

# CAJAS ACÚSTICAS, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

GERARDO PELLIS<sup>1</sup>, GERMAN VARGAS<sup>1</sup> y EMANUEL ZAMBRONI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC). Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, CP X5016ZAA, Córdoba, Argentina  
Gerardo\_pellis@hotmail.com, Gernesto.v@gmail.com, Zambroni.emmanuel@gmail.com

Resumen – *En este trabajo se desarrolla el análisis y diseño de cajas acústicas a partir de las características generales de diversos transductores electroacústicos utilizando diferentes métodos y criterios de diseño. Además, se realiza un análisis de los métodos actualmente utilizados para el diseño de cajas acústicas propuestos por diversos autores. Por último se presenta una breve descripción de las especificaciones de potencia en los gabinetes y los distintos materiales utilizados en la confección de los mismos.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los altavoces se montan en cajas acústicas para mejorar las características de radiación sonora principalmente. El agregado de una caja acústica, o sonodeflector, o baffle, permite corregir esta característica [1].

Los altavoces necesitan instalarse en cajas debido a que la membrana posee dos lados, uno exterior y otro interior. Cuando el lado exterior de la membrana crea una onda, el interior crea la misma onda pero opuesta en fase, es decir, en contra fase.

Los sonidos graves mueven una gran cantidad de aire, cuando el lado exterior empuja, el interior tira. Con presiones elevadas, resulta fácil que la presión del lado exterior y la contraposición del lado interior, den lugar a la cancelación del movimiento y la presión del aire. Este fenómeno se denomina cortocircuito acústico.

Al instalar el altavoz en una caja se elimina este problema, pero se crea otro problema menor. La onda creada por la parte interior, se refleja en el fondo de la caja y se puede llegar a encontrar con la creada por la parte exterior. La suma de la onda en diferente fase crea una onda distorsionada, que siempre es diferente a la onda que queremos reproducir.

Para solucionar esto, el fondo del altavoz no debe ser paralelo al frontal, para que la onda reflejada no se junte automáticamente con la onda inicial. Además de esto, en el interior de la caja se colocan materiales que absorben la onda del interior [2].

## 2. TIPOS DE CAJAS

Existen varios tipos de baffles el más simple es el baffle infinito o sonodeflector infinito, el cual consiste en colocar el altavoz al ras de una superficie perforada, de tal manera que las ondas de compresión y descompresión no puedan mezclarse, aprovechando la totalidad de la onda radiada por el altavoz.

Teóricamente este es uno de los mejores sistemas por cuestiones de orden práctico su aplicación no es

factible debido a que se necesita un volumen muy grande detrás del altavoz [1]. Básicamente las cajas acústicas se clasifican en:

- Caja cerrada.
- Caja Bass-réflex o caja abierta.
- Caja paso banda.
  - a) Paso banda de 4to orden.
  - b) Paso banda de 6to orden.
- Caja radiador pasivo.
- Caja ELF.
- Caja laberinto acústico.

## 3. CAJA CERRADA

Utiliza una caja recubierta interiormente con material absorbente, de modo que su interior se comporta como un espacio abierto. El resultado es similar al de un baffle infinito. [1]

La calidad del sellado influye en la calidad final del sonido. Es un volumen de aire cerrado, por lo que la  $F_b$  (frecuencia de sintonía, frecuencia de resonancia del altavoz dentro de la caja) será siempre mayor que  $F_s$  (frecuencia de resonancia de un altavoz sin caja), por ello conviene utilizar altavoces con  $F_s$  baja.

Estos baffles se utilizan en sistemas de pequeña potencia y frecuencias relativamente alta [2].

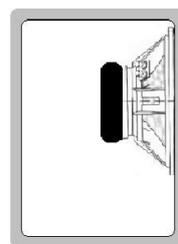


Figura 1: Caja sellada.

### 3.1 Ventajas

- mayor control de la membrana del altavoz.
- el diseño es muy sencillo de calcular.

- el tamaño es reducido en relación a otras configuraciones.
- admite algo más de potencia al tener que trabajar con una presión/depresión de aire.
- sonido más real.
- sonido más agradable.

### 3.2 Desventajas

- en las frecuencias bajas se nota su menor presión sonora.
- necesitamos más potencia para rendir como otras configuraciones.
- la frecuencia de corte no es muy baja, con un tamaño de caja normal.
- el aire contenido en la caja, a gran SPL (Sound Pressure Level, nivel de presión sonora), actúa como un muelle y se crea gran distorsión a alto volumen.

## 4. CÁLCULO DE UNA CAJA CERRADA

### 4.1 Principio de funcionamiento

Para evitar un cortocircuito acústico entre las dos caras de la membrana, se debe colocar el altavoz sobre una caja cerrada. La onda trasera será amortiguada por medio de materiales acústicos.

### 4.2 Forma de la curva amplitud/frecuencia

Es posible determinar en una caja cerrada su coeficiente de sobretensión  $Q$ , el cual depende de los parámetros mecánicos acústicos del altavoz elegido, así como del material de la caja en la que se instalará dicho altavoz.

A continuación, se muestra la forma de la curva de respuesta de una caja cerrada en el extremo grave, en función del coeficiente de sobretensión de la caja en su frecuencia de resonancia (frecuencia con la que vibra el sistema).

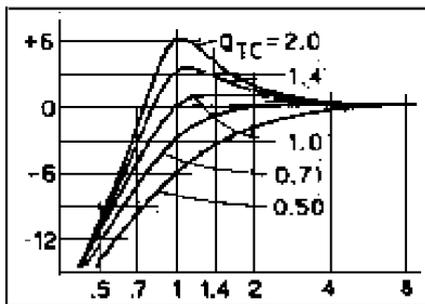


Figura 2: Curva de respuesta de una caja cerrada. Amplitud vs. frecuencia normalizada

$$F_c = \frac{QTC \times FS}{QTS} \quad (1)$$

Donde:

$F_c$  – Frecuencia de resonancia del altavoz al aire libre.

$QTC$  – Coeficiente de sobretensión del sistema en la frecuencia de resonancia de la caja.

$QTS$  – Coeficiente de sobretensión total del altavoz.

$$F_3 = FC \times \sqrt{\frac{A + \sqrt{4 + A^2}}{2}} \quad (2)$$

Donde:

$F_c$  – Frecuencia de resonancia del altavoz al aire libre.

$$A = \frac{1}{QTC^2} - 2 \quad (3)$$

$$\alpha = \left( \frac{FC}{FS} \right)^2 - 1 \quad (4)$$

$$VAB = \frac{VAS}{\alpha} \quad (5)$$

$$\frac{FC}{FS} = \sqrt{(\alpha + 1)} \quad (6)$$

Donde:

$VAB$  – Volumen de aire equivalente a la elasticidad acústica del aire de la caja.

$VAS$  – Volumen de aire equivalente a la elasticidad de la suspensión del altavoz.

$$F_{db} = 10 \log \left( \frac{FN^4}{FN^4 + \alpha FN^2 + 1} \right) \quad (7)$$

Donde:

$F$  – Nivel acústico en cada frecuencia.

## 5. CAJA BASS-REFLEX O CAJA ABIERTA

Se trata de una caja parcialmente cerrada llena de material absorbente, pero con un tubo con salida al exterior. Este tubo tiene la función de ofrecer una resistencia entre el aire interior y el exterior, con ello se consigue reforzar las bajas frecuencias.

En este baffle se irradian dos ondas. La primera es la creada por la onda de compresión de la cara externa o delantera del cono, que es irradiada en forma directa. La segunda es creada por la onda de descompresión de la cara interna o posterior del cono, que sale por la abertura o boca del baffle.

Si esta onda sale al exterior en forma inmediata lo que sucedería es una cancelación con la onda de compresión por estar en contrafase dando un sonido resultante muy débil.

Entonces lo que hacemos es que la onda recorra cierta distancia antes de salir, de manera que cuando salga, la otra onda (la que se irradia en forma directa) ya paso a ser de descompresión y entonces las dos están en fase, reforzándose el sonido resultante debido a la contribución de las dos.

La distancia que debe recorrer la onda interna para que esto ocurra es la que recorre la onda en la mitad de un ciclo, es decir, media longitud de onda ( $\lambda/2$ ).

En principio tiene una limitación y es que la longitud de onda depende de la frecuencia, por lo tanto del cambio de fase será el óptimo solo para una frecuencia determinada, ya que la distancia entre el altavoz y la abertura es constante.

Una manera de solucionar este problema se recurre interiormente el baffle con una material absorbente acústico (generalmente lana de vidrio) el cual se encarga de absorber la onda creada por la parte posterior del altavoz cuando está es de alta frecuencia. Cuando la frecuencia es demasiado baja (la longitud de onda es demasiado grande) la cancelación es inevitable [1].

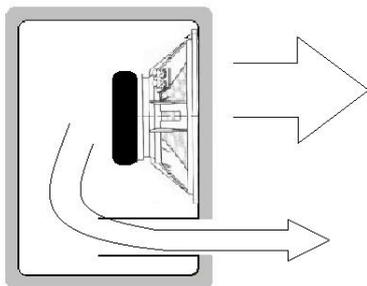


Figura 3: Caja Bass-Réflex.

### 5.1 Ventajas

- su buen rendimiento en graves.
- rinde aproximadamente 3 dB más que la hermética.
- mayor SPL en las frecuencias más bajas
- si está bien calculada su respuesta en frecuencias es más ancha que una hermética.

### 5.2 Desventajas

- su cálculo es mucho más complicado que una hermética.
- el control de la membrana es peor que en hermético.
- La pendiente de atenuación es muy alta, y que cuando se trabaja por debajo de la frecuencia de corte de la caja, el aire contenido en el conducto ya no actúa como resistencia, y el altavoz es como si estuviese funcionando al aire libre.
- la respuesta temporal no es demasiado buena.

## 6. CÁLCULO DE UNA CAJA BASS-REFLEX

### 6.1 Principio de funcionamiento

En el caso de una caja cerrada, la emisión acústica producida por la parte trasera de la membrana, se pierde en forma de calor a través del material absorbente. La caja Bass-réflex tiene por objeto recuperar una parte de esta energía. En la caja existe una abertura llamada respiradero (tubo).

La masa de aire que esta en este respiradero, va a ser puesta en vibración por el volumen de aire existente en la caja. Existen dos masas, el altavoz y el aire comprendido en el respiradero, las cuales se encuentran separadas por una tercera masa, el volumen de aire comprendido en la caja. A muy baja frecuencia, el sistema estará en oposición de fase, al subir la frecuencia se pondrá en fase en la frecuencia de resonancia, para volver a descender a oposición de fase. Debido a este fenómeno, la presión acústica podrá aumentar. Haciendo variar el volumen de la caja y las dimensiones del respiradero, será posible optimizar las características del sistema [2].

### 6.2 Forma de la curva amplitud/frecuencia

La forma de la curva amplitud/frecuencia depende del volumen de caja, del parámetro del altavoz, así como del respiradero. Esta forma está caracterizada por el coeficiente de sobretensión del sistema en la resonancia.

A continuación se muestra la forma de la curva de respuesta de una caja Bass-réflex en los extremos graves, en función del coeficiente de sobretensión (S) de la caja en su frecuencia de resonancia.

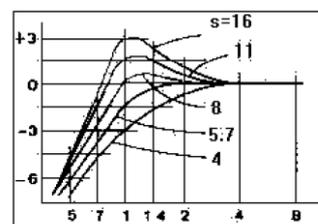


Figura 4: Curva de respuesta de una caja Bass-réflex. Amplitud vs frecuencia normalizada.

$$VB = 20 \times VAS \times QTS^{3.3} \quad (8)$$

Donde:

$V_B$  – volumen de la caja para una curva recta.

$$F_3 = \sqrt{\frac{V_{AS} \times FR^2}{V_B}} \quad (9)$$

Donde:

$FR$  – Frecuencia de resonancia del transductor al aire libre.

$F_3$  – Frecuencia de corte de la caja, en  $-3$  dB.

$$S = (V_B/V_{AS})/Q_{TS}^2 \quad (10)$$

Donde:

$S$  – Coeficiente de sobretensión de la caja.

Cálculo del volumen de la caja y de la frecuencia de corte para un  $S$  dado ecuación (11).

$$V_B = S \times V_{AS} \times Q_{TS}^2 \quad (11)$$

Con el nuevo  $V_B$  calculamos nuevamente  $F_3$

$$\alpha = \frac{V_{AS}}{V_B} \quad (12)$$

$$F_3 = F_{SB} \times \alpha^{0.44} \quad (13)$$

$$F_B = F_{SB} \times \alpha^{0.31} = \frac{F_3}{\alpha^{0.13}} \quad (14)$$

$$F_{SB} = \frac{F_3}{\alpha^{0.44}} = \frac{F_b}{\alpha^{0.31}} \quad (15)$$

Siendo la elasticidad del aire en la caja:

$$C_{AB} = \frac{V_B}{140449} \quad (16)$$

La masa acústica del respiradero será:

$$MAP = \frac{1}{4 \times \pi^2 \times F_b^2 \times C_{AB}} \quad (17)$$

Y la longitud del respiradero será:

$$L = \frac{MAP \times S_V}{1.18} \quad (18)$$

Donde:

$S_V$  – Superficie del respiradero.

Conviene efectuar una corrección de extremidad. La columna de aire que es opuesta en movimiento en el respiradero, arrastra el aire próximo a sus extremidades, provocando un aumento de la masa acústica del respiradero. Por lo tanto conviene reducir la longitud teórica y hacer una corrección ecuación (19).

$$lv = 0,82 \times \sqrt{S_V} \quad (19)$$

La longitud definitiva  $LD$  será:

$$LD = L - lv \quad (20)$$

## 7. CAJA PASO BANDA

También llamadas cajas de cargas simétricas por el circuito equivalente. Se trata de una caja con una pared interior donde se encuentra el altavoz. En uno de los lados hay una sub-caja Bass-réflex y en el otro puede haber una Bass-réflex (caja de 6° orden), o una caja sellada (4° orden). Se han hecho muy populares últimamente, sobre todo en los sistemas Home Cinema.

Las cajas deben estar muy bien construidas porque la presión en el interior es muy grande, con estas cajas se suele tener la impresión de que sólo se oye una frecuencia. Este tipo de caja deja salir el sonido por el conducto. La respuesta del conducto tiene una pendiente de 24 dB/octava en ambas vertientes es por ello que se llaman paso banda.

La caja de propiamente dicho un resonador Helmholtz lo cual tenemos la impresión de que solo se oye una sola frecuencia.

## 8. CAJA PASO BANDA 4<sup>to</sup> ORDEN

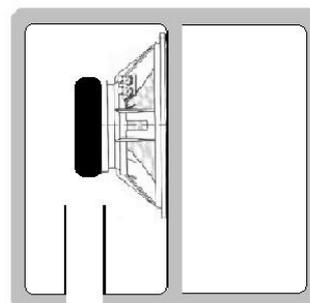


Figura 5: Paso banda de 4<sup>to</sup> orden.

## 8.1 Ventajas

- se necesita poco volumen de carga
- disponen de buena respuesta de frecuencias
- no se necesita para su filtraje una pasivo de mucha calidad ya que su grafica de respuesta es en forma de campana.

## 8.2 Desventajas

- si su cálculo no es perfecto se pueden producir respuestas turbias en según qué frecuencias.
- se aconseja para este tipo de cajas un filtro con pendiente de 18 dB/Octava.

## 9. CAJA PASO BANDA 6<sup>to</sup> ORDEN

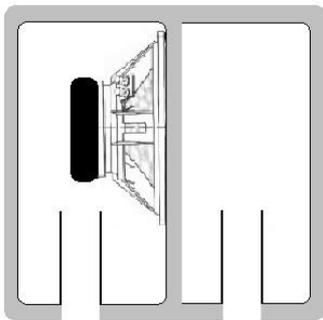


Figura 6: Paso banda de 6<sup>to</sup> orden.

### 9.1 Ventajas

- excelente control del desplazamiento de la membrana
- casi su respuesta es auto filtrada por lo que no necesitan filtros de calidad
- buenos rendimientos con altavoces de dimensiones pequeñas

### 9.2 Desventajas

- gran volumen
- descontrol del cono del altavoz en frecuencias muy bajas.

### 9.3 Cálculo de una caja de carga simétrica de 4<sup>to</sup> orden

### 9.4 Principio de funcionamiento

Como se puede ver en la Fig.7 el altavoz se haya cargado en la cara delantera por un resonador, y en la cara trasera por una caja cerrada. El resonador delantero tiene el cometido de ajustar el sistema y hace la función de filtro acústico paso-bajo. Este tipo de principio está reservado para uso en el extremo grave.



Figura 7: Caja de carga simétrica.

### 9.5 Forma de la curva amplitud/frecuencia

La forma de la curva amplitud/frecuencia depende de las características del altavoz elegido y de los dos volúmenes de la caja, así como del respiradero. La característica de sobretensión del sistema en la frecuencia de resonancia se muestra en la tabla siguiente:

S	0,4	0,5	0,6	0,7
E	2,7	1,25	0,35	0

Tabla 1: Características de sobre tensión.

Donde:

$S$  – Coeficiente de sobretensión.

$E$  – Atenuación en la resonancia en dB.

Cálculo de la frecuencia normalizada:

$$F = \frac{FR}{Q_{ts}} \quad (21)$$

Donde:

$FR$  – Frecuencia de resonancia del transductor al aire libre.

$Q_{ts}$  – Coeficiente de sobretensión total del altavoz.

Cálculo del volumen delantero VB:

$$VB = 4 \times S^2 \times VAS \times Q_{ts}^2 \quad (22)$$

Frecuencia de corte alta (FCH):

- Elegir la frecuencia de corte alta FCH (120 Hz como máximo).
- Deducir la relación.

$$R = Q_{ts} \times \frac{FCH}{FR} \quad (23)$$

Cálculo de QTE:

$$QTE = Q_{ts} \times \sqrt{1 + \frac{VAS}{VF}} \quad (24)$$

Donde:

$VF$  – Volumen trasero.

Se determina sobre la red de curvas el parámetro en QTE, la curva correspondiente a la frecuencia de corte alta en -3 dB (igual a R). Anotar sobre la red de corte baja en -3 dB (FCB) nuevo valor de R. Calcular la frecuencia de corte baja en -3 dB (FSB).

$$\frac{FCB}{FR} \times Q_{ts} = R \rightarrow FSB = FR \times \frac{R}{Q_{ts}} \quad (25)$$

Cálculo del volumen trasero:

$$VF = \frac{VAS}{\left(\frac{QTE}{Q_{ts}}\right)^2 - 1} \quad (26)$$

Cálculo de las dimensiones del respiradero:

$$\frac{LV}{SV} = \frac{3000}{FB^2 \times VB} \quad (27)$$

$$FB = \frac{QTE}{Q_{ts}} \times FR \quad (28)$$

Donde:

$LV$  – Longitud del respiradero.

$SV$  – Sección del respiradero.

$FB$  – Frecuencia de resonancia de la caja.

Factor de extremidad:

$$lv = LV - 0.88 \times \sqrt{SV} \quad (29)$$

Da como resultado un respiradero en forma de tubo.  $LV$  es la longitud definitiva del respiradero.

A continuación se muestra la forma de la curva de respuesta en función del  $Q_t$ , para un coeficiente de sobretensión ( $S$ ) de 0,5.

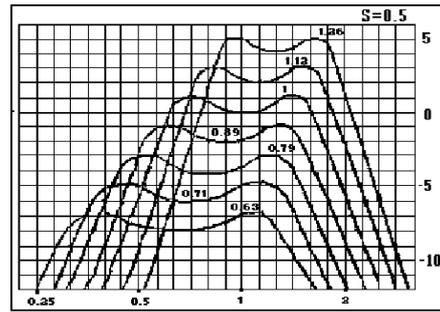


Figura 8: Curva de respuesta en función del  $Q_t$  para un coeficiente de sobretensión de 0,5. Amplitud vs frecuencia normalizada.

A continuación se muestra la forma de la curva de respuesta en función del  $Q_t$  para un coeficiente de sobretensión ( $S$ ) de 0,7.

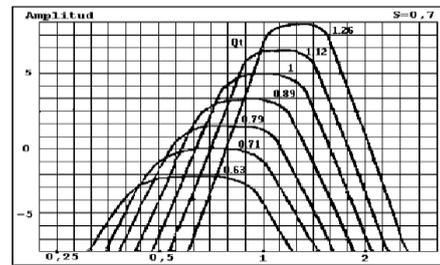


Figura 9: Curva de respuesta en función del  $Q_t$  para un coeficiente de sobretensión de 0,7. Amplitud vs frecuencia normalizada.

## 10. CAJA RADIADOR PASIVO

Existen algunas cajas infinitas que aprovechan la energía del sonido en contrafase para mover un radiador pasivo, que es un altavoz sin el motor, sólo con la membrana.

Este tipo de radiadores transmiten las ondas traseras en fase invertida por delante de la caja, es decir, cuando el altavoz se mueve lo hace hacia adelante, el radiador lo hace hacia atrás.

La Caja de Radiador Pasivo se ha sustituido el tubo resonador por un altavoz sin motor que se mueve como consecuencia de las variaciones de presión originadas en el interior de la caja. Dentro de este sistema existe una variante mejorada que pone en juego distintas cavidades y radiadores pasivos convenientemente acoplados entre sí, de modo que se consigue una extensión importante en baja frecuencia.

Es una variante de la caja Bass-réflex. Fue inventada por Celestion, consiste de una caja Bass-réflex en la que se ha sustituido el port por un radiador pasivo.

Un radiador pasivo es como un altavoz, pero sin imán y sin bobina. Solo tiene el chasis, la suspensión y el diafragma. Su misión es dejar pasar a los graves que se crean en el interior de la caja.

Se trata de hacer que el radiador pasivo ofrezca la misma resistencia al aire que el port de un sistema Bass-réflex, para esto se le añade masa. El rendimiento de estas cajas es menor que los Bass-réflex ya que a la frecuencia de resonancia del radiador se produce una disminución en la respuesta (como un notch filter).

Las ventajas son las mismas que en las cajas Bass-réflex teniendo en cuenta que hay que agregar el precio del radiador.

Aunque se pensaron para reforzar los graves en las frecuencias de resonancia, realmente no aportan ninguna ventaja sobre un reflector de graves y tienen dos desventajas importantes, el sonido producido por el radiador pasivo está en contrafase, lo que puede producir reducciones de rendimiento y distorsión y además el altavoz queda sin amortiguar, por lo que un transitorio podría dañarlo.

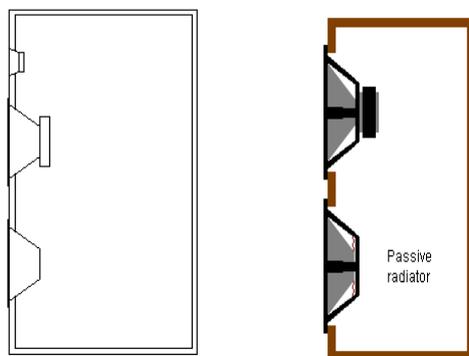


Figura 10: Caja Radiador Pasivo.



Figura 11: Curva Radiador Pasivo.

## 11. CAJA ELF

ELF es un acrónimo de Extended Low Frequency. Es un tipo de caja conocido desde hace tiempo, pero no se ha empezado a usar hasta hace poco tiempo, con la aparición de los subwoofers activos para equipos de home cinema. Aún así no está muy extendida por sus serias restricciones, a pesar de tener una ventaja muy importante

Consiste en una caja sellada con un volumen mucho menor que el necesario. Esto hace que la respuesta decaiga a frecuencias muy altas, entre 100Hz y 150Hz, lo cual no es muy lógico para un subwoofer. Pero mediante una corrección activa esa respuesta se puede dejar plana hasta una determinada frecuencia.

Normalmente una caja se considera "usable" a partir de la frecuencia de sintonía ( $F_b$ ), pero en este tipo concreto de caja se usa desde  $F_b$  hacia frecuencias menores. Aquí el aire reduce la elasticidad, equivale a una suspensión más rígida y la frecuencia de sintonía de la caja aumenta, por eso en un altavoz con  $F_s = 40\text{Hz}$  se puede hacer  $F_b = 100\text{Hz}$ .

Las ventajas son que el tamaño es sumamente reducido. A falta de confirmar, el subwoofer de Bang&Olufsen es un ejemplo, un cubo de 25-30 cm de lado. Otra ventaja es que la eliminación de la onda producida por la parte trasera se produce por la propia elasticidad del aire. Por otra parte, la elasticidad del aire contenido y el alto desplazamiento de la membrana hacen que la distorsión sea alta.

Los inconvenientes son serios: al reducir el SPL a  $-12\text{dB/oct}$ , la corrección debe ser muy fuerte. Las limitaciones por potencia son muy importantes, pero no tanto como las limitaciones por desplazamiento de la membrana.

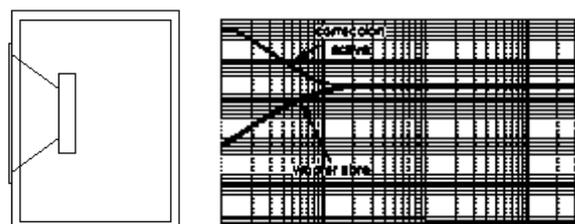


Figura 12: Caja ELF.

## 12. CAJA LABERINTO ACÚSTICO

No existen muchos ejemplos comerciales de este tipo de caja. El más célebre es el Nautilus Prestige de B&W. Consiste en una "caja" muy larga llena de material absorbente que eliminan la onda producida por el interior del diafragma. Concretamente en ese modelo, por las propiedades de los tubos, cuando el diámetro es mayor que la longitud de onda, la onda se comporta como una onda plana que se desplaza guiada por el tubo, y no se crean ondas estacionarias, por lo que si el woofer está cortado a frecuencias suficientemente bajas, este tipo de "caja" está libre de coloración y de resonancia.

Acerca de la frecuencia de corte, en principio es una caja sellada mejorada, por lo que la respuesta debe caer con una pendiente de  $-12\text{dB/oct}$ , pero en el Nautilus decae con una pendiente de  $-6\text{dB/oct}$ , según dice B&W. La realidad es que debe comportarse como una caja cerrada con una  $Q$  menor que la de Bessel, 0,5, con lo cual alcanzará la respuesta de baffle infinito. Con una corrección activa se puede producir fácilmente respuesta plana hasta  $F_s$ . Es una caja cerrada, pero con un volumen de aire muy grande que no va a influir en la elasticidad, va a ser mucho mayor la del propio altavoz, por lo que  $F_s \sim F_b$

En un diseño general, a altos SPL puede ocurrir que no toda la onda se absorba, y parte se vea reflejada en el final del laberinto. Por eso la longitud

del laberinto debe ser  $1/4$  de la longitud de onda de la  $F_s$  del woofer, para que si esto se produce, halla un refuerzo y no una cancelación.

**Ventajas:** Caja teóricamente libre de resonancias, aunque no existan muchos materiales adecuados para preservar sus características sin añadir resonancias y eliminar el sonido interior. La respuesta se puede extender hasta la misma frecuencia de resonancia del woofer, y además existe sólo un punto de emisión sonora, por lo que tiene menos interacción con la sala.

**Inconvenientes.** Son cajas grandes, y con muchos materiales absorbentes y estructuras en el interior.

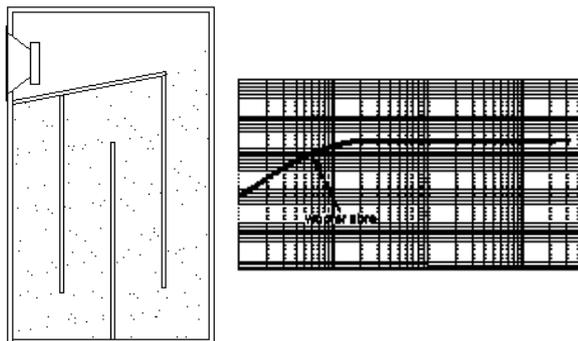


Figura 13: Caja laberinto acústico y Respuesta en frecuencia.

## 13. MATERIALES PARACAJAS ACÚSTICAS

### 13.1 Aglomerado

El aglomerado es considerado el peor material para la fabricación de cajas acústicas, pero la realidad es que depende de su calidad. Hay aglomerado de 10 mm (el más barato, pero es el peor), también los hay de 18, 25, 30 mm, en los que la cola tiene mucha más calidad, las virutas también, está más prensado, etc, estos últimos son los indicados para construir cajas para altavoces. Un punto a favor del aglomerado de 30 mm, es que no tiene resonancias marcadas como el MDF, lo cual da un sonido más natural al sonido.

### 13.2 MDF

El MDF es también bastante barato, aunque no tanto como el aglomerado. Es muy duro, y se trabaja muy bien con él. Está compuesto por fibras de madera pegadas con una cola especial. Desde hace unos años, las cajas se fabrican con este material. Es más barato que la madera más barata y uniendo esto a su dureza, rigidez e índice de absorción, lo hace un material muy indicado para construir cajas. Como inconveniente, decir que su comportamiento no es perfectamente homogéneo y lineal, tiende a resonar o a reducir su absorción del sonido en el rango de 200-400 Hz.

### 13.3 Contrachapado

También se le conoce como okumen. Debe tener un espesor grande, debido a que no es muy rígido. Se curva con una cierta facilidad, una caja de okumen debe llevar refuerzos interiores. Las resonancias que produce no son a una frecuencia tan marcada como el MDF, pero son mayores debido a su baja resistencia y su escasa absorción.

## 13.4 Madera

Hay muchos tipos de madera, con diferentes densidades, durezas, etc, las comparaciones con el MDF son imposibles. Se encoge y se amolda a las formas, una construcción extremadamente firme y recia de una caja, tendrá una evolución posiblemente a mejor, cuando las tablas se hallan asentado y acomodado entre sí.

Las ventajas son además de que si está bien hecha evolucionará a mejor. Por otro lado está la estética, una caja en madera es siempre más atractiva que una de MDF o aglomerado. Como inconvenientes, es más fácil que se produzcan ondas estáticas en el interior de la caja. Si la madera es débil y la caja está poco reforzada, puede causar resonancias a frecuencias fijas y además las ondas creadas por la parte interior de la membrana, pueden traspasar las paredes de la caja y llegar al exterior fuera de fase, una madera dura produce una menor absorción. Esto se soluciona con materiales absorbentes.

## 14. MATERIALES ABSORBENTES

La finalidad de un material absorbente es eliminar la onda producida por la parte interior del altavoz. No existen materiales ideales que absorban al 100% la energía cinética y la transformen en calor, que no reflejen un porcentaje del sonido y que respondan por igual a todas las frecuencias. La mejor forma de evitar ondas estáticas es evitar las superficies paralelas, por lo que la parte trasera de la caja no debería ser paralela a la frontal, pero esto no se suele hacer por la dificultad de construir la caja.

### 14.1 Fibras

Las fibras son materiales muy poco coherentes, ya que ofrecen resistencia al paso del aire, pero lo dejan pasar. Se puede usar fibra de poliéster, lana o algodón. Aunque las fibras no sean buenas para atenuar graves, las hace extremadamente útiles para atenuar medios y agudos.

### 14.2 Corcho

El corcho es un material muy bueno para frecuencias bajas, dependiendo de su grosor.

Tiene una cierta elasticidad, y el sonido tiende a rebotar en él, pero es difícil atravesarlo, por lo que es muy adecuado para recubrir las paredes. Uno de los objetivos de una caja, es evitar que el sonido creado en su interior salga a través de las paredes.

### 14.3 Corcho-Moqueta

La unión de estos materiales puede crear un efecto semejante al efecto invernadero.

Cuando una onda rebota, parte se refleja y parte se pierde o se refracta. Las ondas que atraviesan el corcho pierden potencia y lo que queda de esas ondas, pierde más potencia al atravesar la moqueta. Se debe procurar que haya más corcho en el lado de las paredes y menos en el interior de la caja. Sin embargo, para altos SPL esto puede no ser suficiente.

## 15. ESPECIFICACIONES DE POTENCIA EN LOS GABINETES ACÚSTICOS

Existen tres formas de especificarlas:

1 Potencia media máxima: está relacionada con que gran parte de la potencia que recibe el altavoz se disipa en forma de calor en la bobina aumentando su temperatura, y es el máximo valor que asegura que no se quemará por exceso de temperatura.

2 Potencia de programa máximo: este valor muy pocas veces se especifica y representa una especie de máximo que soporta dependiendo del estilo musical teniendo en cuenta dos aspectos. Primero que dicho máximo sea de duración corta, y segundo que la mayor parte del tiempo los valores de potencia son considerablemente menores a dicho máximo.

3 Potencia de pico máximo: es el máximo valor instantáneo de potencia que puede aplicarse durante un corto periodo de tiempo a su vez está relacionado con las limitaciones del altavoz que es el máximo recorrido que puede moverse sin que se destruya lo que comúnmente se dice que se descono el altavoz.

Estos valores son de vital importancia para el diseño de una buena caja acústica ya sea para no dañar el altavoz y sacarle el mejor rendimiento [1].

### 15.1 Impedancia nominal

Debemos tener en cuenta que un altavoz sin montarlo en una caja acústica posee una cierta frecuencia de resonancia para la cual la impedancia es máxima.

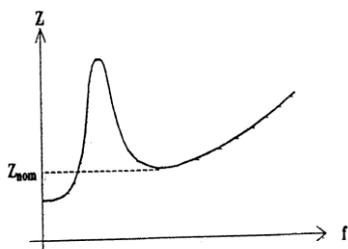


Figura 14: Curva de la impedancia de un altavoz sin montar.

La curva anterior se modifica cuando el altavoz se monta en la caja acústica, debido a la influencia de dicha caja, y al hecho que algunas veces se ponen

otros altavoces en una misma caja con lo cual la curva de impedancia de todos se combina para dar una curva compuesta que puede incluir varias resonancias [1].

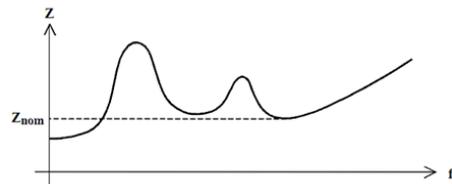


Figura 15: Curva de impedancia de una caja acústica

### 15.2 Sensibilidad

Está relacionada con el nivel de presión sonora que se puede obtener de la caja acústica con una potencia dada. Se define como el nivel de presión sonora a 1m de distancia (sobre el eje) cuando se aplica una potencia eléctrica de 1w [1].

### 15.3 Respuesta en frecuencia

Debemos distinguir la respuesta en frecuencia de los altavoces individuales de la respuesta en frecuencia de la caja acústica, ya sea que conste de uno o varios altavoces. La respuesta en frecuencia es una grafica que indica como varía la sensibilidad del bafle en frecuencia [1].

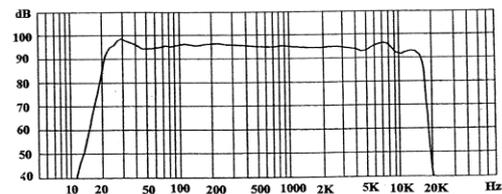


Figura 16: Respuesta en frecuencia de la caja acústica

### 15.4 Direccionalidad

La sensibilidad de un bafle también fluctúa con la dirección, debido a fenómenos de interferencia o cancelación entre las ondas que proviene de distintos puntos del diafragma y la propia interferencia de la caja o gabinete especialmente en alta frecuencias.

Existen un diagrama horizontal y otro vertical ya que los bafles o cajas no son simétricos [1].

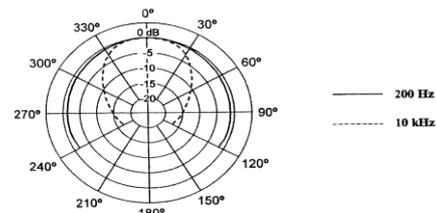


Figura 17: Diagrama direccional de un bafle en el plano horizontal.

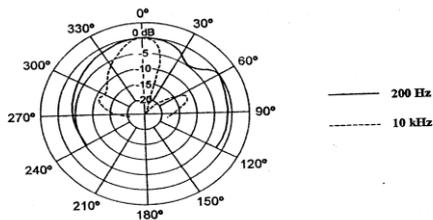


Figura 18: Diagrama direccional de un baffle en el plano vertical.

## 16. CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrollaron los principios de funcionamientos, cálculos teóricos, ventajas y desventajas de las distintas cajas acústicas. La finalidad de este trabajo es lograr que el lector se interiorice con el tema, conozca el funcionamiento de cada caja y los distintos materiales para la construcción de las mismas.

Pero de querer implementar se deberá profundizar el conocimiento, ya que para el diseño correcto de una caja acústica se debe tener en cuenta otros parámetros como el altavoz y su aplicación que no se han tenido en cuenta en este trabajo.

## 17. REFERENCIAS

[1] Miyara, Federico, “*Acústica y Sistemas de Sonido*” Libro . Editorial UNR Editora, julio 1999, Rosario republica Argentina.

[2] Pueo Ortega, Basilio y Romá Romero, Miguel. “*Electroacústica Altavoces y micrófono*”. Prentice Hall. Madrid 2003.

## 18. DATOS BIOGRAFICOS

**Germán E. Vargas**, Nacido en Córdoba. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina. Sus intereses son: Electrónica Aplicada, Sistemas de Comunicación, Técnicas digitales.

E-mail: gernesto.v@gmail.com.

**Gerardo, Pellis**, Nacido en Monte Maíz – Córdoba. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina. Sus intereses son: Sistemas de control, Sistema Biomédicos, Medidas electrónicas.

E-mail: Gerardo\_pellis@hotmail.com.

**Emanuel, Zambroni**, Nacido en Vicuña Mackenna - Córdoba. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina. Sus intereses son: Electrónica de Potencia, Sistemas de Comunicación, Técnicas digitales, Sistemas de control.

E-mail: zambroni.emmanuel@gmail.com.