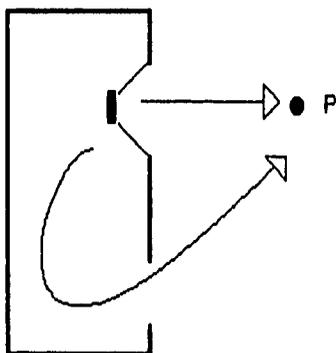
En este tipo de baffle es de suma importancia recubrir la parte interna con una capa de 25 mm, como mínimo, de fibra de vidrio o algún otro aislante acústico, con la finalidad de evitar las indeseables reflexiones de las ondas, especialmente las de alta frecuencia, en el interior del recinto.

### **Baffle reflector de bajos.**

El baffle reflector de bajos, también conocido por el término inglés "bass-reflex", es una variante perfeccionada del baffle cerrado o baffle de resonancia infinito, con el fin de reducir la frecuencia de resonancia del altavoz y extender el margen de reproducción para las frecuencias bajas.

El baffle reflector de bajos consiste en una caja cerrada, igual que el baffle cerrado, a la que se le ha agregado una o dos ventanas conocidas comunmente como salidas de aire (Fig. 13). Este tipo de baffle basa su principio de funcionamiento en la resonancia mecánica a una frecuencia dada, que depende del volumen de la caja, y del área de la ventana. En las proximidades de la frecuencia de resonancia del altavoz, la onda sonora producida por la parte trasera del cono sufre en la caja una inversión de fase, de forma que sale al exterior por la ventana, en concordancia de fase con la onda sonora producida por la cara frontal del cono, y, por lo tanto, se refuerza.

Por otra parte, a la frecuencia de resonancia, la carga que el aire contenido en la caja ofrece al altavoz es mayor que a las demás frecuencias, por lo que las oscilaciones del cono poseen, a esta frecuencia de resonancia, una amplitud menor que a cualquier otra frecuencia. Como consecuencia, si las frecuencias de resonancia del altavoz y de bass-reflex coinciden, el pico de



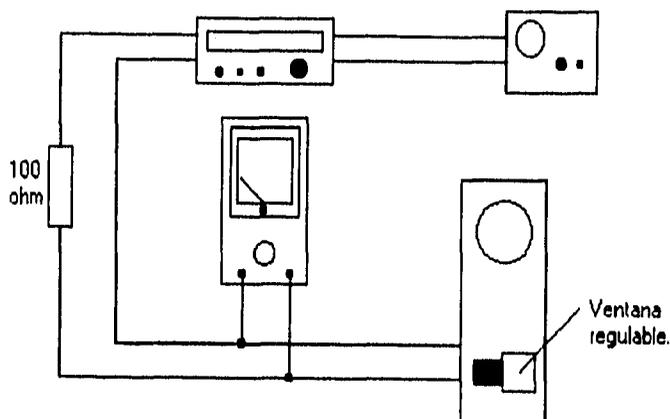
**Figura 13.** Baffle reflector de bajos.

resonancia del altavoz queda amortiguado por la mayor carga del bass-reflex, y el margen de frecuencias reproducibles se extiende gracias a la radiación sonora procedente de la ventana.

Ahora bien, la frecuencia de resonancia de un bass-reflex es directamente proporcional a la superficie de su ventana e inversamente proporcional al volumen de aire de la caja.

Dado que la máxima efectividad de un bass-reflex se obtiene cuan-

do la frecuencia de resonancia del altavoz coincide con la frecuencia de resonancia del bass-reflex, es preciso sintonizar ambas frecuencias. La forma más fácil, rápida y económica de realizar la sintonización es como sigue: se conecta entre el altavoz y la salida del amplificador una resistencia de unos 100 ohms, así como un voltímetro de corriente alterna de gran sensibilidad (1 ó 2 V a plena escala) en paralelo con la bobina móvil del altavoz, tal y como lo muestra la figura 14.



**Figura 14.** Forma de sintonizar un bass-reflex.

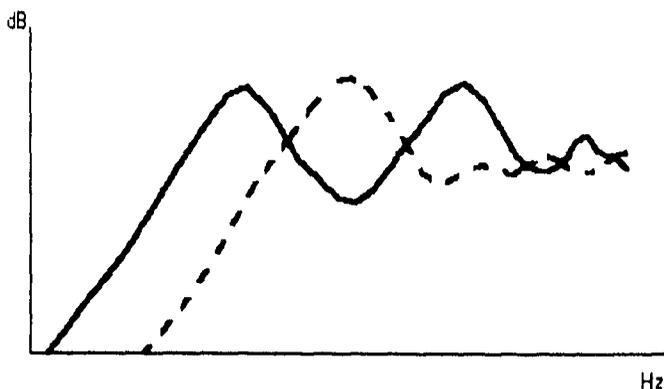
A continuación se aplica una señal de unos 100 Hz a la entrada del amplificador, teniendo la ventana del bass-reflex totalmente cerrada.

Se ajusta el volumen del amplificador de forma que la aguja del voltímetro se desvíe a un tercio de la escala. Una vez obtenida

esta desviación, se disminuye la frecuencia proporcionada por el generador hasta que la aguja del voltímetro marque la máxima desviación, la cual corresponde con la frecuencia de resonancia del altavoz. A continuación se abre lentamente la ventana del bass-reflex, con lo que la aguja del voltímetro comenzará a descender hasta alcanzar un mínimo. La abertura correspondiente a dicho mínimo es la de sintonía del bass-reflex con la del altavoz, y es la que finalmente se dejará para tener la pantalla ajustada.

La curva de respuesta del altavoz de una caja bass-reflex varía según la abertura de la ventana. En el caso de que la ventana esté totalmente cerrada, la curva de respuesta es la presentada mediante línea de trazos en la figura 15. Con la ventana ajustada, es decir, altavoz y bass-reflex sintonizados, la curva de respuesta toma la forma representada en la misma figura mediante línea continua. Podemos notar que la línea continua se ha desviado hacia las frecuencias bajas y que aparecen dos máximos de menor amplitud, uno a cada lado del pico de resonancia.

Existen algunas variantes de la caja bass-reflex en las cuales se encausa la salida de aire hacia la ventana por medio de laberintos. El principio de funcionamiento es exactamente el mismo, sin embargo, con estos encausamientos laberínticos se asegura que las ondas producidas por la parte trasera del cono del altavoz, efectivamente salgan hacia el frente en oposición de fase con las producidas por la parte frontal del mismo.



**Figura 15.** En línea a trazos. Curva de respuesta del baffle reflector de bajos con la ventana totalmente cerrada. En línea continua. Curva de respuesta con la ventana ajustada.

Cabe mencionar que en una caja bass-reflex la sintonía del altavoz y dicha caja se hace para el altavoz reproductor de frecuencias bajas normalmente, ya que corresponde a este altavoz reproducir los tonos graves, y la intención de la caja es acentuarlos.

#### **Observaciones.**

Después de todo lo expuesto hasta el presente, podemos decir que conocemos todos los elementos necesarios para construir una pantalla acústica de alta fidelidad.

Sabemos que necesitamos tres altavoces como mínimo, uno para reproducir las frecuencias bajas, uno para reproducir las frecuencias medias y uno para reproducir las frecuencias altas. Que necesitamos diseñar un arreglo de filtros de cruce para destinar a

cada altavoz exclusivamente las frecuencias que puede reproducir.

Estos filtros pueden tener una pendiente de atenuación que va desde 6dB/octava (un elemento reactivo) hasta 18dB/octava (tres elementos reactivos), y su banda pasante depende de los altavoces y el criterio del diseñador. Sabemos también que necesitamos montar altavoces y filtros en una caja acústica, de preferencia sintonizada con el altavoz reproductor de frecuencias bajas, para poder reproducir mejor los tonos graves sin que este altavoz sufra mucho.

Pareciera pues, que ésta es la solución al problema de la alta fidelidad en cuanto a las pantallas acústicas se refiere. De hecho ésta ha sido la solución desde hace algunas décadas.

Pero es en este punto donde conviene hacer una pausa para analizar con cuidado lo anteriormente expuesto en este capítulo, que ha constituido la regla general para la construcción de pantallas acústicas, y poner en tela de juicio algunos aspectos de esta filosofía.

Si bien es cierto que las pantallas acústicas de alta fidelidad reproducen todas las frecuencias del espectro audible (20Hz hasta 20KHz), la primera deficiencia que encontramos en ellas radica precisamente en las curvas de respuesta de los filtros de cruce.

Si tomamos como referencia las curvas de respuesta de un arreglo típico de filtros de cruce para tres vías, como lo muestra nuestro ejemplo de la figura 8, notamos que existe una pérdida irre recuperable de -3 dB en las frecuencias de cruce inferior y superior; cuando las señales de audio coincidan con estas frecuencias, existirá una pérdida aproximada del 30% en la amplitud de las mismas, lo cual, si nos ponemos exigentes no nos conviene, ya que lo ideal sería que todas las bandas pasantes de los filtros formaran una recta horizontal perfectamente plana.

Por otro lado, en las literaturas dedicadas al diseño de pantallas acústicas, no queda muy claro cuál debe de ser el criterio para escoger la banda de atenuación de cada filtro. Se menciona que es mejor un filtro cualquiera que tenga mayor atenuación en esta banda, pero si construimos dos pantallas acústicas idénticas cambiando nada más la atenuación de sus filtros; sinceramente no notaríamos la diferencia entre una y otra.

Por lo tanto, hasta el presente, la banda de atenuación no ha significado mucho en el diseño de pantallas acústicas de alta fidelidad, salvo el caso en que estas bandas presenten excesiva atenuación, haciendo a los filtros muy selectivos y provocando el mal funcionamiento de las pantallas.

Otro inconveniente de todas las pantallas acústicas de alta fidelidad es la forma cúbica de su construcción. Posiblemente esta

forma se deba al hecho de que construir una caja cúbica es relativamente fácil. Pero pensemos en la forma de las cajas acústicas de los instrumentos musicales de una orquesta filarmónica.

Ni una sola de ellas es cúbica, por el contrario, presentan una forma muy estilizada y agradable a la vista.

Esto nos lleva a pensar que el patrón de resonancia de las cajas de los instrumentos debe de ser muy diferente al de una caja cúbica y por eso a las pantallas acústicas les cuesta tanto trabajo acercarse a la realidad cuando reproducen sonidos.

Por último, otro de los inconvenientes de las pantallas acústicas se presenta cuando operan a potencias elevadas. Normalmente todas las pantallas acústicas soportan un máximo de potencia, por debajo del cual operan satisfactoriamente. Si este máximo de potencia se excede, invariablemente la pantalla acústica empieza a distorsionar, y eso nos obliga a reducir el volumen para no dañar a los altavoces. Esto no debería de suceder para un volumen razonablemente elevado en ninguna pantalla acústica que se considere de alta fidelidad.

Veamos entonces como construir un sistema de pantallas acústicas complementarias de super alta fidelidad utilizando un instrumento musical de cuerda como la caja de resonancia acústica de la pantalla, un altavoz reproductor de frecuencias medias y diseñando

un filtro que se derive de las características electrodinámicas del altavoz y no nada más de su respuesta en frecuencia, y el valor de su impedancia nominal.

### CAPITULO III

#### **FUNDAMENTOS TEORICOS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE PANTALLAS ACUSTICAS COMPLEMENTARIAS DE SUPER ALTA FIDELIDAD.**

El diseño de una pantalla acústica complementaria de super alta fidelidad, se deriva del hecho de tomar en consideración el motivo por el cual distorsionan la gran mayoría de los altavoces de las pantallas típicas cuando trabajan a potencias elevadas. Conociendo la razón por la cual esto sucede, podemos determinar lo que necesita un altavoz cualquiera para evitar dicha distorsión. Esto implica y tal vez exige, un cambio en la filosofía para el diseño del filtro; claro está, tomando en consideración que el altavoz será montado en un instrumento musical de cuerda (Guitarra valenciana con todo y cuerdas) utilizada como caja de resonancia.

Para poder determinar el motivo por el cual los altavoces distorsionan a potencias elevadas, es necesario precisar en qué leyes basan su funcionamiento, y una vez comprendido esto podemos determinar que es lo que necesitamos para que no distorsionen a potencias elevadas, por un lado, y que no sufran riesgos destructivos, por el otro. Todo esto con la intención final de reproducir los sonidos lo más realista y claramente posible aún a potencias elevadas.

Supondremos a lo largo de este capítulo que los elementos constitutivos de la cadena (disco compacto, tocadiscos, tocacintas, ecualizador, amplificador, etc) son todos ellos lo suficientemente buenos en sus características electrónicas como para ser considerados de alta fidelidad, y centraremos nuestra atención en el diseño de las pantallas acústicas complementarias, suponiendo que recibirán en su entrada señales eléctricas de muy baja distorsión armónica procedentes de un amplificador de potencia considerable.

Sabemos que cuando un conductor cualquiera transporta una corriente eléctrica y se encuentra dentro de un campo magnético, se ejercen fuerzas magnéticas sobre los electrones en movimiento dentro del conductor.

Estas fuerzas se transmiten a la sustancia que forma el conductor en sí, y por tanto, el conductor en conjunto experimenta una

fuerza, o un momento, o ambas cosas a la vez.

Si la dirección del conductor forma un ángulo  $\theta$  con la dirección del campo magnético, podemos escribir:

$$F = iBl \sin \theta \quad (1)$$

Donde :

$F$  = Fuerza ejercida sobre el conductor [newtons].

$i$  = intensidad de la corriente eléctrica que circula por el conductor [amperes].

$B$  = Densidad de flujo del campo magnético [teslas].

$l$  = longitud total del conductor que esta dentro del campo magnético [metros].

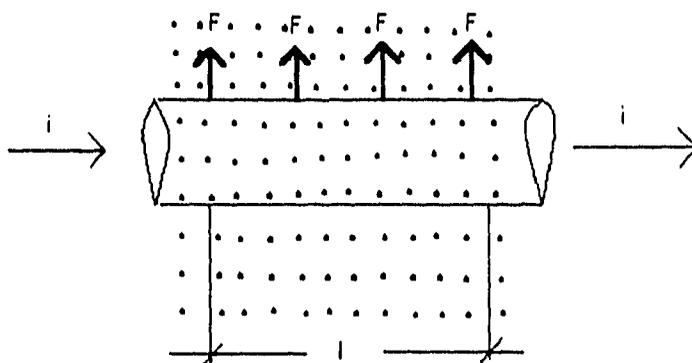
$\theta$  = ángulo que forman  $B$  y  $l$  [grados].

Si el ángulo entre  $B$  y  $l$  es de  $90^\circ$  la ecuación [1] se puede escribir:

$$F = iBl \quad (2)$$

Ahora bien, la dirección de la fuerza  $F$ , es siempre perpendicular

al plano formado por  $\mathbf{B}$  y  $l$  y su sentido puede deducirse mediante la regla de la mano izquierda. Es decir, si el dedo medio apunta en el sentido de la corriente eléctrica convencional en el conductor, y el dedo índice en el sentido del campo magnético, entonces el dedo pulgar dará el sentido de la fuerza. Tal y como se muestra a continuación en la figura 16.

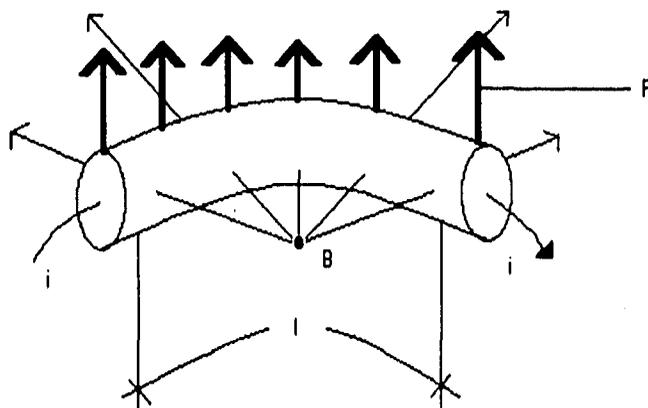


**Figura 16.** Fuerza ejercida sobre un conductor rectilíneo de longitud  $l$  perpendicular a un campo magnético, de densidad de flujo  $\mathbf{B}$ , que se "aleja" del lector.

Notamos en la figura 16 que  $\mathbf{B}$  y  $l$  forman  $90^\circ$ , y que si el dedo medio de nuestra mano izquierda apunta en el sentido convencional indicado de la corriente, el dedo índice apunta en el sentido de la densidad de flujo magnético  $\mathbf{B}$  (que se muestra con puntos simbolizando la parte trasera de una flecha entrando a esta

hoja, en donde cada punto es una línea de flujo), entonces el dedo pulgar nos da el sentido de la fuerza.

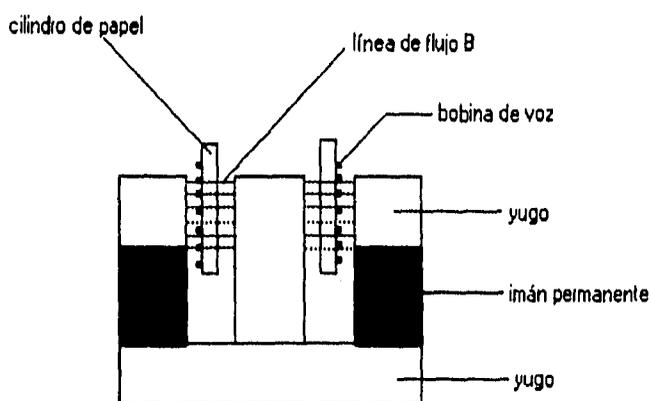
Imaginemos ahora que tomamos el conductor de la figura 16 por los extremos y lo doblamos junto con las líneas de flujo magnético, de forma tal que formamos un pequeño arco de circunferencia, como indica la figura 17.



**Figura 17.** Conductor formando un arco de circunferencia.

Lo que notamos en la figura 17 es que si doblamos el conductor y mantenemos las líneas de flujo siempre perpendiculares al conductor, lo que equivale a decir, "doblamos" también las líneas de flujo, entonces nuestro fenómeno permanece intacto y es exacta-

mente el mismo que el de la figura 16, y siguen siendo las ecuaciones [1] y [2] las que definen el fenómeno. Esto es precisamente lo que se hace al construir el conjunto bobina de voz - imán de un altavoz, tal y como lo muestra la figura 18.



**Figura 18.** Conjunto bobina de voz-imán de un altavoz.

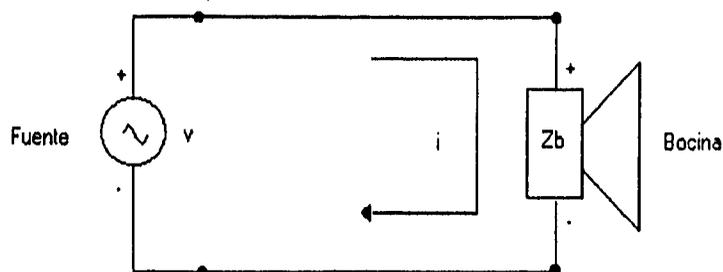
Es evidente en este arreglo que la mayor parte de la longitud total del conductor de la bobina de voz y las líneas de flujo magnético dispuestas en forma radial, forman  $90^\circ$ , conservando  $\mathbf{B}$  y  $\mathbf{l}$  perpendiculares, tal y como se expuso en la figura 17 al inicio de este capítulo.

Este arreglo implica, obviamente, que las ecuaciones [1] y [2] son perfectamente aplicables a un altavoz cualquiera.

Veamos ahora como funciona este tipo de bocinas apoyándonos en

lo anteriormente expuesto y en el análisis de corriente alterna estable aplicado a una bocina cualquiera, para poder así determinar porque distorsionan.

Conectemos entonces una bocina cualquiera a una fuente alterna de voltaje senoidal estable, como se muestra a continuación en la figura 19.



**Figura 19.** Bocina conectada a una fuente alterna de voltaje senoidal estable.

Notamos en la figura 19, que al conectar la bocina a la fuente de voltaje senoidal ( $v$ ), circula una corriente eléctrica ( $i$ ) por la bobina de voz de la bocina. Este voltaje senoidal  $v$  y esta corriente senoidal  $i$  quedan definidos como sigue:

$$v = V \text{ sen } \omega t \quad [3]$$

Donde:

$v$  = voltaje senoidal permanente en los extremos de la bobina de voz de la bocina.

$V$  = amplitud de  $v$  [volts].

$w$  = frecuencia angular de  $v$  [ rad/seg.].

$t$  = tiempo [segundos].

y la corriente senoidal queda definida como:

$$i = I \text{ sen } wt \quad [4]$$

Donde:

$i$  = Corriente eléctrica senoidal

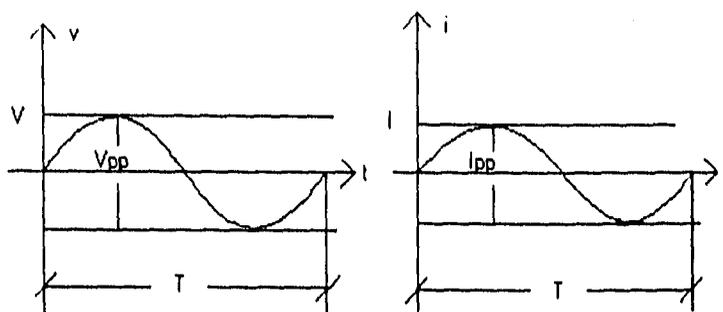
$I$  = Amplitud de  $i$  [amperes]

$w$  = Frecuencia de la corriente eléctrica [ rad/seg.]

$t$  = tiempo

La figura 20 muestra el voltaje senoidal en los extremos de la bocina y la corriente senoidal que circula por ella.

Ahora bien, esta corriente eléctrica ( $i$ ) será la que produce la



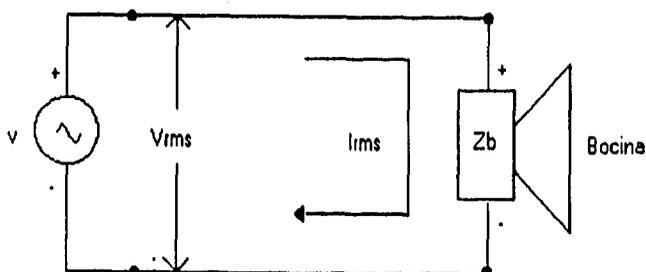
**Figura 20.** a). Voltaje senoidal en los extremos de la bobina de voz de la bocina. Notamos que  $V$  es la amplitud máxima de  $v$ , y  $T$  es el período de  $v$ .  $V_{pp}$  es el voltaje pico a pico de  $v$ . b). Corriente senoidal circulando a través de la bobina de voz de la bocina. Notamos que  $I$  es la amplitud máxima de  $i$ , y  $T$  es el período de  $i$ .  $I_{pp}$  es la corriente pico a pico de  $i$ .

fuerza ( $F$ ) descrita por la ec. [2], de forma tal que sustituyendo [4] en [2] obtenemos la ecuación que describe la magnitud de la fuerza que se produce en la bobina de voz de la bocina, y que es transmitida al cono de la misma, quedando definida como sigue:

$$F = IB \sin wt \quad [5]$$

Pongamos esta ec. [5] en función del voltaje en los extremos de la bobina de voz de la bocina, ya que medir voltaje es más fácil que medir corriente ( $I$ ). Para ello acudamos al análisis de co-

corriente alterna estable, y regrafiquemos la figura 19. Pero esta vez, en términos del voltaje promedio cuadrático ( $V_{rms}$ ) en los extremos de la bocina y la corriente promedio cuadrática ( $I_{rms}$ ) que circula por ella, como lo muestra la figura 21.



**Figura 21.** Bocina conectada a una fuente de voltaje senoidal estable.

Notamos en la figura 21 la bocina conectada a la misma fuente de voltaje senoidal, pero en términos de los valores promedio cuadráticos ( $V_{rms}$ ) e ( $I_{rms}$ ). Deducimos de esta figura y la ley de Ohm, lo siguiente:

$$V_{rms} = (I_{rms}) (Z_b) \quad [6]$$

De donde:

$$V_{rms}/Z_b = I_{rms} \quad [7]$$

Sabemos por definición del análisis de corriente alterna estable

que:

$$V_{rms} = V/\sqrt{2} \quad [8]$$

Donde:

$V$  = amplitud de  $v$  (figura 20)

y que:

$$I_{rms} = I/\sqrt{2} \quad [9]$$

Donde:

$I$  = amplitud de  $i$  (figura 20).

Sustituyendo [8] y [9] en [7] y simplificando, obtenemos:

$$I = V/Z_b \quad [10]$$

Lo cual era de esperarse; y lo que este resultado nos dice, es que la magnitud de la amplitud máxima ( $I$ ) de la corriente senoidal  $i$ , depende de la magnitud de la amplitud máxima ( $V$ ) del voltaje  $v$  y del valor de la impedancia característica ( $Z_b$ ) de la bobina de voz de la bocina (ley de Ohm).

Sustituyendo [10] en [5] obtenemos la fuerza producida en la bo-

bina de voz de la bocina y que se transmite al cono de la misma, pero esta vez en función del voltaje (V) existente en los bornes de conexión de la bocina, por lo tanto:

$$F = (V/Z_b) Bl \text{ sen } \omega t \quad [11]$$

Dado que en una bocina cualquiera ya construida, la densidad de flujo magnético (B) y la longitud del conductor que forma la bobina de voz (l) son constantes, podemos escribir:

$$Bl = C \quad [12]$$

Donde C es una constante propia de cada bocina.

Sustituyendo [12] en [11] obtenemos:

$$F = (V/Z_b) C \text{ sen } \omega t \quad [13]$$

Ahora bien, sabemos por definición que :

$$\omega = 2\pi f \quad [14]$$

Donde (f) es la frecuencia de una corriente o voltaje senoidal en Hertz.

Y también sabemos por definición que:

$$f = 1/T \quad [15]$$

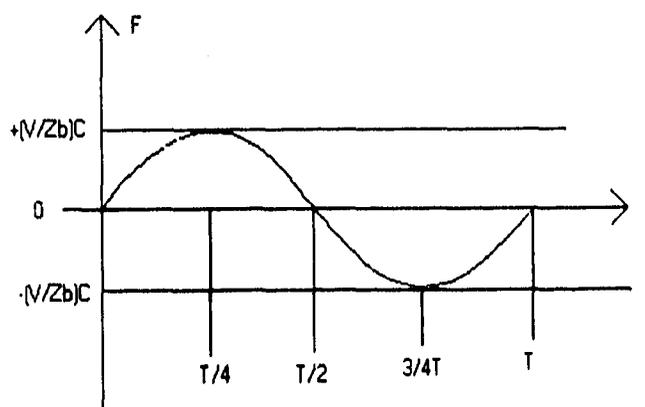
Donde  $T$  es el periodo de una corriente o voltaje senoidal, o sea el tiempo que le lleva a la onda repetirse (figura 20). Sustituyendo [15] en [14] podemos expresar la frecuencia angular ( $\omega$ ) de una corriente o voltaje senoidal como sigue:

$$\omega = 2\pi/T \quad [16]$$

Por lo tanto sustituyendo [16] en [13] finalmente obtenemos:

$$F = (V/Z_b) C \text{ sen } (2\pi t/T) \quad [17]$$

Graficando la fuerza ejercida en el cono de la bocina dada por la ecuación [17], obtenemos la figura 22.



**Figura 22.** Fuerza ejercida sobre el cono de la bocina según ecuación 17.

Nótese que en el instante de tiempo  $t = T/4$ , la magnitud de la fuerza ( $F$ ) producida en la bobina de voz de la bocina, y que es transmitida al cono, tiene un valor de  $(V/Z_b C)$  positivo. Y que en el instante de tiempo  $t = 3/4T$  la magnitud de la fuerza ( $F$ ) tiene un valor de  $(V/Z_b C)$  negativo, esto quiere decir que la fuerza ( $F$ ) cambia de sentido alternativamente. En otras palabras, la fuerza mueve al cono hacia el frente y hacia atrás respecto de su posición de equilibrio. Alcanzando como valor máximo en ambos sentidos  $(V/Z_b C)$ .

Además, como lo expresan la ecuación [17] y su gráfica de la figura 22, si el voltaje en los extremos de la bobina de voz de la bocina es senoidal, entonces la fuerza producida en la bobina de voz de la bocina, y que es transmitida al cono de la misma, también es senoidal.

Pero la amplitud máxima  $(V/Z_b C)$  de la fuerza ( $F$ ) es independiente de la forma de onda del voltaje existente en los extremos de la bobina de voz de la bocina. Es decir, la amplitud máxima  $(V/Z_b C)$  de la fuerza ( $F$ ) transmitida al cono de la bocina, varía única y exclusivamente con el valor pico del voltaje ( $V$ ) en los extremos de la bocina y con el valor de la impedancia característica de la bobina de voz de la misma ( $Z_b$ ), sea cual sea su forma de onda y que hemos escogido senoidal para nuestro estudio por simplicidad. Ya que como sabemos, la forma de onda del voltaje correspondiente a cualquier pasaje musical, es extraordinariamen-

te compleja.

Veamos entonces para finalizar con nuestra explicación del funcionamiento de una bocina, qué pasa en cámara lenta cuando la conectamos a una fuente como la mostrada en la figura 19 y la figura 21, en donde mantendremos el voltaje senoidal con frecuencia constante; y por tanto  $Z_b$  también será constante, pero podremos variar la amplitud ( $V$ ) del voltaje ( $v$ ) desde la fuente.

Con esto, y apoyándonos en la gráfica de la figura 22 podemos deducir lo siguiente: en el intervalo de tiempo desde  $t=0$  hasta  $t = T/4$ , la fuerza transmitida por la bobina de voz al cono aumenta gradualmente, produciendo a su vez un desplazamiento gradual del cono hacia el frente (compresión del aire), de forma tal, que en el instante de tiempo  $t = T/4$  ambas, fuerza y desplazamiento del cono, son máximos. Posteriormente en el intervalo de tiempo desde  $t= T/4$  hasta  $t = T/2$ , la fuerza disminuye gradualmente, produciendo a su vez un desplazamiento gradual del cono hacia atrás (enrarecimiento del aire) hasta llegar a su posición de equilibrio en el instante de tiempo  $t=T/2$ . En el intervalo de tiempo desde  $t= T/2$  hasta  $t= 3/4T$ , la fuerza transmitida al cono por la bobina de voz aumenta gradualmente, pero esta vez en sentido contrario, alcanzando ambas, fuerza y desplazamiento hacia atrás, su máximo en el instante de tiempo  $t= 3/4T$ . Finalmente en el intervalo de tiempo desde  $t=3/4T$  hasta  $t=T$ , la fuerza disminuye gradualmente, produciendo un despla-

zamiento gradual del cono hacia el frente (compresión del aire) hasta alcanzar su posición de equilibrio nuevamente.

Este movimiento alternativo del cono de la bocina hacia el frente y hacia atrás, comprime y enrarece el aire que lo rodea respectivamente, produciendo una onda audible de la misma frecuencia que la onda eléctrica que excita a la bocina, la cual en el caso particular de una senoide de frecuencia  $f$  constante, se escucha como un solo tono.

Con esto último queda definido el funcionamiento de una bocina dinámica cualquiera.

Supongamos ahora que aumentamos gradualmente la amplitud ( $V$ ) del voltaje senoidal en los extremos de la bobina de voz de nuestra bocina, hasta un valor tal, que la fuerza producida según la ecuación [17] en los instantes de tiempo  $t = T/4$  y  $t = 3/4T$ , lleva al cono de nuestra bocina al límite físico de su desplazamiento (siendo la araña o centrador el elemento que contribuye en mayor grado a limitar el desplazamiento del cono en la mayoría de las bocinas). En este límite el cono comienza a deformarse; éstas deformaciones del cono traen como consecuencia obvia, la deformación de las ondas audibles que produce, y estas deformaciones de las ondas audibles (que finalmente alcanzan nuestros oídos), se traducen en distorsión. En la medida en la que sigamos aumentando la amplitud ( $V$ ) del voltaje, en esa medida aumentará la

magnitud de la fuerza ( $F$ ) ejercida sobre el cono, y por lo tanto, la deformación del mismo, trayendo como consecuencia una mayor distorsión.

Si seguimos aumentando la amplitud ( $V$ ) del voltaje, llegará el momento en el cual la estructura misma del cono no soportará las deformaciones producidas por la fuerza ( $F$ ) y se destruirá. A este desafortunado hecho lo llamamos "desconar" la bocina, y como el lector ya habrá experimentado, poco antes de que esto suceda, la distorsión de las ondas sonoras ya es intolerable.

Con esto último hemos llegado a una conclusión importantísima; hemos deducido la causa por la cual las bocinas de las pantallas acústicas distorsionan señales eléctricas casi perfectas o de baja distorsión armónica, cuando aumentamos la amplitud ( $V$ ) de las mismas.

Esto último y todo lo anteriormente expuesto, nos sugiere varias cosas:

- 1) Debemos determinar la amplitud máxima ( $V$ ) del voltaje que tolera la bocina en sus bornes de conexión, para cada frecuencia del espectro audible, sin que el cono de la misma exceda un cierto desplazamiento constante hacia el frente y hacia atrás para cada frecuencia.

Esto debe hacerse estando la bocina montada en el instrumento mu-

sical de cuerda (caja de resonancia acústica), ya que tal y como mencionamos anteriormente el simple hecho de montar la bocina en la caja hace que su impedancia cambie, y por tanto, la amplitud del voltaje para producir una fuerza que logre un desplazamiento constante del cono (ecuación.17). Logrando que a la bocina le lleguen únicamente las amplitudes que puede soportar, evitamos la deformación del cono o cualquier otra parte constitutiva de la bocina (araña y suspensión), eliminando por consiguiente cualquier posibilidad de distorsión o ruptura.

2) Debemos determinar la amplitud máxima del voltaje que entrega el amplificador de audio operando al máximo de su capacidad sin saturación, para cada frecuencia del espectro audible.

3) Conocidas la máxima amplitud del voltaje que soporta la bocina y la máxima amplitud del voltaje que entrega el amplificador, para cada frecuencia, podremos determinar el arreglo eléctrico que necesita la bocina para no distorsionar.

Veamos pues, como se hacen estas pruebas y mediciones para el diseño de las pantallas acústicas complementarias de super alta fidelidad.

## CAPITULO IV

### **PRUEBAS, MEDICIONES, Y RESULTADOS, EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE PANTALLAS ACUSTICAS COMPLEMENTARIAS DE SUPER ALTA FIDELIDAD.**

**Obtención del desplazamiento del cono de una bocina sin deformación de sus partes móviles constitutivas.**

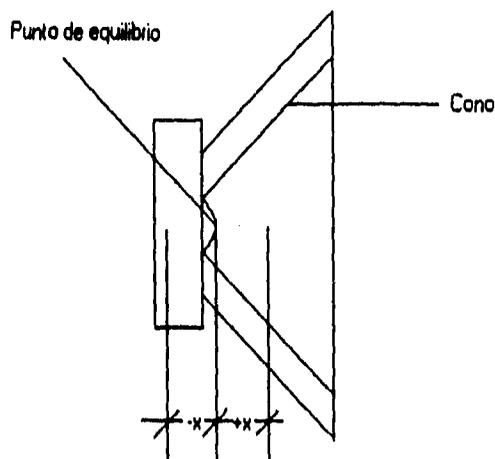
Para determinar el desplazamiento del cono de una bocina sin deformación de ninguna de sus partes móviles constitutivas, definiremos primero lo siguiente:

Al desplazamiento máximo del cono hacia adelante sin deformación, respecto del punto de equilibrio, lo llamaremos desplazamiento

(+X). Al desplazamiento máximo del cono hacia atrás sin deformación, respecto del punto de equilibrio, lo llamaremos desplazamiento (- X).

Al intervalo del desplazamiento ( $\pm X$ ) lo llamaremos intervalo óptimo de operación de la bocina sin deformación.

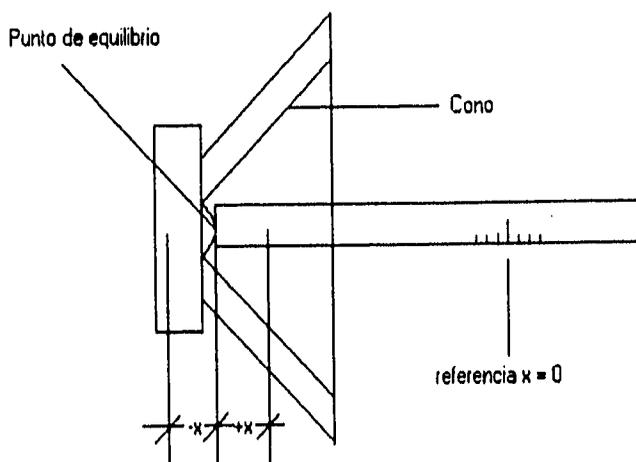
La figura 23 muestra este concepto:



**Figura 23.** Intervalo óptimo de operación de la bocina.

Notamos en la figura 23 que el desplazamiento del cono ocurre en el eje de las  $x$ , y que nuestra referencia del punto de equilibrio ( $X=0$ ), se toma al centro del cubrepolvo estando la bocina en reposo.

Coloquemos de alguna manera frente al cubrepolvo de nuestra bocina y en contacto con él, una regla graduada en milímetros como se muestra a en la figura 24.



**Figura 24.** Laminilla colocada frente al cubrepolvo de la bocina.

Con nuestras manos empujemos el cono de la bocina hacia el frente, estando ésta desconectada y fuera de su recinto acústico.

Observemos cuál es el máximo desplazamiento libre sin que se deforme el cono, la araña, o la suspensión de la misma, y con eso obtenemos (+X). Hagamos lo mismo pero empujando el cono de la bocina y la regla hacia atrás para obtener (-X).

Es importante mencionar que en ocasiones la deformación del co-

no, araña, o suspensión de la bocina, se presenta más rápido en un sentido que en otro; esto tiene que ver con las características constructivas de cada bocina. Lo que debemos hacer entonces es determinar cuando se deforma más rápido el cono, araña o suspensión de la bocina: si en su movimiento hacia el frente o en su movimiento hacia atrás, y tomar este desplazamiento como el máximo permisible en ambos sentidos, aunque en uno de ellos la bocina quede sobreprotegida.

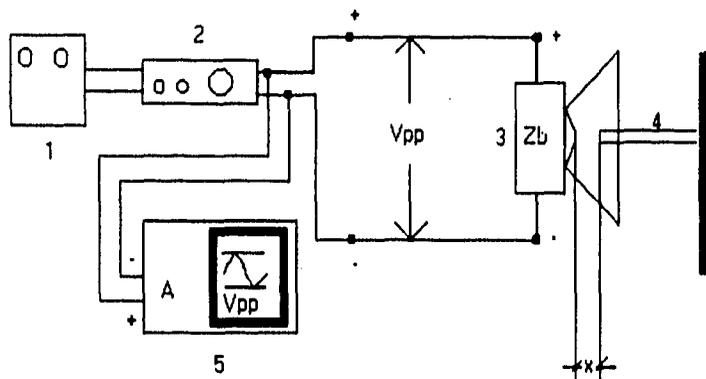
Una vez determinado nuestro intervalo ( $\pm X$ ) con el procedimiento anterior (que por cierto es de unos cuantos milímetros en la mayoría de los casos) podemos continuar como sigue.

**Obtención del voltaje en los extremos de la bobina de voz que produce el desplazamiento ( $\pm X$ ) del cono sin deformación.**

Para hacer esta medición es necesario contar con los siguientes equipos de laboratorio:

- 1.- Generador de funciones.
- 2.- Osciloscopio de dos canales.
- 3.- Amplificador de audio de alta fidelidad y unos 30 Wrms por canal aproximadamente.

Conectemos nuestros instrumentos y bocina como se muestra en la figura 25.



**Figura 25.** Forma de conectar los instrumentos para obtener el desplazamiento ( $\pm x$ ) del cono sin deformación. 1. Generador de funciones. 2. Amplificador. 3. Bocina montada en su caja. 4. Laminilla de plástico delgada. 5. Osciloscopio.

Notamos en la figura 25 que frente al cubrepolvo de la bocina se ha colocado una laminilla delgada de plástico flexible separada de él precisamente una distancia  $(+X) = (-X)$ .

Esto se hace en la práctica colocando la regla en un atril adecuado para que quede justo enfrente del cubrepolvo de la bocina.

Veamos como hacemos la medición del voltaje pico a pico ( $V_{pp}$ ) que produce este desplazamiento  $(+X) = (-X)$  para una frecuencia de

20 Hz.

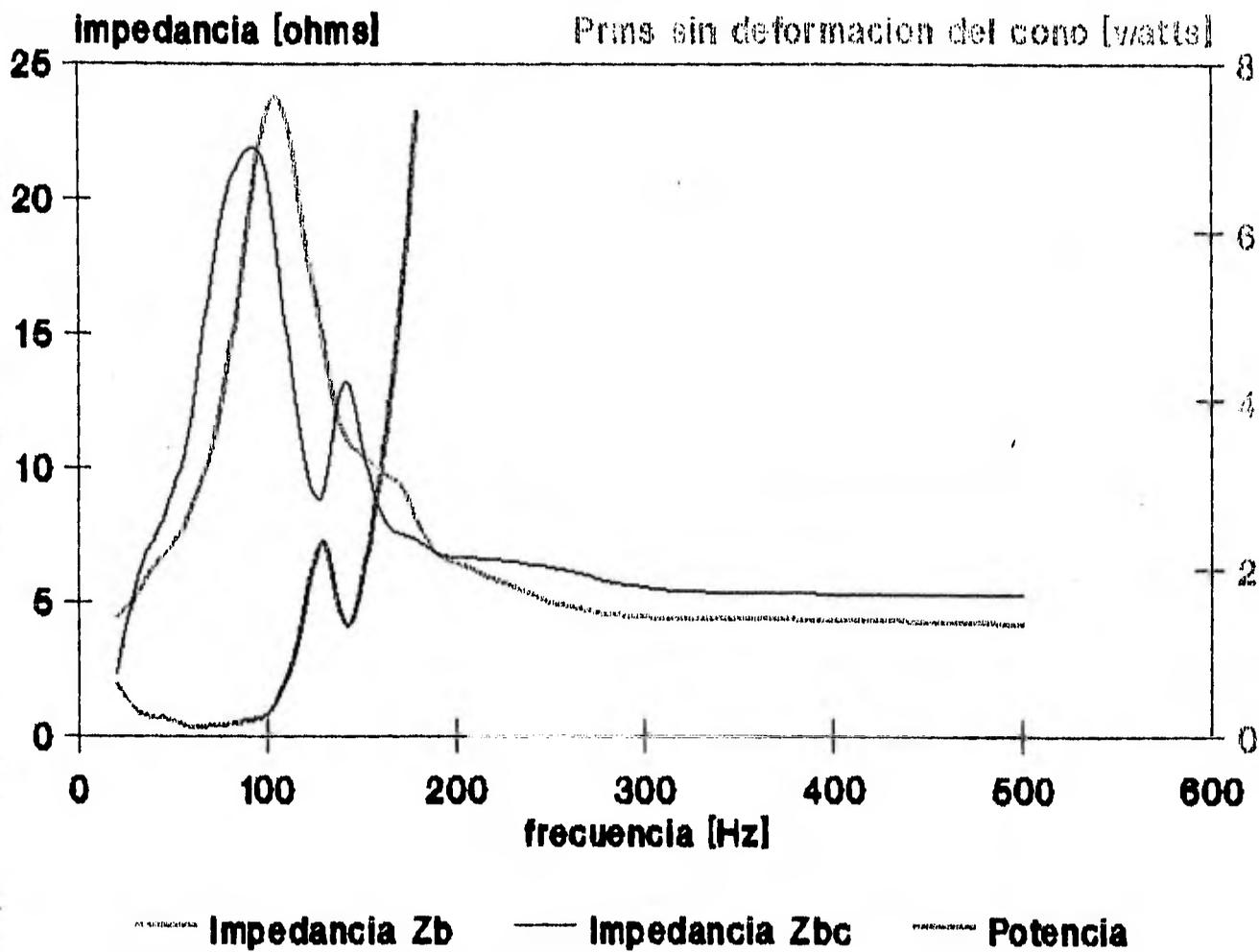
Generamos una onda senoidal de frecuencia 20 Hz. y unos 5 mVpp con nuestro generador de ondas.

Con nuestro amplificador de audio comenzamos gradualmente a aumentar, con cuidado, el voltaje pico a pico (Vpp) de esta onda senoidal. Veremos como el cono de la bocina comienza a desplazarse gradualmente hacia el frente y hacia atrás, hasta que llegue el momento en el cual el cubrepolvo de la bocina entre en contacto con la laminilla delgada de plástico, produciendo un zumbido (adicional al tono que en ese momento estamos escuchando), este zumbido es el indicativo de que el cono ya alcanzó el desplazamiento  $(+X) = (-X)$  preestablecido. En ese momento tendremos en el canal A del osciloscopio el voltaje pico a pico (Vpp) que lo produjo.

Este procedimiento se repite para cada una de las frecuencias del espectro audible de 10 en 10, para finalmente obtener el voltaje máximo que la bocina es capaz de soportar para cada frecuencia del espectro audible (incluyendo la frecuencia de resonancia de la bocina) sin deformación de sus partes móviles constitutivas y por lo tanto sin distorsión.

Esta prueba debe hacerse con la bocina montada dentro de su caja o recinto acústico, ya que como es bien sabido, la impedancia ( $Z_b$ ) de la bobina de voz de cualquier bocina, cambia por el sim-

ple hecho de montarla en su caja, como lo muestra la figura 26.



**Figura 26.** Impedancia de la bocina al vacío ( $Z_b$ ) y montada en su recinto acústico ( $Z_{bc}$ ).

Por lo tanto, si  $Z_b$  cambia, el voltaje necesario para producir el desplazamiento del cono de la bocina sin deformación de ninguna de sus partes constitutivas, también cambiará. De aquí la

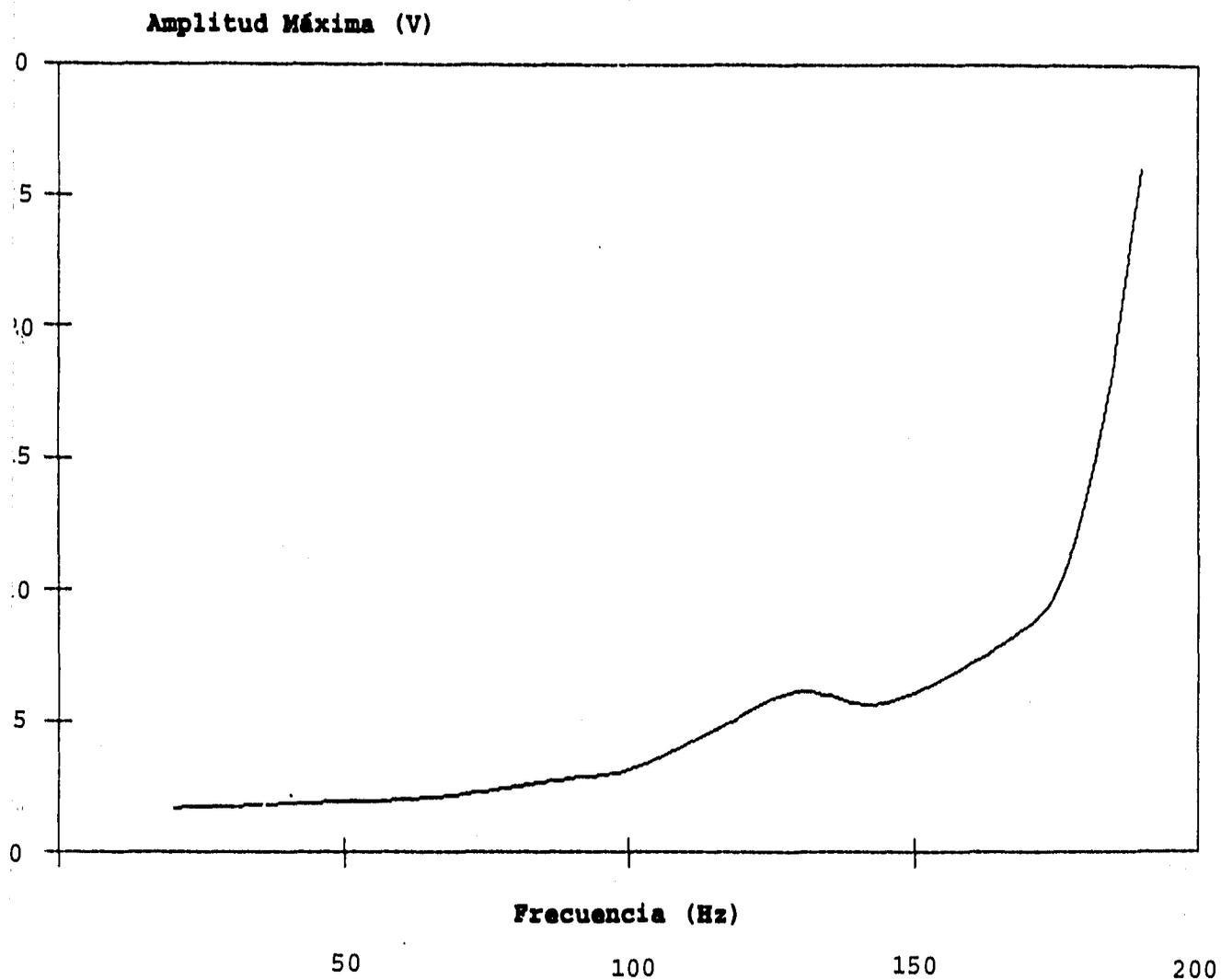
importancia de hacer esta medición con la bocina montada en su recinto acústico.

Siguiendo la metodología expuesta anteriormente, obtenemos los resultados de la tabla 1 para una bocina reproductora de frecuencias medias, de 4" de diametro, cono recto de polipropileno provisto con suspensión de aire e impedancia nominal de 4 ohms.

**TABLA NO.1**

Frecuencia f(Hz)	Desplazamiento sin deformación del cono. $\times \times \times \times$ (mm)	Voltaje pico a pico que produce $\times \times \times \times$ . Vpp (volts).	Amplitud máxima (V) que produce $\times \times \times \times$ . $V = V_{pp}/2$ (volts).
20	1	3.4	1.70
30	1	3.5	1.75
40	1	3.8	1.90
50	1	3.9	1.95
60	1	4	2
70	1	4.4	2.20
80	1	5	2.50
90	1	5.8	2.90
100	1	6	3
110	1	8.4	4.20
120	1	10.4	5.20
130	1	13.2	6.60
140	1	10.8	5.40
150	1	12	6
160	1	14.4	7.20
170	1	17	8.50
180	1	21	10.50
190	1	>52	>26
200	1	>52	>26
250	1	>52	>26
300	1	>52	>26
350	1	>52	>26
400	1	>52	>26
450	1	>52	>26
500	1	>52	>26
700	1	>52	>26
900	1	>52	>26
1,000	1	>52	>26
2,000	1	>52	>26
4,000	1	>52	>26
6,000	1	>52	>26
10,000	1	>52	>26
15,000	1	>52	>26
20,000	1	>52	>26

Trazando la curva correspondiente a los datos obtenidos en nuestra tabla 1, obtenemos la gráfica de la figura 27.



**Figura 27.** Voltaje máximo en los bornes de conexión de la bocina sin exceder el desplazamiento ( $\pm x$ ) preestablecido.

Notamos en la gráfica de la figura 27 que la amplitud máxima del voltaje (V) que la bocina es capaz de soportar sin deformación

de ninguna de sus partes móviles, cambia complejamente con la frecuencia.

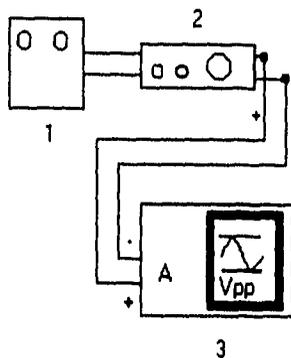
Esto es un indicativo de que la bocina no es capaz de soportar un voltaje constante (el equivalente a 30 Wrms), para todas las frecuencias del espectro audible. Todo indica que a bajas frecuencias, la bocina es bastante delicada, ya que la amplitud máxima del voltaje (V) soportable por la bocina sin deformación, es apenas de 1.70 volts a 20 Hz! y de 8.50 volts a 170 Hz. Solo a partir de 190 Hz. hacia arriba, la bocina es capaz de soportar una amplitud máxima de voltaje (V) mayor a 26 volts (más de 50 Wrms).

Concluimos de todo lo anteriormente expuesto y la gráfica de la figura 27, que debemos proteger de alguna manera nuestra bocina en aquellas frecuencias para las cuales es más susceptible. Es decir, necesitamos excesivo cuidado para nuestra bocina en el intervalo de frecuencias desde 20 Hz. hasta 170 Hz.

Ahora que ya sabemos qué amplitud máxima de voltaje (V) soporta nuestra bocina, sin deformación, y por tanto sin distorsión, determinemos qué amplitud máxima de voltaje entrega nuestro amplificador, para todas las frecuencias del espectro audible de 10 en 10, estando al máximo de su capacidad. Para ello, hagamos lo siguiente.

Obtención de la amplitud máxima del voltaje que entrega un amplificador de audio de alta potencia operando al máximo de su capacidad.

Para lograr esta medición, conectemos nuestros instrumentos como se muestra en la figura 28.



**Figura 28.** Forma de conectar los instrumentos para la obtención de la amplitud máxima del voltaje que entrega el amplificador de alta potencia. 1. Generador de ondas. 2. Amplificador de audio 3. Osciloscopio.

Generemos una onda senoidal de frecuencia 20 Hz. y unos 5 mVpp con nuestro generador de ondas. Con nuestro amplificador de audio comenzamos gradualmente a aumentar el voltaje de esta onda senoidal que veremos crecer en el canal A del osciloscopio hasta el punto justo antes de saturación, lo cual se manifiesta por un recorte de las crestas de la onda senoidal. Justo antes de saturación, podemos asegurar en definitiva, que el amplificador esta operando al máximo de su capacidad. En ese momento, dejamos fija

la perilla del "volumen" del amplificador, y medimos el voltaje que indica el canal A del osciloscopio.

Sin mover la perilla del "volumen" del amplificador de su posición, variamos la frecuencia de 10 en 10 y tomamos las mediciones correspondientes en el canal A del osciloscopio, hasta llegar a 20 KHz., que corresponde a la frecuencia máxima que el oído humano puede escuchar. Con esto obtenemos la amplitud máxima del voltaje que el amplificador puede entregar, en todo el espectro de frecuencias audibles, y que llamaremos VA.

La tabla 2 muestra estos resultados.

Observamos en la tabla 2, que la amplitud máxima del voltaje que el amplificador puede entregar estando al máximo de su capacidad, decrece con la frecuencia. Con esto demostramos que la amplitud máxima del voltaje que entrega el amplificador, no es constante para todas las frecuencias del espectro audible.

Pongamos la amplitud máxima (V) del voltaje que puede soportar la bocina y la amplitud máxima (VA) del voltaje que puede entregar el amplificador en la tabla 3, con el propósito de compararlos entre sí.

Concluimos de la tabla 3, que mientras más baja es la frecuencia, el voltaje (VA) excede en mucho al voltaje (V), lo cual es peli-

TABLA NO.2

Frecuencia f (Hz)	Amplitud máxima del voltaje que el amplificador puede entregar. VA (volts).
20	35
30	33
40	30
50	26
60	23.5
70	21
80	19
90	17
100	16
110	15
120	14
130	13
140	12
150	11.5
160	11
170	10.5
180	10
190	9.5
200	9
250	7.5
300	6.5
350	6
400	5.4
500	4.8
700	4
900	3.6
1,000	3.5
2,000	2.6
4,000	1.6
6,000	1.1
10,000	0.65
15,000	0.46

groso. Y que conforme la frecuencia aumenta el voltaje (VA) tiende a ser igual al voltaje (V), de forma tal que a partir de 180 Hz, el voltaje que la bocina soporta, es mayor que el voltaje que el amplificador puede entregar. Esto implica que a partir de 180 Hz en adelante, la bocina no distorsionará por ningún motivo.

Pero de 20 Hz. hasta 170 Hz., es necesario regular el voltaje (VA) para que a la bocina sólo le llegue el voltaje (V) que es

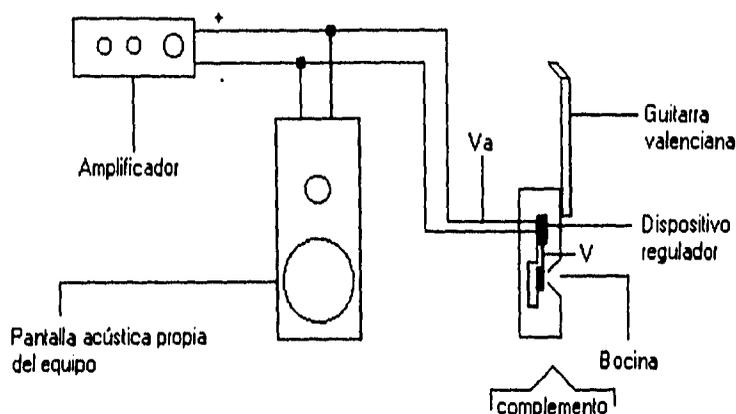
TABLA NO. 3

Frecuencia f (Hz)	Amplitud máxima del voltaje que el amplificador puede entregar. VA (volts).	Amplitud máxima (V) que produce $x=x$ . $V=V_{pp}/2$ (volts).
20	35	1.70
30	33	1.75
40	30	1.90
50	26	1.95
60	23.5	2
70	21	2.20
80	19	2.50
90	17	2.90
100	16	3
110	15	4.20
120	14	5.20
130	13	6.60
140	12	5.40
150	11.5	6
160	11	7.20
170	10.5	8.50
180	10	10.50
190	9.5	>26
200	9	>26
250	7.5	>26
300	6.5	>26
350	6	>26
400	5.5	>26
500	4.8	>26
700	4	>26
900	3.6	>26
1,000	3.5	>26
2,000	2.6	>26
4,000	1.6	>26
6,000	1.1	>26
10,000	0.65	>26
15,000	0.46	>26

capaz de soportar.

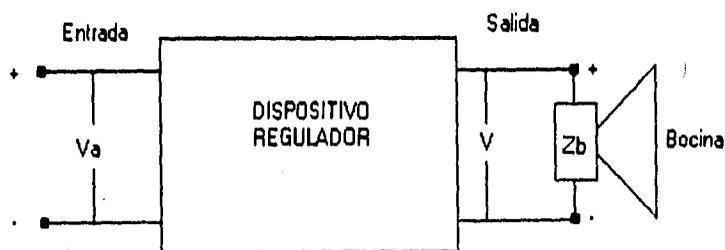
Esto último implica que debemos insertar entre el amplificador de audio y nuestra bocina, ya montada en su caja, un cierto dispositivo que logre tal regulación de voltaje, como lo muestra la figura 29.

Ahora bien, centremos nuestra atención en este dispositivo regu-



**Figura 29.** Se muestra un canal con nuestra pantalla complementaria conectada a él en paralelo. Notamos el dispositivo regulador entre la bocina montada en la guitarra y el amplificador. Se muestran los voltajes  $V_A$  y  $V$ .

lador, y pensemos en él, por lo pronto, como una caja negra que no sabemos que tiene dentro, pero que podemos graficar como se muestra en la figura 30.



**Figura 30.** Dispositivo regulador de voltaje.

Notamos en la figura 30 que en la entrada del dispositivo regulador, tenemos la amplitud máxima del voltaje ( $V_A$ ) que entrega el amplificador, mientras que en su salida, tenemos únicamente

la amplitud máxima del voltaje (V) que la bocina es capaz de soportar sin distorsión. Esto implica que el voltaje (V) a la salida del dispositivo regulador, debe estar atenuado con respecto al voltaje de entrada (VA) para las frecuencias bajas, y conforme la frecuencia aumenta, dicha atenuación disminuye, hasta un punto tal en el cual ambos voltajes son iguales.

Esto se ve claramente en la tabla 3, y a este comportamiento se le conoce como un filtro pasa altas, ya que el voltaje a la entrada del mismo, pasa con mayor libertad hasta la salida conforme la frecuencia aumenta.

Esta atenuación existente entre el voltaje de entrada (VA) y el voltaje de salida (V) se obtiene, conforme a la teoría de dos puertos, de la siguiente expresión:

$$\text{Atenuación en dB} = 20 \log VA/V \quad [18]$$

Así, la atenuación en decibeles puede encontrarse de la razón del voltaje de entrada (VA) al voltaje de salida (V).

Aplicando esta expresión a los resultados obtenidos en la tabla no. 3 obtenemos la tabla no.4.

La tabla no. 4 nos indica claramente que atenuación debe tener el filtro desde 20 Hz. hasta 170 Hz. Notamos que apartir de 180

TABLA NO. 4

Frecuencia f (Hz)	Atenuación que debe tener el filtro. (dB).
20	26.2
30	25.5
40	23.9
50	22.4
60	21.4
70	19.5
80	17.6
90	15.3
100	14.5
110	11
120	8.6
130	5.8
140	6.9
150	5.6
160	3.6
170	1.8
180	0
190	0
200	0
250	0
300	0
350	0
400	0
500	0
700	0
900	0
1,000	0
2,000	0
4,000	0
6,000	0
10,000	0
15,000	0

Hz. en adelante, la atenuación proporcionada por el filtro debe de ser 0 dB; esto implica que a partir de 180 Hz. en adelante el voltaje a la salida del filtro debe ser igual al voltaje presente en su entrada.

Mencionamos en el segundo capítulo de este trabajo que los filtros divisores de frecuencia tienen una pendiente de atenuación

de 6dB/octava multiplicados por el número de elementos reactivos del filtro. Pongamos en una tabla comparativa las atenuaciones correspondientes, por octava, de un filtro pasa altas configurado desde uno hasta tres elementos reactivos, y la atenuación, por octava, que necesitamos para nuestra bocina. Esto con el propósito de determinar, cuál de los 3 tipos de filtros se acerca más a lo que necesita nuestra bocina para no distorsionar.

La tabla 5 muestra estas atenuaciones.

**TABLA NO. 5**

Frecuencia f (Hz)	Atenuación que debe tener el filtro. (dB).	Atenuación típica que proporciona el filtro de un elemento. (dB).	Atenuación típica que proporciona el filtro de dos elementos. (dB).	Atenuación típica que proporciona el filtro de tres elementos. (dB).
20	26.2	24	36	54
40	23.9	12	24	36
80	17.6	6	12	18
160	3.6	3	3	3

Deducimos de la tabla 5, que el filtro de dos elementos, es el que nos proporciona las atenuaciones más parecidas a lo que necesitamos.

Sin embargo, en 80 Hz y en 20 Hz la atenuación que proporciona este tipo de filtro, se aleja considerablemente de la atenuación que debe tener el filtro real.

La pregunta aquí es la siguiente:

¿Existe alguna manera de aproximarnos un poco más a lo que nece-

sitamos con este tipo de filtro pasa altas de 2 elementos?.

Afortunadamente, si existe una manera; sin embargo, se tuvo que desechar la teoría clásica de filtros existente, por los motivos que veremos a continuación.

Si recurrimos a la configuración de los filtros de dos elementos reactivos mostrados en la figura 9. del capítulo dos, encontraremos que los valores de capacitancia e inductancia a la frecuencia de corte, para el filtro pasa altas, quedan definidos por las siguientes expresiones.

$$X_L = 1.414 R \quad [19]$$

y:

$$X_C = 1.414 R \quad [20]$$

Donde R en realidad es la impedancia de la bocina montada en su caja a la frecuencia de corte,  $X_L$  es la reactancia inductiva y  $X_C$  es la reactancia capacitiva.

Sabemos que:

$$X_L = 2\pi fL \quad [21]$$

y que:

$$X_c = 1/2\pi fC \quad [22]$$

Sustituyendo [21] y [22] en [19] y [20] respectivamente obtenemos:

$$2\pi fL = 1.414 R \quad [23]$$

y:

$$1/2\pi fC = 1.414 R \quad [24]$$

Despejando L y C de las ecuaciones [23] y [24] obtenemos:

$$L = 1.414 R/2\pi f \quad [25]$$

y:

$$C = 1/1.414 R 2\pi f \quad [26]$$

Poniendo valores en las ecuaciones [25] y [26] decimos:

$R = (Z_{bc}) = 8$  ohms. (valor de la impedancia de la bobina de voz de la bocina en la frecuencia de corte, y montada en su caja) figura 26.

$(f) = 160$  Hz (frecuencia de corte).

Sustituyendo Obtenemos :

$$L = 11.253 \text{ mH}$$

y :

$$C = 87.92 \text{ f}$$

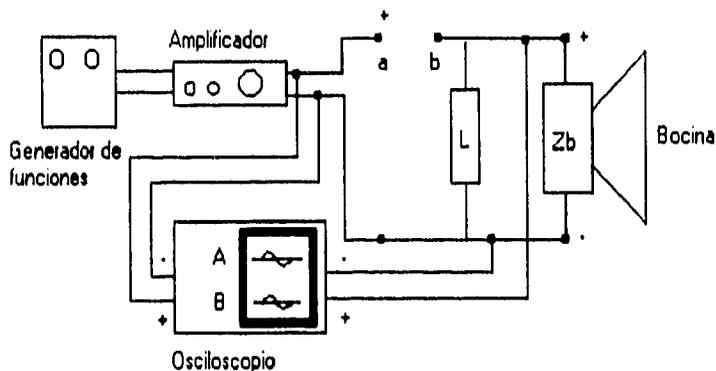
El lector experimentado en el diseño y fabricación de bobinas sabe bien que construir una bobina de 11.253 mH, no es nada fácil. Esta es una bobina muy grande en dimensiones y con una cantidad considerable de vueltas en su devanado, lo cual implica una resistencia distribuida grande. Por lo tanto, ésta será finalmente una bobina con muchas pérdidas, por su excesiva resistencia distribuida a lo largo de ella, difícil de construir, y muy cara.

Concluimos que el valor de la bobina del filtro, arrojado por la teoría clásica de filtros pasivos de dos elementos, es un valor impráctico.

Ello obedece a una razón lógica: la frecuencia de corte, que deducimos de nuestro estudio exhaustivo de la bocina, es muy baja para un filtro pasa-altas, 160 Hz !. Sin embargo, eso es lo que necesitamos para proteger a nuestra bocina, y algo tenemos que

hacer al respecto.

Veamos entonces como lograr prácticamente lo que buscamos con bobinas pequeñas, apoyándonos en el diagrama de la figura 31.



**Figura 31.** Bobina L pequeña y fácil de construir conectada en paralelo con la bocina. En los puntos a y b se colocará, a prueba y error, el capacitor que logre lo que queremos.

Generamos una onda senoidal de 160 Hz y unos 5 mVpp con nuestro generador de funciones. Con nuestro amplificador, aumentamos el voltaje de la onda, hasta observar 11 volts pico en el canal A del osciloscopio.

Posteriormente, conectemos uno por uno diferentes capacitores entre los puntos a y b mostrados, hasta que encontremos el capacitor con el cual el voltaje en los extremos de la bocina, que se observa en el canal B del osciloscopio, valga 7.20 volts pico. Cuando esto suceda, tendremos el filtro pasa-altas cuya frecuen-

cia de corte se encuentra situada en 160 Hz.

Ahora bien, dado que no todos los capacitores comerciales son exactamente del mismo valor, y algunos cambian su valor hasta en  $\pm 10\%$  ó más, lo que se puede hacer es fabricar una bobina con núcleo ferromagnético movable, para graduar su valor y poder compensar así las inexactitudes de los capacitores.

Los valores de L y C prácticos con lo que se logró lo que necesitamos son:

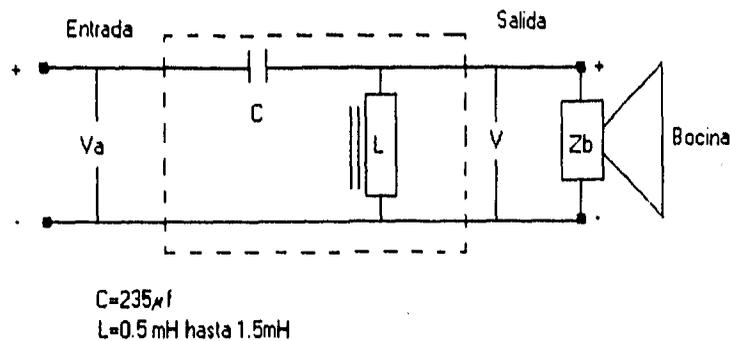
Capacitor fijo de  $C = 235 \mu\text{f}$  ( $\pm 10\%$  de tolerancia.)

Bobina variable de  $L = 0.5 \text{ mH}$  hasta  $1.5 \text{ mH}$ .

Si observamos, el valor máximo que puede tomar esta bobina, es de  $1.5 \text{ mH}$ . Contra  $11.253 \text{ mH}$  que nos arroja la teoría clásica (ecuación [19]). Esto implica construir una bobina 7.5 veces menor!

Dicha bobina además de compensar las inexactitudes de los capacitores, gracias a su núcleo movable que permite cambiar su valor, es de más fácil construcción y contiene menos pérdidas distribuidas.

El arreglo final se muestra en la figura 32.



**Figura 32.** Filtro pasa-altas definitivo.

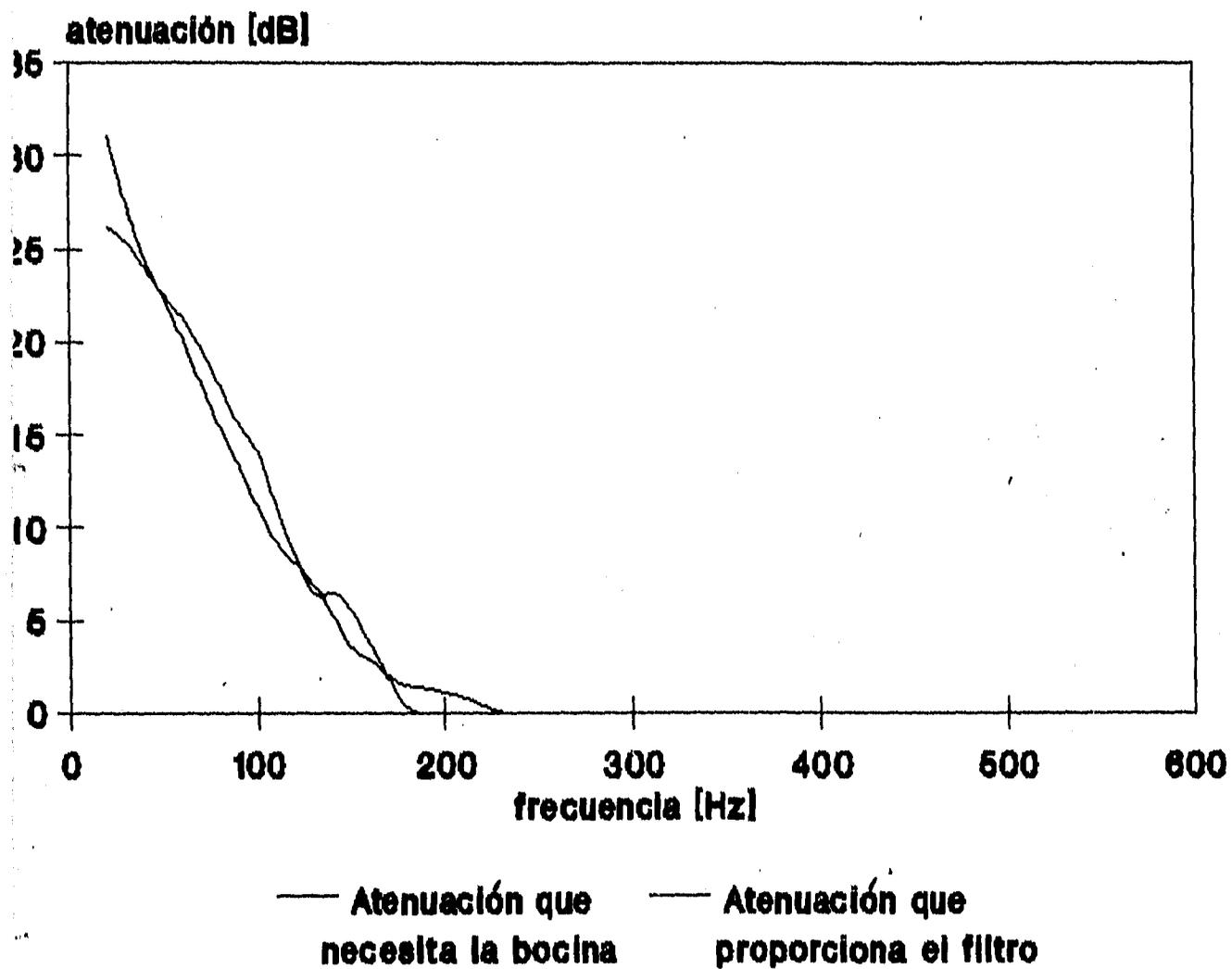
La atenuación de este filtro así diseñado, y la atenuación que necesitamos se muestran en la tabla 6.

La figura 33 muestra la gráfica de las atenuaciones de la tabla 6.

Notamos en la figura 33, que nuestro filtro así diseñado, logra de una manera bastante aproximada la atenuación que necesitamos para que no distorsione la bocina, y para que no sufra riesgos destructivos.

TABLA NO. 6

Frecuencia f (Hz)	Atenuación que debe tener el filtro. (dB).	Atenuación lograda con el filtro de la figura 32. (dB).
20	26.2	31
30	25.5	27.1
40	23.9	24.4
50	22.4	22.3
60	21.4	20.1
70	19.5	17.5
80	17.6	15.3
90	15.3	13.3
100	14.5	11
110	11	9
120	8.6	8.2
130	5.8	6.9
140	6.9	5.3
150	5.6	3.2
160	3.6	3
170	1.8	1.9
180	0	1.4
190	0	1.4
200	0	1.1
250	0	0.9
300	0	0.4
350	0	0
400	0	0
500	0	0
700	0	0
900	0	0
1,000	0	0
2,000	0	0
4,000	0	0
6,000	0	0
10,000	0	0
15,000	0	0



**Figura 33.** Atenuación proporcionada por el filtro diseñado en la práctica.

## CAPITULO V

### CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE PANTALLAS ACUSTICAS COMPLEMENTARIAS DE SUPER ALTA FIDELIDAD.

Son tres los elementos necesarios para la construcción de un sistema de pantallas acústicas complementarias de super alta fidelidad. Como hemos visto a lo largo de este trabajo dichos elementos son:

- Un instrumento musical de cuerda.
- Una bocina o altavoz dinámico y:
- Un filtro eléctrico pasivo del tipo pasa-altas.

El instrumento musical de cuerda se utilizará como la caja de re-

sonancia o recinto acústico de la pantalla. Y se ha escogido una guitarra valenciana principalmente debido a su tamaño, ya que no es muy grande y presenta un volumen interior de caja lo suficientemente bueno como para obtener resonancia a bajas frecuencias.

Se ha escogido una bocina o altavoz dinámico de 4" de diámetro ya que es precisamente esta dimensión de bocina la que encaja perfectamente entre la boca de la guitarra y el poste que sostiene las cuerdas de la misma en su tapa frontal. Colocar la bocina en este lugar tiene su razón de ser, es precisamente a esta altura de la guitarra donde se tocan las cuerdas para hacerlas vibrar.

Colocando la bocina en este punto muy probablemente obtengamos la mayor eficiencia acústica de la caja.

Por último, se ha desarrollado un filtro pasa-altas cuyo diseño está estrechamente ligado a las características de resonancia acústica de la guitarra y a las características electrodinámicas del altavoz ya montado en la misma.

Podemos enumerar los pasos para la construcción de un sistema de pantallas acústicas complementarias de super alta fidelidad como sigue:

- 1.- Quitamos las cuerdas del instrumento musical de cuerda con el objeto de poder trabajar libremente sobre su tapa frontal o tapa

armónica.

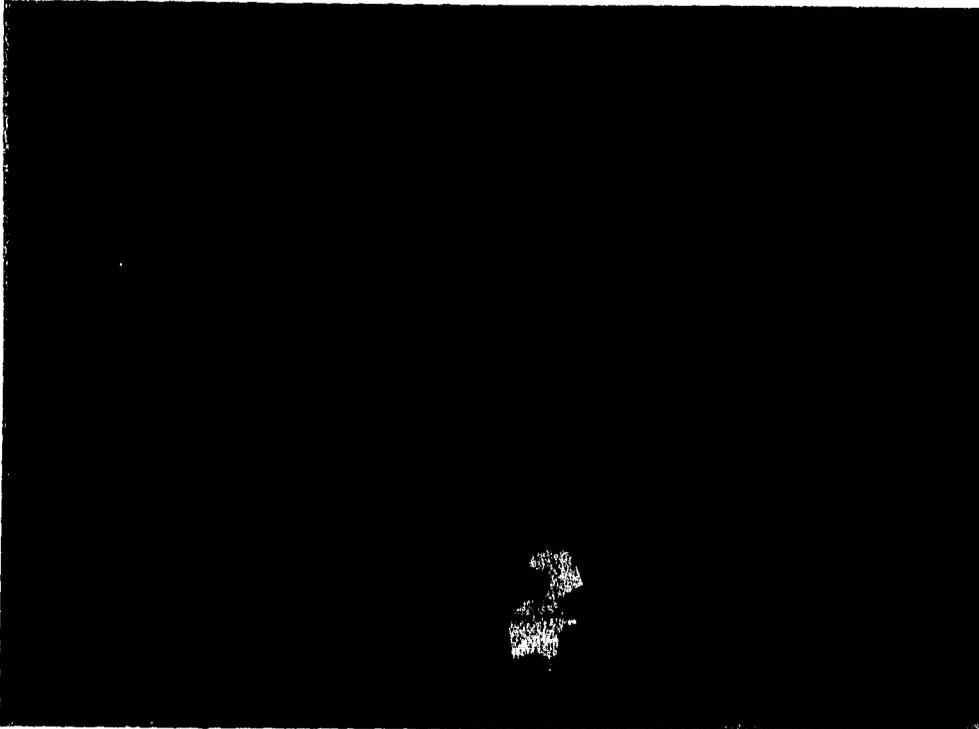
2.- Una vez que hemos quitado las cuerdas trazamos una circunferencia perfecta sobre la tapa del instrumento, en el caso particular de una guitarra valenciana la circunferencia quedará trazada entre el adorno de la boca de la guitarra y el travesaño donde se sujetan las cuerdas.

3.- Una vez trazada la circunferencia sobre la tapa de la guitarra se procede a cortarla con una caladora para madera, siguiendo el contorno de la circunferencia y tomando la precaución de cortar lentamente y con una cierra fina, para no levantar el barniz del acabado de la guitarra.

4.- Posteriormente se introduce la bocina dentro del orificio obtenido con la caladora, asegurándonos de que entre perfectamente en el mismo y con el propósito de marcar los puntos donde se harán los barrenos por los cuales pasarán los tornillos que sujetarán a la bocina con la tapa. Tal y como lo muestra la figura 34.

5.- El siguiente paso consiste en colocar los elementos reactivos que configuran al filtro pasa-altas (previamente diseñado de acuerdo al capítulo IV) sobre la bocina, aprovechando la estructura de la canastilla y la del imán para sujetarlos con pegamento, como lo muestra la figura 35.

Notamos en la figura 35 los elementos reactivos pegados en la

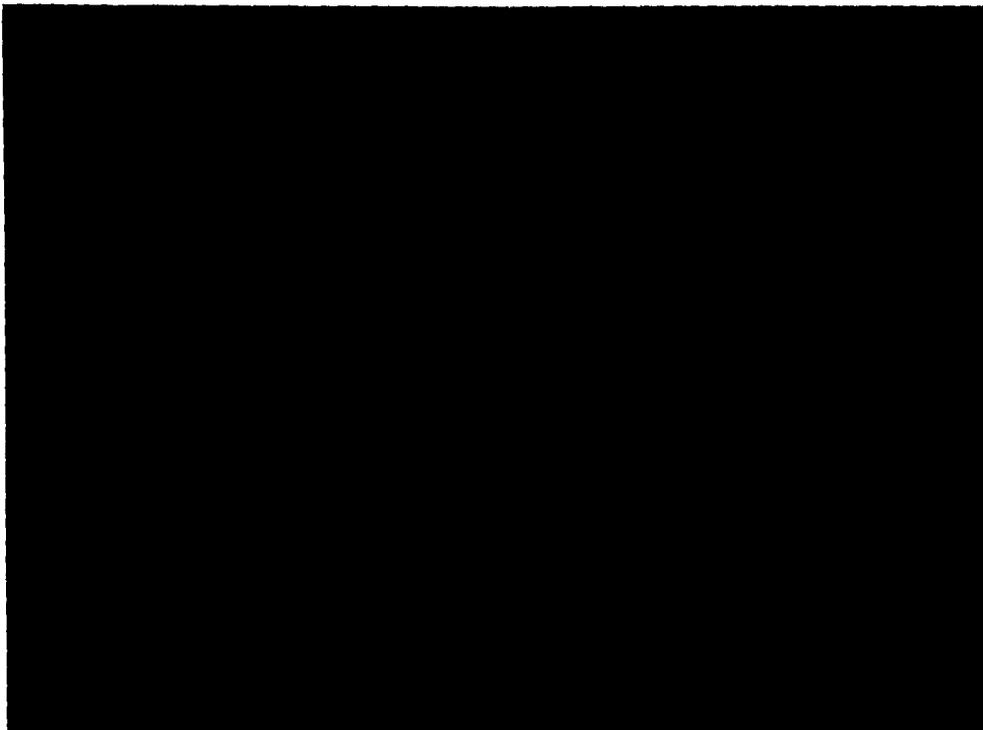


**Figura 34.** Guitarra con orificio y barrenos en su tapa frontal para colocar la bocina.

estructura de la bocina así como en conector que quedará en la parte trasera de la guitarra.

6.- Una vez pegados los elementos reactivos del filtro en la bocina se procede a introducirla en el orificio de la tapa frontal de la guitarra donde quedará sujeta, tal como lo muestra la figura 36.

7.- Finalmente se sujetan con tornillos los conectores en la parte trasera de la guitarra y se colocan todas las cuerdas para ser



**Figura 35.** Elementos reactivos del filtro pegados sobre la estructura de la bocina.

afinadas. La figura 37 y la figura 38 muestran la vista trasera y la vista frontal respectivamente del sistema de pantallas acústicas ya terminadas.



**Figura 36.** Bocina con elementos reactivos del filtro lista para montarse en la tapa armónica de la guitarra.

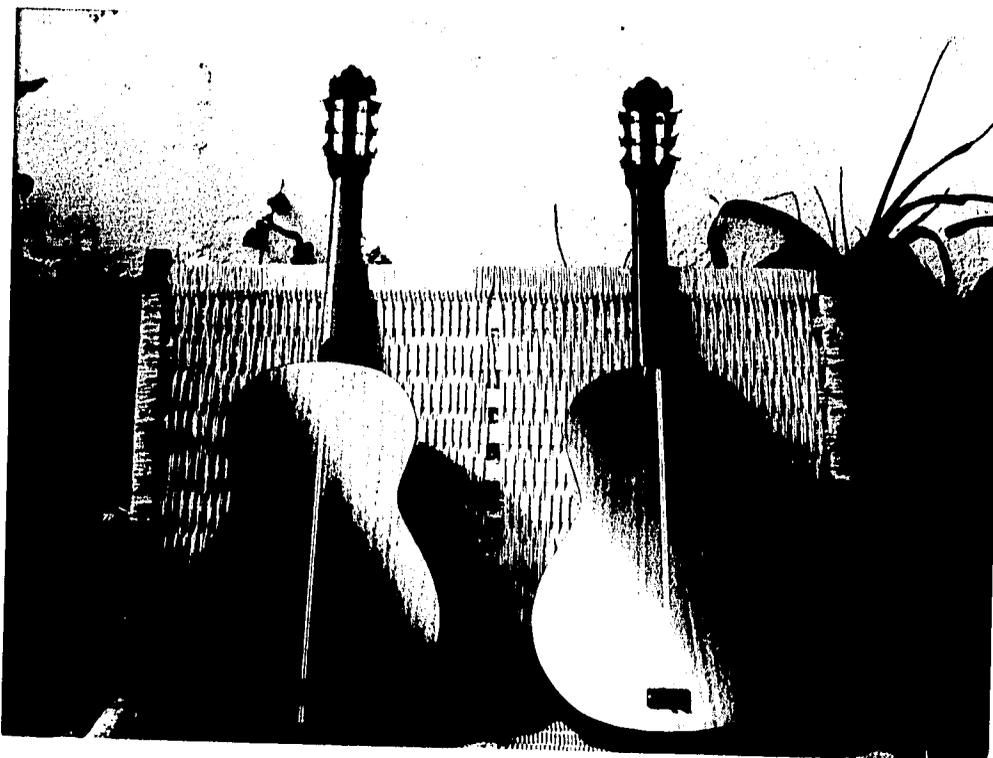


Figura 37. Vista trasera del sistema de pantallas acústicas.

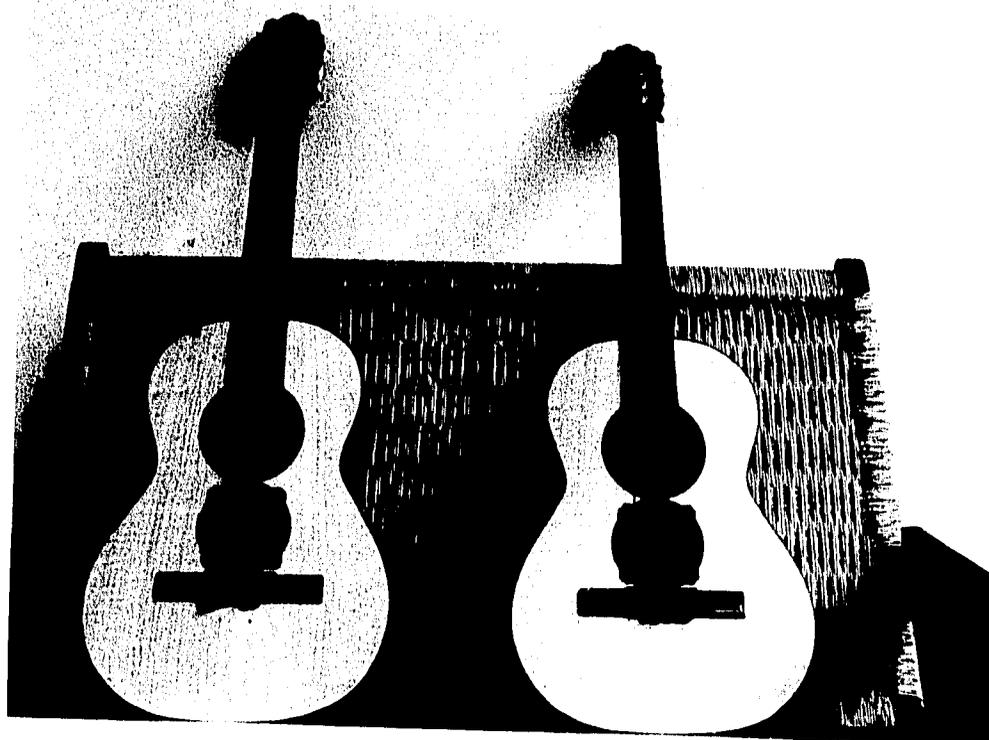


figura 38. Vista frontal del sistema de pantallas acústicas.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES.

El siguiente es un resumen simplificado de las conclusiones que se obtuvieron a lo largo de este trabajo, y con base en las cuales se obtuvieron tan sorprendentes resultados.

1.-Basándonos en la ecuación de la fuerza que se produce en un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético y que transporta una corriente eléctrica, y aplicándola por analogía a una bocina dinámica cualquiera, se describió detalladamente el funcionamiento de la misma, el motivo por el cual este tipo de bocinas distorsiona las señales de audio que llegan a las mismas, así como el motivo por el cual se destruyen o "desconan" .

2.- Una vez definido el motivo por el cual una bocina distorsiona y se destruye, se describe la metodología para determinar qué voltaje máximo soporta la bocina en sus bornes de conexión para cada frecuencia del espectro audible, y estando montada en su caja, de forma tal, que la fuerza que produce este voltaje no haga que el cono exceda un cierto desplazamiento preestablecido. Logrando esto evitamos riesgos de distorsión y ruptura.

3.- Una vez conocida la naturaleza funcional de la bocina, se determinó cuál es el voltaje máximo que entrega el amplificador de audio, para todas las frecuencias del espectro audible, y se concluyó que dicho voltaje no es constante, contrariamente a lo que en principio podríamos pensar.

4.- Una vez definidas la naturaleza funcional de la bocina, del amplificador de audio, y sus máximas capacidades, concluimos que es necesario insertar entre la bocina y el amplificador de audio un dispositivo que regule el voltaje, de forma tal que a la bocina sólo le llegue el voltaje que es capaz de soportar sin riesgos destructivos y de calidad audible.

5.- Se concluye que un filtro pasa altas logrará regular el voltaje en su banda de atenuación. Sin embargo, observamos que las atenuaciones que arroja la teoría clásica de filtros eléctricos no se ajustan con lo que necesitamos, y que el valor de las bobinas, es prácticamente irrealizable. Son bobinas muy grandes,

con muchas pérdidas, y caras.

6.- Concluimos también que una bocina reproductora de frecuencias medias no necesariamente requiere un filtro pasa banda para operar bien, como se creía; por el contrario, lo que necesita es un filtro pasa altas operando como regulador de voltaje en su banda de atenuación.

Es aquí donde nos damos cuenta que dicha banda efectivamente se puede utilizar para lograr super alta fidelidad, ya que extendemos el rango de esta bocina reproductora de frecuencias medias a todo el espectro audible, regulando el voltaje que llegará a la misma en aquellas frecuencias para las cuales es más susceptible.

Con esto, este tipo de bocina opera al máximo de su capacidad por un lado, y sin riesgos destructivos y de distorsión, por el otro.

7.-Se propone la metodolgia práctica que nos llevará a obtener el filtro deseado. Es decir, los valores de C y L se obtienen, no por medio de la teoría clásica existente, si no por un método práctico con el cual se logra reducir unas 8 veces el tamaño de la bobina, y se logra ajustar mejor la atenuación a lo que necesita nuestra bocina para no distorsionar.

8.- Finalmente, este filtro así diseñado, y la bocina, son mon-

tados en su caja acústica, que resulta ser una guitarra Valenciana con todo y sus cuerdas. Los motivos por los cuales se escoge la guitarra con cuerdas como caja acústica, son los siguientes:

a) Las cuerdas afinadas vibran, por resonancia, en armonía con las frecuencias que reproduce la bocina (como si alguien las tocara), creando una sensación de presencia viva insuperable.

b) La forma de la guitarra Valenciana, no cúbica, proporciona un patrón de resonancia acústica que ninguna otra caja puede lograr. Esto se debe al hecho de que la Guitarra Valenciana resuena no sólo por la influencia de la bocina que contiene, sino también por la influencia de las ondas sonoras externas que provienen de las pantallas acústicas propias de la cadena, sobre todo a bajas frecuencias.

9.- La estética de estas pantallas acústicas es muy agradable y fuera de lo común.

10.- Por último, concluimos que las pantallas acústicas de super alta fidelidad, objeto del presente trabajo, se utilizan única y exclusivamente como un complemento. Esto quiere decir que la intención de estas pantallas no es, en ningún momento, la de sustituir a las pantallas acústicas propias de nuestro sistema de audio. Por el contrario, el propósito de las pantallas complemen-

tarias, es el de operar en conjunto con las pantallas propias del sistema de audio para poder así cubrir sus deficiencias, logrando una atmósfera audible de super alta fidelidad.

## CAPITULO VI

## BIBLIOGRAFIA.

- HUGH, Hildret y Skilling. Circuitos en Ingeniería Eléctrica  
3a. Ed. C.E.C.S.A.
- SEARS, W. Francis. Fundamentos de Física II. Electricidad  
y Magnetismo. 6a.Ed. Aguilar. Madrid, España 1967.
- COOPER, W. David. Instrumentación Electrónica y Mediciones.  
Ed. Prentice/Hall Internacional.
- RESNICK y Halliday. Física Parte I. 4a. Ed. C.E.C.S.A. 1971.
- DESOER, Charles A. & Kuh, Ernest S. Basic Circuit Theory. Mc.  
Graw-Hill. 1969.

- HUANG T.C. Mecánica Para Ingenieros Tomo II. Ed. Representaciones y Servicios De Ingeniería, S.A. Massachusetts U.S.A. 1968.
- CARRION, Antonio. "Diseño de cajas acústicas. Sistemas de caja cerrada." en: Mundo Electrónico de Boixareu Editores. Num.142. Sep/1984.
- RECUERO, M. y M.A. López Luesma. "Filtros acústicos. Diseño y experimentación." en: Mundo Electrónico de Boixareu Editores. Num.146. Enero/1985.
- MC. COMB, Evans Alvis J. & Evans Eric J. Building Speaker Systems. Ed. Radio Shack.
- BERANEK, Leo. L. Acoustics. Ed. Mc. Graw-Hill. Electrical and Electronic Series. 1954.
- RUIZ, Vassallo F. Alta Fidelidad. Ed. CEAC. Barcelona España.
- NEWTON C. Braga. "Divisores de frecuencia para cajas acústicas." en: Saber electrónica. Edición mexicana. Num.1 año 3.

- JBL. "Transductores de alta frecuencia." en: Electrónica siglo veintiuno. Año II/Num.20/1991.