



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DISEÑO PROTOTIPO DE UN GABINETE ACÚSTICO Y AMPLIFICADOR
MULTIPROPÓSITO PARA BAJO Y GUITARRA ELÉCTRICA, MEDIANTE EL
USO DE UN FILTRO PASA-ALTOS.**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos
para optar por el título de

INGENIERO DE SONIDO Y ACÚSTICA

PROFESOR GUÍA

ING. FELIPE JAVIER MARDONES

AUTOR

DIEGO XAVIER OLALLA ARGÜELLO

AÑO

2012

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Felipe Mardones

Ing. en Acústica

172068234-1

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Diego Xavier Olalla Argüello
172328600-9

RESUMEN

El uso de parlantes para bajo y guitarra eléctricos es indispensable en la industria de la música y se han convertido en parte esencial, tanto por su desarrollo a través del tiempo como por la versatilidad que presentan sus variados diseños, es de ahí que surge la idea de poder elaborar un parlante donde se puedan conectar cualquiera de los dos instrumentos sin sufrir daños en el parlante y sin que se afecte su timbre propio.

Al momento de pensar en un amplificador para bajo y guitarra eléctricos nos surgen varias dudas, como su impedancia de entrada, respuesta de frecuencia, tamaño, etc. tomando en cuenta estas interrogantes se plantea el diseño de un parlante para ambos instrumentos, sin que se descuide su timbre y potenciando sus características, por medio de un método inductivo. Por medio de mediciones de parlantes en salas adecuadas, así como la elaboración del gabinete acústico, la elección de un amplificador adecuado, y en especial la fabricación de un filtro pasa-alto que nos permita obtener el resultado esperado.

Se puede obtener un parlante para bajo y guitarra eléctricos por medio de un filtro pasa-alto, lo que se debe tomar en cuenta es que dicho filtro requerirá de un conocimiento avanzado de electrónica y que el resultado podrá variar según la frecuencia de corte que se le asigne al filtro. Cabe aclarar que la aplicación del filtro será al momento de conectar la guitarra eléctrica.

ABSTRACT

The use of speakers for electric guitar and bass is indispensable in the music industry and have become essential, both for its development over time as the versatility to present their varied designs, there is the idea that able to develop a speaker where you can connect any two instruments without damage to the speaker and without affecting its timbre.

When thinking of an amplifier for electric guitar and bass us several questions arise, as its input impedance, frequency response, size, etc. considering these questions is considered the design of a speaker to both, without neglecting its timbre and enhancing its features through an inductive method. By measurements of loudspeakers in suitable rooms, and the development of acoustic enclosure, the choice of a suitable amplifier, and especially the manufacture of a high-pass filter that allows us to obtain the desired result.

You can get a speaker for electric guitar and bass through a high pass filter, which should be taken into account is that the filter will require an advanced knowledge of electronics and the result may vary depending on the cutoff frequency is assigned to the filter. It should be noted that implementation of the filter will be the time to connect the electric guitar.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 OBJETIVOS	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 HIPÓTESIS.....	3
2. CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO	4
2.1 DEFINICIONES IMPORTANTES	4
2.1.1 Rango de Frecuencia	4
2.1.2 Ruido Rosa.....	4
2.1.3 Micrófonos de Medición	7
2.1.4 Amplificador de Bajo y Guitarra.....	9
2.1.5 Tipos de Amplificadores	10
2.1.6 Tipos de Etapas de Potencia.....	12
2.1.7 Diferencias entre Amplificadores en Combo o Separados	17
2.2 TEORÍA DE CAJAS ACÚSTICAS CON REFLECTOR DE BAJOS O BASS REFLEX	19
2.2.1 Caja Bass-Reflex.....	19
2.2.2 Parámetros Thiele-Small.....	20
2.2.3 Frecuencia de Resonancia (F_s)	24
2.2.4 Frecuencia Límite de Corte (F_3)	24
2.2.5 Frecuencia de Sintonía (F_b).....	25
2.2.6 Diámetro de la “puerta” según el parlante	25
2.2.7 Cambiando el diseño a una caja más pequeña.....	26
2.2.8 Respuesta Peak para Caja Pequeña	27
2.2.9 Cálculo de las dimensiones de la “puerta”	27
2.3 FILTROS DE FRECUENCIA.....	28
2.3.1 Tipos De Filtros	30
2.3.2 Parámetro Q de un Filtro	32

2.3.3 Orden del filtro.....	36
2.3.4 Filtros Activos.....	38
2.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRÓNICA.....	43
2.4.1 Amplificadores.....	43
2.4.3 Características de un Altavoz.....	46
2.4.4 Procesadores de Frecuencia.....	47
2.4.5 Etapas de potencia.....	51
2.4.6 Características.....	53
2.4.7 Conexiones.....	57
3. CAPÍTULO III - DESARROLLO PRÁCTICO.....	59
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	59
3.2 PROCESO DE CREACIÓN DEL GABINETE.....	67
3.3 PROCESO DE CREACIÓN DEL FILTRO PASA-ALTOS.....	70
3.3.1 Etapas para el diseño de un filtro.....	70
3.3.2 Filtro Pasa–Altos (HPF).....	71
3.3.3 Filtro de 60 dB/década.....	72
3.3.4 Comprobación del Filtro Pasa–Altos.....	73
4. CAPÍTULO IV – DISEÑO.....	75
4.1 DIAGRAMA DEL DISEÑO PROTOTIPO DEL GABINETE ACÚSTICO.....	75
4.2 DIAGRAMA DEL DISEÑO PROTOTIPO DEL FILTRO PASA-ALTOS.....	77
4.2.1 Cálculos.....	77
4.3 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL AMPLIFICADOR.....	78
4.4 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL SISTEMA.....	79
5. CAPÍTULO V – COSTOS.....	80
5.1 COSTO DEL AMPLIFICADOR CON GABINETE PROTOTIPO.....	80
5.2 PROFORMAS DE PRECIOS.....	80
5.2.1 Proformas Empresas Pro-Dj, Electrónica Omega y Casa Musical IDM.....	80

5.2.2 Proformas Empresas Casa Musical Amador Jiménez, Electrónica Omega y Casa Musical IDM	81
6. CAPÍTULO VI – DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
6.1 RESPUESTA DEL AMPLIFICADOR.....	82
6.2 POSIBILIDADES REALES DE FABRICACIÓN.....	82
7. CAPÍTULO VII – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
7.1 CONCLUSIONES	83
7.2 RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	90

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

En la siguiente tesis, se va a mostrar el desarrollo de un diseño prototipo de un gabinete acústico y amplificador con la intención de poder utilizarlo indistintamente con una guitarra como con un bajo eléctrico, donde en la sección de entrada se va a tener una alta impedancia, complementado con un filtro pasa-altos para asegurarnos que el rango de frecuencias reproducido de cada instrumento sea correcto.

Como primera instancia, hubo que establecer el rango de frecuencia referencial que cada instrumento reproduce, para según esos datos, establecer el punto de corte en donde se va a poner en acción el filtro, otro punto clave, es la pendiente que se puede lograr pues es necesario que sea lo mayor posible para así asegurar que la respuesta de la guitarra como el bajo eléctrico sea óptima.

Para establecer los rangos de frecuencia fue necesario realizar una medición con instrumentos y amplificadores de guitarra y bajo, debido a que no existen muchos datos al respecto. El punto del filtraje se realizó por medios analógicos, ya que se logró una atenuación considerable considerando un costo de construcción bajo por lo que fue una opción muy viable.

El diseño del gabinete acústico responde para cada instrumento, se basa su construcción en parámetros Thiele-Small, mientras que la compra del altavoz y el amplificador, dependió del presupuesto, acomodando el costo beneficio de los mismos.

1.2 ANTECEDENTES

Es un problema recurrente en el uso de amplificadores, que por diversas razones como impedancias y rangos de frecuencia, se utilicen diferentes

amplificadores para guitarra y bajo eléctrico respectivamente. Por lo que existe amplia información de diversas marcas y diferentes costos en lo que se refiere a esta industria que con el paso de los años sigue y seguirá creciendo.

En aplicaciones prácticas, como por ejemplo, ensayos, suele ocurrir que por motivos económicos se puede acceder solamente a un amplificador y es cuando empiezan los problemas puesto que si se conecta un bajo a un amplificador de guitarra se tiene gran posibilidad de que termine quemándose, mientras que en el caso contrario, si se conecta una guitarra a un amplificador de bajo se va a añadir ruido y se va a perder bastante del timbre propio del instrumento.

En otros casos, como cuando se es interprete de ambos instrumentos, guitarra y bajo eléctrico, se necesitan en teoría dos amplificadores uno para cada instrumento, por lo que sería una gran ayuda poder conectar cualquier instrumento a un solo amplificador sin que se vea afectado el desempeño de ningún instrumento, además de ser más económico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un modelo prototipo de un gabinete o caja acústica con amplificador multipropósito, para conectar indistintamente un bajo o una guitarra eléctrica, reduciendo su respuesta en bajos electrónicamente mediante el uso de un filtro pasa-altos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar el diseño del gabinete o caja, con la teoría de cajas acústicas establecidas por Thiele – Small, teniendo en cuenta la practicidad del

mismo y los recursos disponibles, de acuerdo a las características del parlante escogido.

- Diseñar un circuito de entrada de alta impedancia para que funcione de manera correcta con cada instrumento.
- Elaborar el diseño de un filtro pasa-altos, que pueda cortar eficientemente y con pendientes reales a partir de una frecuencia de corte seleccionable y comprobar su utilidad al conectar un bajo y una guitarra eléctrica
- Aplicar los conocimientos aprendidos acerca de la elaboración de cajas y las diversas aplicaciones de la electrónica.

1.4 HIPÓTESIS

Un gabinete acústico con su respectivo amplificador puede funcionar indistintamente tanto para guitarra como bajo eléctrico al pasar por una etapa de entrada de alta impedancia, tomando como base un altavoz para bajo eléctrico y modificando su señal a través de un filtro pasa-altos para el caso de la guitarra eléctrica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIONES IMPORTANTES

2.1.1 Rango de Frecuencia

Cada uno de los elementos de la cadena de audio tiene una "respuesta de frecuencia". Es correcto decir "respuesta" ya que esta se obtiene a partir de un "estímulo" y de la observación de ese componente, hallando así como "responde". Seguramente, habrá que medir de alguna manera para saber la magnitud de ese estímulo y de su respuesta.

Se trata de un dispositivo a ensayar para determinar su respuesta en frecuencia. Veamos a este dispositivo como un bloque que tiene una entrada y una salida. Este dispositivo puede ser "activo" (necesita fuente de alimentación para procesar la señal de entrada) o bien es "pasivo" y no necesita de fuente de alimentación externa.

A la entrada conectaremos una fuente de señal cuya amplitud (nivel) es fija pero la frecuencia que genera es variable. A la salida del dispositivo conectamos un medidor de nivel para determinar cuál es la respuesta (nivel en dB) a esa frecuencia y con ese nivel de entrada. Así será posible obtener una serie de valores, que por ejemplo volcamos en una tabla de valores. Claro, la tabla puede resultar algo no muy práctico y siempre será mejor ver en un gráfico.¹ “Se especifica como una curva que representa la relación en dB entre la entrada y la salida de un dispositivo para diversas frecuencias.”²

2.1.2 Ruido Rosa

Se define como el ruido cuyo nivel desciende 3 dB por octava, se usa para analizar el comportamiento de sistemas de sonido o salas de escucha, es un

¹ Texto tomado de la página web

<http://www.nocturnar.com/forum/musicos/423276-que-respuesta-frecuencia.html>, 19-06-2011

² Texto tomado de Miyara Federico, “Acústica y Sistemas de Sonido”, Cuarta Edición, Año 2004, Pág. 69

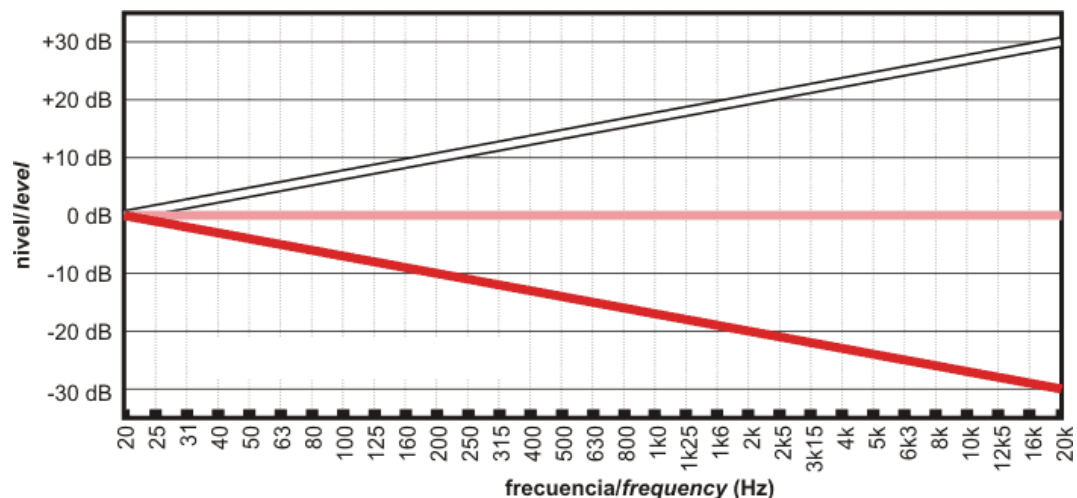
sonido parecido al que se oye cuando en un receptor de radio no sintonizamos ninguna emisora.³

A menudo existen algunas dudas respecto al espectro del ruido rosa debido a que depende del tipo de análisis que se utilice.

El ruido rosa muestra un espectro plano si se mide en un analizador de ancho de banda porcentual constante (como puede ser un analizador RTA de tercio de octava). En un analizador de FFT, sin embargo, el ruido rosa tiene una pendiente de -3 dB/octava, esto es porque la FFT descompone en bandas de frecuencia que tienen igual número de Hercios, por lo tanto, desde un punto de vista psicoacústico las bandas son más anchas en bajos y más estrechas en agudos. Desde un punto de vista psicoacústico, el analizador más relevante es el que nos muestra el espectro del ruido rosa como una línea plana (sin pendiente), ya que esto está más correlacionado con el mecanismo humano de audición, que se asimila a un banco de filtros de 1/3 de octava.

La Figura 2.1 muestra el espectro teórico de los tres tipos de ruido, rojo, blanco y rosa (identificados por su color) en un analizador de ancho de banda porcentual constante (*constant percentage bandwidth*), es decir, como un RTA convencional.

Figura 2.1 Ruidos blanco, rosa y rojo teóricos vistos en un analizador tipo RTA

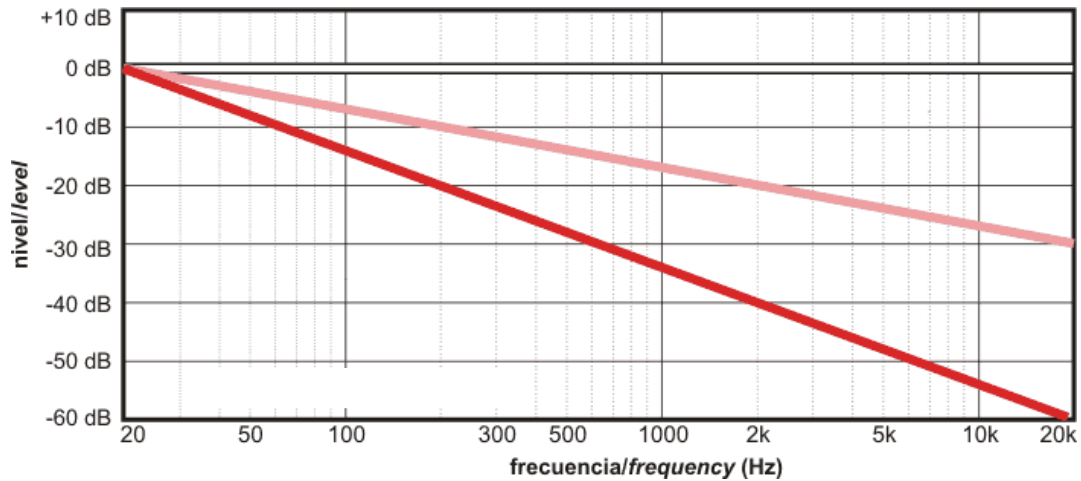


Fuente: <http://www.doctorproaudio.com/content.php?153-ruido-rosa-blanco-y-rojo>.

³ Texto tomado de la página web <http://www.definicion.org/ruido-rosa>, 22-06-2011

La Figura 2.2 es el espectro teórico de los mismos tres ruidos, pero analizados con un analizador FFT.

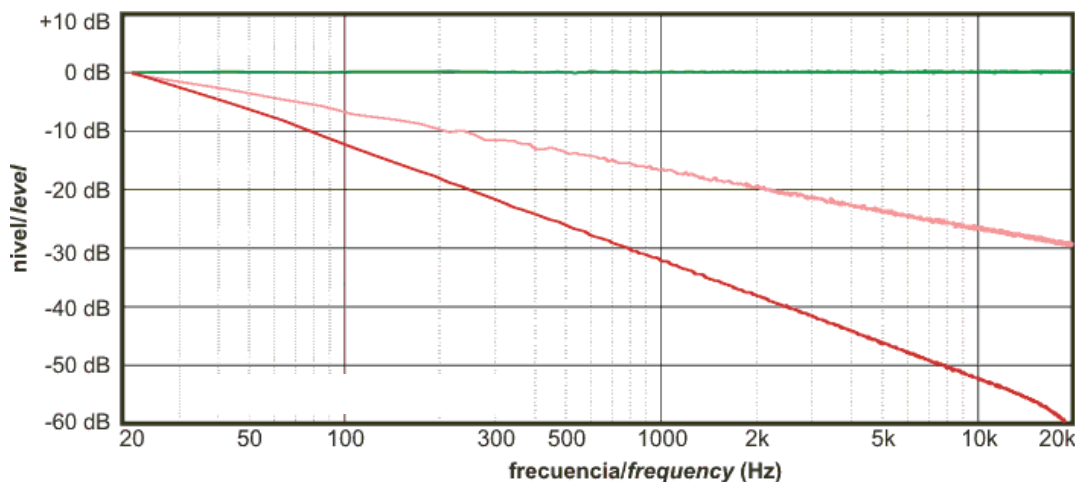
Figura 2.2 Ruidos blanco, rosa y rojo teóricos vistos en un analizador tipo FFT



Fuente: <http://www.doctorproaudio.com/content.php?153-ruido-rosa-blanco-y-rojo>.

La Figura 2.3 muestra el resultado de procesar una señal de ruido real con un analizador de FFT (aquí el ruido blanco es la curva verde).⁴

Figura 2.3 Ruidos blanco, rosa y rojo vistos en un análisis real de FFT



Fuente: <http://www.doctorproaudio.com/content.php?153-ruido-rosa-blanco-y-rojo>.

⁴ Texto tomado de la página web

<http://www.doctorproaudio.com/content.php?153-ruido-rosa-blanco-y-rojo>, 16-04-2011.

Tomando en cuenta las propiedades del ruido rosa antes mencionadas, se muestra como una opción totalmente viable y muy utilizada para la medición de respuesta de frecuencia en amplificadores, como es de entenderse, se utiliza un analizador RTA, sala y sonómetro adecuados.

2.1.3 Micrófonos de Medición

El micrófono de medición es un micrófono calibrado diseñado para su uso con sistemas que cuantifican el sonido, por ejemplo sonómetros, analizadores de espectro, etc. Los micrófonos de medición son los más precisos y deben tener unas características excepcionalmente estables.

La mayoría de los micrófonos de medición son de condensador. Esto significa que el diafragma y la placa posterior forman las placas paralelas de un condensador simple, polarizado por una carga en la placa posterior. Cuando el diafragma vibra en un campo sonoro, la capacidad del condensador varía y se genera una tensión de salida. La señal de tensión replica las variaciones de presión del campo sonoro, siempre que la carga de la placa posterior del micrófono se mantenga fija. Los micrófonos polarizados externamente necesitan un voltaje de CC a través del diafragma hacia la placa posterior para fijar la carga, por tanto es necesaria una fuente de alimentación. Los micrófonos pre polarizados, por el contrario, no requieren de tensión de polarización externa. Este tipo de micrófono es preferido en aplicaciones tales como sonómetros, donde el suministro de tensión de polarización sería un inconveniente. Para las mediciones que requieren varios micrófonos, los polarizados externamente son la solución más económica.

Los micrófonos de medición se utilizan siempre en combinación con un preamplificador. El preamplificador convierte la impedancia de salida del micrófono de alta a baja, adecuada para la alimentación en la entrada del equipo accesorio. Esta conversión de impedancia sirve para minimizar la captura de ruido en el cable de señal al equipo accesorio.

Los preamplificadores de micrófono se deben seleccionar con mucho cuidado para que sus características propias no alteren las del micrófono.

Todos los micrófonos de medición son omnidireccionales, es decir, que son sensibles al sonido que llega desde todas las direcciones. El patrón omnidireccional es una característica importante del diseño de los micrófonos, porque cada sonido que llega en la posición del micrófono es relevante. Los micrófonos de medición más pequeños (1/8" y 1/4") tienen las mejores características omnidireccionales en las frecuencias de audio. Ellos responden por igual a todas las frecuencias que llegan desde todas las direcciones porque su presencia física en el campo de sonido no es una gran influencia en las ondas de sonido de entrada.

Una característica importante que ocupa un lugar destacado en las especificaciones de todos los micrófonos de medición es la sensibilidad de circuito abierto. La sensibilidad de circuito abierto de un micrófono de medición habla de la tensión de salida que se espera en el terminal de salida para cada unidad de presión de sonido en el diafragma (cuando el micrófono no está conectado a un preamplificador). La curva de respuesta del micrófono muestra cómo varía la sensibilidad de circuito abierto con la frecuencia y representa la respuesta de presión del micrófono.

La diferencia entre el máximo y mínimo mensurable de niveles de presión sonora en un sistema de medición se denomina rango dinámico. El límite inferior del rango dinámico de una combinación micrófono-preamplificador es fijado por el ruido eléctrico del preamplificador y el ruido térmico. El ruido eléctrico del preamplificador depende en gran medida de la capacidad del micrófono (cuanto mayor es la capacitancia menor nivel de ruido que se genera en el preamplificador). El límite superior del rango dinámico es fijado por la distorsión límite del sistema de medición. En la combinación micrófono-preamplificador, los resultados de la distorsión provienen del comportamiento no lineal del diafragma y/o del "recorte" del amplificador. Estos efectos sólo se producen cuando el micrófono está expuesto a niveles muy altos de presión acústica.⁵

⁵ Texto tomado de la página web
<http://adrianosabez.blogspot.com/2011/02/microfonos-de-medicion-acustica.html>, 26-08-2011.

Figura 2.4 Ejemplo de Micrófono de Medición:
BEHRINGER ECM – 8000

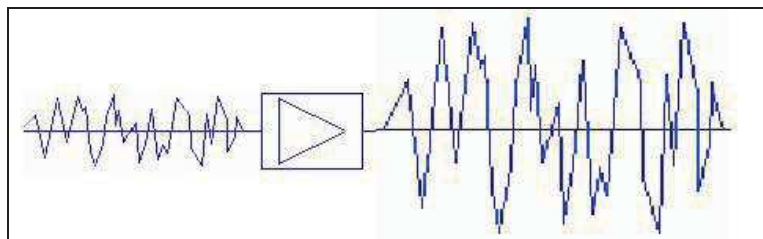


Fuente: http://www.amexcosa.com/online.php?cod=proaudio&sip=microfono&_pagi_pg=6

2.1.4 Amplificador de Bajo y Guitarra

La etapa de amplificación es la encargada de suministrar la potencia a los altavoces al ritmo de la señal de entrada. Los altavoces son los que transforman la potencia eléctrica en potencia acústica. En la Figura 2.5 se representa como la etapa aumenta la tensión de la señal sin perturbar la forma de onda, suministrando además gran cantidad de corriente.⁶

Figura 2.5 Señal a la entrada (izda.) y a la salida (dcha.) de una etapa de potencia en relación a su amplitud en voltios.



Fuente: <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>

Elaborado por: El Autor

⁶ Texto tomado de la pagina web <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>, 30-08-2011

2.1.5 Tipos de Amplificadores

Básicamente, se puede hacer la división atendiendo a los elementos que se van a usar, por lo que podemos hablar de dos tipos de amplificadores:

a) Amplificadores realizados con válvulas.

Las válvulas fueron los dispositivos electrónicos activos por excelencia desde principios de siglo hasta bien entrados los años sesenta.

Entonces se vieron desbancadas por los diminutos transistores y diodos de estado sólido, capaces de desempeñar las mismas funciones en espacios mucho más reducidos, con un menor peso y con temperaturas de funcionamiento muy inferiores a las de las válvulas. Parecía ser un gran alivio para los músicos, ya que se conseguía más potencia y menos peso. A principios de los setenta se empezó a apostar por la amplificación a transistores y se empezaron a fabricar amplificadores de este tipo.

Pero el transistor se encontró desde un principio con un grave problema, su linealidad y su mejor rendimiento teórico daban como resultado en circuitos de audio sonidos muy fríos y con poco carácter, cosa que no sucedía con las válvulas. Esta es una de las causas por la que la válvula se ha mantenido desde entonces en amplificadores para instrumentos musicales y aplicaciones de audio profesional para estudios de grabación y alta fidelidad. Su comportamiento no lineal y teóricamente imperfecto queda de sobra compensado con resultados de sonido mucho más musicales y atractivos en cuanto a la tonalidad. Un simple circuito con una sola válvula puede dar un gran carácter y color al sonido, por eso se dice que ni un complejo circuito digital es capaz de emular al 100% el comportamiento de una válvula.

Las características de las válvulas son las siguientes:

- Las válvulas tienen una ganancia relativamente baja.
- Alta impedancia de entrada.
- Baja capacidad de entrada.
- La capacidad de aguantar abusos momentáneos.

- Se saturan suavemente y se recuperan de la sobrecarga rápida y suavemente.
- Son más susceptibles a las vibraciones, que los dispositivos de transistores, incluso sufren de ruido cuando se usan con filamentos en corriente alterna.

b) Amplificadores realizados con transistores.

A los circuitos que no usan válvulas se les llama a transistores o de estado sólido, porque no usan dispositivos que contienen gas o líquido. Una de las causas por las que se usan transistores es porque las válvulas son prohibitivamente caras para amplificadores de muy alta potencia, ya que la mayoría de los amplificadores a válvulas dan menos de cincuenta watts por canal.

Cuando salieron los primeros amplificadores de transistores, eran peores que los mejores amplificadores de válvulas de aquellos días. Debido a las bajas capacidades internas, los amplificadores a válvulas tienen unas características de entrada muy lineales, esto hace a los amplificadores a válvulas fáciles de alimentar y tolerantes a fuentes de altas impedancias de salida, tales como otros circuitos a válvulas y controles de volumen de alta impedancia; pero los amplificadores de transistores podrían tener un alto acoplamiento entre la entrada y la salida y podrían tener una impedancia de entrada menor. Sin embargo, algunas técnicas de circuitos reducen estos efectos, incluso, algunos amplificadores de transistores evitan totalmente estos problemas usando buenos JFET como circuitos de entrada.

Por último, los amplificadores a válvulas raramente tienen respuesta en frecuencia tan plana como los más planos amplificadores de transistores, debido al transformador de salida. Sin embargo, la respuesta en frecuencia de buenos amplificadores a válvulas es extremadamente buena.

En general, las características de la mayoría de los transistores son las siguientes:

- Son estables.
- Tienen una duración casi indefinida

- Tienen alta ganancia.
- Requieren alguna corriente de entrada.
- Tienen baja resistencia de entrada.
- Tienen capacidad para mayores entradas.
- Se saturan rápidamente.
- Son lentos de recuperarse de la sobrecarga, de la saturación.
- Son también susceptibles de descontrolarse con la temperatura cuando se usan incorrectamente.

2.1.6 Tipos de Etapas de Potencia

Existen diferentes tipos de etapas de potencia que se pueden encontrar o que ya no se usan tanto en amplificadores de audio, que bien se pueden diseñar o en los que se pueden encontrar en el mercado.

En la actualidad, existen muchos tipos y se suele hablar de clase A, de clase B, de clase C y un largo etcétera de clases.

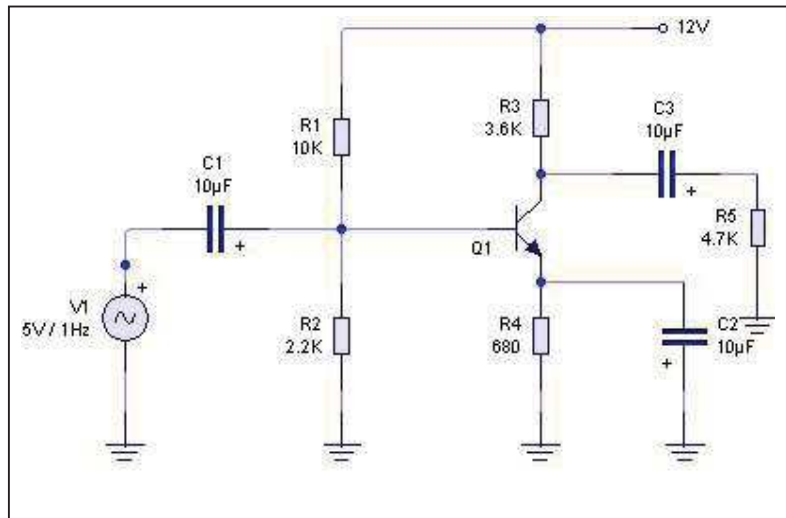
Estas se refieren a las características de funcionamiento de las etapas de salida de los amplificadores.

a) Clase A

Los amplificadores de clase A son los que mejor suenan, mas cuestan y los menos prácticos. Despilfarran corriente y devuelven señales muy limpias.

La gran desventaja de la clase A es que es poco eficiente, es decir que requiere un amplificador de clase A muy grande para dar 50 watios, y ese amplificador usa mucha corriente y se pone a muy alta temperatura. Algunos amplificadores de high-end son clase A, pero la verdadera clase A solo está en quizás un 10% del pequeño mercado de high-end y en ninguno del mercado de gama media.

Figura 2.6 Amplificador clase A (single-ended)



Fuente: [http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores de audio.pdf](http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores%20de%20audio.pdf)

Los amplificadores de clase A, a menudo consisten en un transistor de salida conectado al positivo de la fuente de alimentación y un transistor de corriente constante conectado de la salida al negativo de la fuente de alimentación. La señal del transistor de salida modula tanto el voltaje como la corriente de salida. Cuando no hay señal de entrada, la corriente de polarización constante fluye directamente del positivo de la fuente de alimentación al negativo, resultando que no hay corriente de salida, se gasta mucha corriente. Algunos amplificadores de clase A más sofisticados tienen dos transistores de salida en configuración push-pull. Se puede decir, que la clase A se refiere a una etapa de salida con una corriente de polarización mayor que la máxima corriente de salida que dan, de tal forma que los transistores de salida siempre están consumiendo corriente. La gran ventaja de la clase A es que es casi lineal, y en consecuencia la distorsión es menor.

b) Clase B

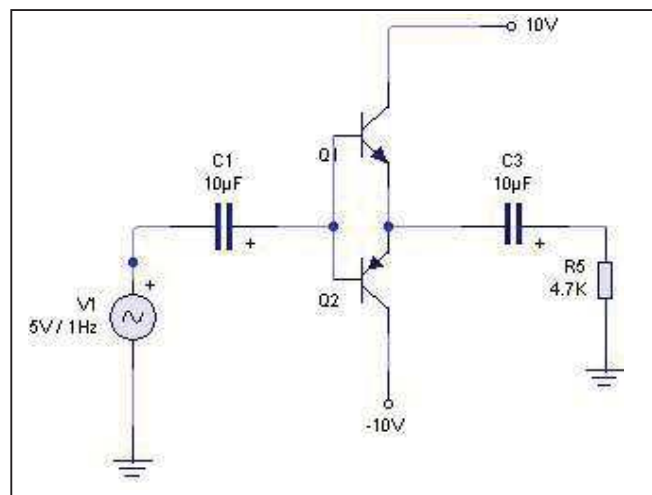
Los amplificadores clase B consisten en un transistor de salida conectado de la salida al positivo de la fuente de alimentación y a otro transistor de salida conectado de la salida al terminal negativo de la fuente de alimentación. La

señal fuerza a un transistor a conducir mientras que al otro lo corta, así en clase B, no se gasta energía del terminal positivo al terminal negativo.

Los de clase B tienen etapas de salida con corriente de polarización cero. La mayoría de las veces, un amplificador de audio clase B tiene corriente de polarización cero en una pequeña parte del circuito de potencia, para evitar no linealidades. Tienen una importante ventaja sobre los de clase A en eficiencia debido a que casi no usan electricidad con señales pequeñas. Los amplificadores de clase B tienen una gran desventaja, una distorsión audible con señales pequeñas. Esta distorsión puede ser tan mala que lleva a notarse con señales más grandes. Esta distorsión se llama distorsión de filtro, porque sucede en un punto que la etapa de salida se cruza entre la fuente y la corriente de amortiguación.

No hay casi amplificadores de clase B hoy en día a la venta, ya que no se utilizan casi para audio por sus características

Figura 2.7 Amplificador clase B (push-pull)



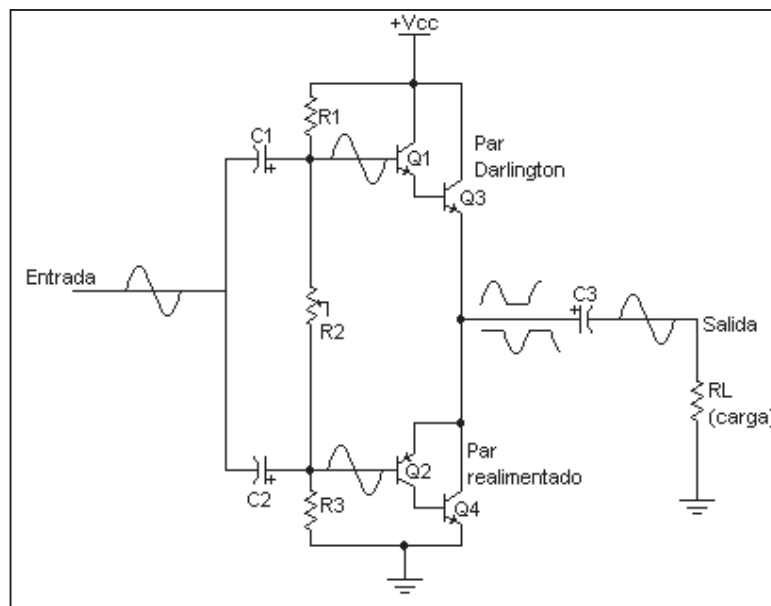
Fuente: [http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkaskelanak/ Amplificadores de audio.pdf](http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkaskelanak/Amplificadores%20de%20audio.pdf)

c) Clase AB

Por ahora, la clase AB es la que domina el mercado y rivaliza con los mejores amplificadores de clase A en calidad de sonido. Este tipo, usa menos corriente que los de clase A y pueden ser más baratos, pequeños y ligeros.

Los amplificadores de clase AB son casi iguales a los de clase B, ya que al igual que estos tienen dos transistores de salida. Sin embargo, los amplificadores de clase AB difieren de los de clase B en que tienen una pequeña corriente libre fluyendo del terminal positivo al negativo incluso si no hay señal de entrada. Esta corriente libre incrementa ligeramente el consumo de corriente, pero no se incrementa tanto como para parecerse a los de clase A. Esta corriente de libre incluso corrige casi todas las no linealidades asociadas con la distorsión del filtro. Estos amplificadores se llaman de clase AB en vez de A porque con señales grandes, se comportan como los de clase B, pero con señales pequeñas, se comportan como los de clase A.

Figura 2.8 Amplificador clase AB cuasi-complementario



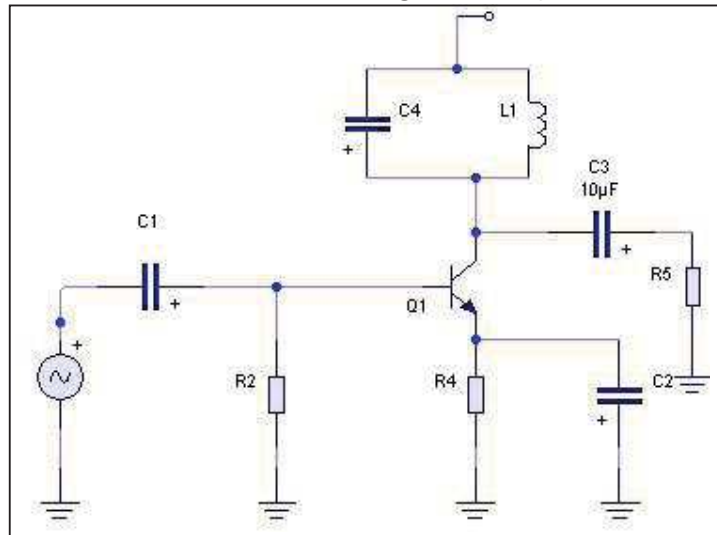
Fuente: [http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores de audio.pdf](http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores%20de%20audio.pdf)

d) Clase C

Los amplificadores de clase C son similares a los de clase B ya que en la etapa de salida tiene corriente de polarización cero. Sin embargo, los amplificadores de clase C tienen una región de corriente libre cero que es más del 50% del suministro total de voltaje.

Los amplificadores de clase C, tampoco son prácticos para audio.

Figura 2.9 Amplificador clase C



Fuente: [http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkasleLanak/Amplificadores de audio.pdf](http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkasleLanak/Amplificadores%20de%20audio.pdf)

e) Clase D

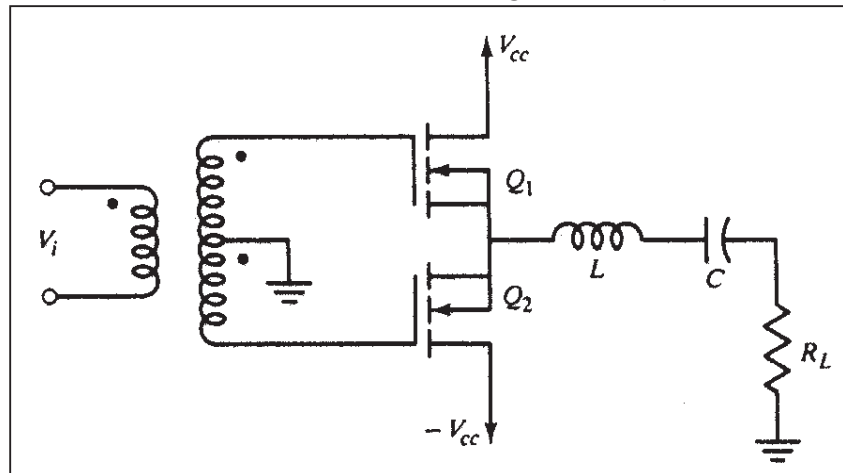
Aunque estos tipos de amplificadores se usan mayormente para aplicaciones especiales como amplificadores de guitarras, de bajos y de amplificadores para subwoofers, en la actualidad se están creando amplificadores de clase D, para todo tipo de aplicaciones. Con esta clase obtenemos amplificadores incluso más pequeños que los de clase AB y más eficientes, aunque están limitados para menos de 10kHz (menos del margen total de audio).

Los amplificadores de clase D usan técnicas de modulación de pulsos para obtener mayor eficiencia. Además, usan transistores que están o bien encendidos o bien apagados, y casi nunca entre-medias y así gastan la menor cantidad de corriente posible. También, son más eficientes que los de clase A, clase AB, o clase B. Algunos tienen una eficiencia del 80% a plena potencia, pudiendo incluso tener baja distorsión, a pesar de no ser tan buena como los de clase AB o A. Los amplificadores clase D son buenos por su eficiencia.

Es esencial que un amplificador clase D vaya seguido por un filtro pasa-bajos para eliminar el ruido de conmutación. Este filtro añade distorsión y desplazamiento de fase, incluso limita las características del amplificador en alta frecuencia, y es raro que tengan buenos agudos, pero por otro lado, va a quitar todo el ruido de conmutación sin causar pérdida de potencia,

desplazamiento de fase, o distorsión. Para hacer un muy buen amplificador para toda la banda de frecuencias, la frecuencia de conmutación tiene que estar sobre los 40kHz. Desafortunadamente, la alta frecuencia de conmutación incluso significa disipar potencia de conmutación, también significa que la posibilidad de radiar ruido es muy alta.⁷

Figura 2.10 Amplificador clase D



Fuente: [http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores de audio.pdf](http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores%20de%20audio.pdf)

2.1.7 Diferencias entre Amplificadores en Combo o Separados

Los "combos" tienen en un solo gabinete los altoparlantes (bocinas) y toda la circuitería y controles. Por el contrario, los amplificadores separados (stacks) tienen un "cabezal" que guarda el amplificador en sí, y tienen altoparlantes separados en un gabinete aparte. Para el 90% de los guitarristas un combo funciona perfectamente. Los stacks suelen usarse para potencias muy altas (para tocar en un estadio, por ejemplo, aunque no es el único uso).

Para el guitarrista principiante o que toca en casa, un combo pequeño con altoparlantes de 8, 10 o 12 pulgadas de diámetro será suficiente.

Los "stacks" son para profesionales. La "gran muralla China" de muchos guitarristas (Jimi Hendrix, Yngwie Malmsteen, Jimmy Page) realmente no

⁷ Texto tomado de la página web

[http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores de audio.pdf](http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores%20de%20audio.pdf), 25-05-2011.

suelen hacer mucha falta. Es recomendable optar por el combo hasta que se deba tocar en espacios muy grandes.

Normalmente los combos tienen altoparlantes adecuados a la potencia del amplificador. A menos que se adquiriera un stack, no es necesario preocuparse demasiado por este tema, porque el fabricante ya se preocupó del control de potencia al máximo del amplificador.⁸

a) Ejemplo de Amplificador en combo

Figura 2.11 Amplificador en combo



Fuente: [http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores de audio.pdf](http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores%20de%20audio.pdf)

MARSHALL

Combo 50 W rms

Altavoz 12'' Celestion

2 Canales Dobles

3 Bandas de Ecuación por Canal

Bucle de Efectos - Control De Mezcla

Entrada Cd y Auriculares

EFX: Reverb, Delay, Chorus, Flanger

Pedal Selector Canales

⁸ Texto tomado de la página web

<http://www.gruposmusicalesparroquiales.org/tecnica/Comprandounamplificador.pdf>, 17-05-2011.

b) Ejemplo de Amplificador Separado

Figura 2.12 Amplificador Separado



Fuente: [http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores de audio.pdf](http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores%20de%20audio.pdf)

MARSHALL

Bafle para Guitarra 120 W @ 8 Ohms

Altavoz 4 X 12'' Celestion⁹

2.2 TEORIA DE CAJAS ACUSTICAS CON REFLECTOR DE BAJOS O BASS REFLEX

2.2.1 Caja Bass-Reflex

Es el tipo de caja más extendido, junto a la caja cerrada. Consiste en una caja sellada parcialmente llena de material absorbente, pero con un tubo (port) con salida al exterior.

Este tubo tiene la función de ser una resistencia entre aire del interior y del exterior, y hacer que, por la elasticidad del aire y la resistencia al pasar a través del conducto, se contenga la salida y entrada de aire y que no se produzca cancelación sino refuerzo de las bajas frecuencias.

⁹ Texto tomado de la página web

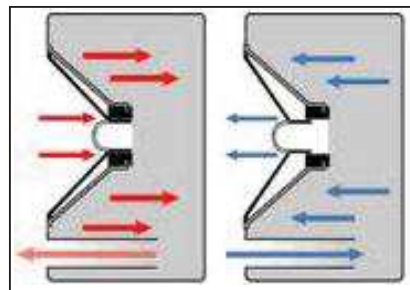
[http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores de audio.pdf](http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkastleLanak/Amplificadores%20de%20audio.pdf), 15-04-2011.

Hay dos fenómenos: una caja abierta (masa) y una resistencia unida a un volumen de aire, que se aproxima a un volumen cerrado (elasticidad) por lo que la frecuencia de resonancia de este sistema, F_b , puede ser mayor o menor que F_s . Tiene como característica principal su buen rendimiento en graves, causado por una frecuencia de corte menor que en las cajas cerradas, pero tiene el problema que la pendiente de atenuación de su respuesta es muy alta: 18-24dB/Oct.

Las ventajas son su buen rendimiento y extensión en graves y su capacidad para manejar grandes valores de NPS sin distorsión.

Los problemas son que 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. Esto puede causar que se sobrepase la excursión máxima del diafragma y que se rompa el woofer. La respuesta temporal no es demasiado buena.¹⁰

Figura 2.13 Reflector de bajos o bass-reflex



Fuente: <http://www.duiops.net/hifi/enciclopedia/bass-reflex.htm>

Elaborado por: El Autor

2.2.2 Parámetros Thiele-Small

Para la construcción del gabinete acústico es necesario recurrir a estos parámetros:

¹⁰ Texto tomado de la página web http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/cajas/cajas.html, 17-06-2011.

Tabla 2. 1 Parámetros Thiele-Small

Nombre	Descripción	Unidades	Definición
B	Flujo magnético	Weber/metro ²	Flujo magnético en el entrehierro.
Bl	Factor de fuerza	Newton/amperio o Weber/metro	Valor de la fuerza producida por la bobina de voz en el entrehierro ante una corriente de 1 ^a .
Fs	Frecuencia de resonancia	Hertzios	Frecuencia a la que vibra el altavoz espontáneamente ante cualquier perturbación.
Le	Inductancia de la bobina de voz	Henrios	Inductancia de la bobina de voz en el entrehierro. Se mide a 1kHz habitualmente, siempre que Fs sea muy diferente de 1kHz.
η_o	Rendimiento de referencia	-	Cantidad de energía sonora radiada en la banda útil de frecuencias. Se calcula teóricamente, no tiene que ver ni con acoplamiento acústico ni con fenómenos de radiación. Es diferente del NPS que se mide experimentalmente.
P	Potencia nominal	Watts	Potencia de un sistema de referencia en el que está integrado el driver. Se determina experimentalmente. También se llama <i>System power</i> .

Pmax	Potencia máxima	Watts	Potencia que se garantiza que el altavoz puede soportar durante un intervalo determinado de tiempo, 10ms es habitual, ante una señal de entrada determinada.
Prms	Potencia RMS	Watts	Potencia RMS que se garantiza que el altavoz puede soportar durante un periodo prolongado de tiempo, con ruido rosa como entrada.
Qes	Sobretensión eléctrica	-	Amortiguación de la resonancia por motivos puramente electromagnéticos.
Qms	Sobretensión mecánica	-	Amortiguación de la resonancia por motivos puramente mecánicos (fricción).
Qts	sobretensión total	-	Amortiguación de la resonancia por ambos motivos.
Re	Resistencia DC	Ohmios	Resistencia DC de la bobina de voz. Es inferior a la impedancia nominal.
Rms	Resistencia mecánica	Kilogramo/segundo	Resistencia mecánica de la suspensión.
Sd	Superficie de la membrana	m ²	Superficie del diafragma. Se calcula tomando como radio la distancia entre el centro

			del driver hasta la mitad de la suspensión.
Vas	Elasticidad acústica	m ³	Volumen de aire con la misma elasticidad que la suspensión del altavoz
Vd	volumen desplazado	m ³	Xmax*Sd. Importante para calcular el NPS máximo.
Xmax	Excursión lineal máxima	m	Desplazamiento lineal máximo del diafragma. Se puede calcular de varias formas, la más correcta es la medida en la que tanto la elasticidad de la suspensión como el campo magnético son constantes dentro de un margen. En todo caso Xmax determina el desplazamiento máximo del diafragma dentro de unas condiciones que dependen del fabricante: Baja distorsión de la respuesta y/o garantía de no sobrepasar las capacidades mecánicas del driver.
Z	Impedancia nominal	Ohmios	Impedancia que debe estar preparado. La impedancia real no debe ser menor del 80% del valor, pero puede sobrepasarse.

Fuente: http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/analisis_altavoces/thiele.htm

Elaborado por: El Autor

Es un hecho que algunos altavoces presentan un mejor desempeño en caja cerrada, mientras que otros funcionan mejor en recinto con puerta. El principal indicador que da cuenta de para cual sistema está mejor adaptado el altavoz es el Efficiency Bandwith Product (EBP) cuya ecuación es:

$$EBP = \frac{f_s}{Q_{ts}} \quad (2.1)$$

Un woofer mejor adaptado para recinto con puerta tendrá un EBP mayor a 50 con mejores resultados si está cercano a 100, mientras que el Q_{ts} debería estar en un rango entre 0.2 a 0.7.

2.2.3 Frecuencia de Resonancia (F_s)

Es la frecuencia de resonancia de un altavoz al aire libre, es decir, sin caja. La frecuencia de resonancia de un altavoz depende inversamente de la masa móvil y de la elasticidad de la suspensión. Cuanta más masa móvil y "rigidez" en la elasticidad, menor frecuencia de resonancia. Esto lo pueden modificar las cajas:

- Una caja cerrada herméticamente supone un aumento en la "rigidez" de la suspensión (el aire actúa como un muelle) y la F_b aumenta.
- Cuando el altavoz tiene una caja abierta, la masa de aire contenida en la caja actúa de lastre, y F_b baja.

2.2.4 Frecuencia Límite de Corte (F_3)

La siguiente ecuación es para evaluar la frecuencia límite de corte, y por lo tanto la respuesta en baja frecuencia.

$$f_3 = \frac{0.26 \times f_s}{(Q_{ts})^{1.4}} \quad (2.2)$$

Para los recintos Bass– Reflex la respuesta bajo la f_3 cae a una tasa de 24 dB por octava a diferencia de los 12 dB por octava en recinto cerrado.

2.2.5 Frecuencia de Sintonía (Fb)

Es la frecuencia de resonancia del sistema altavoz en recinto con reflector de bajos.

$$f_b = \frac{0.42 \times f_s}{(Q_{ts})^{0.9}} \quad (2.3)$$

Este juego de ecuaciones (2.1), (2.2), (2.3) está diseñado para entregar una curva con respuesta plana máxima, no hay necesidad de calcular una respuesta *peak*; sin embargo para completar el diseño, debemos encontrar el diámetro y la longitud de la puerta requeridos para sintonizar este gabinete a su F_b .

2.2.6 Diámetro de la “puerta” según el parlante

La “puerta” del recinto es usualmente hecha de algún material rígido en forma de tubo. Los más fáciles de encontrar están hechos de cloruro de polivinilo o PVC, los que pueden encontrarse en distintos diámetros inferiores, que van desde 0,5” a 5” en forma común.

Una vez seleccionado el material, se selecciona el diámetro de la “puerta”. Si el diámetro elegido es muy pequeño existe el riesgo que el movimiento de aire en la “puerta” se transforme en un viento ruidoso de alta velocidad.

A grandes niveles de presión las “puertas” muy pequeñas no pueden mover adecuadamente esta cantidad de aire, lo que se traduce es una respuesta ruidosa y con pérdidas, desviándose de lo que la teoría predice. Por el lado positivo, diámetros pequeños de puerta requieren tubos más cortos, lo que es una ventaja en el diseño.

Por otra parte, el extremo de la “puerta” no debería estar a menos de 3” de su pared opuesta. Y debido a esto, su diámetro podría estar restringido a mantener la longitud dentro de una razón.

A continuación se muestra la tabla 2.2 que entrega diámetros de puerta dependiendo de los diámetros del altavoz.

Tabla 2. 2 Diámetros Parlante Vs. Diámetros “Puerta”

Diámetro Parlante (inch)	Diámetro “Puerta” (inch)
4” – 5”	1”
4,1” – 6”	2”
6,1” – 8”	3”
8,1” – 10”	4”
10,1” – 12”	5”
12,1” – 15”	6”

Fuente: Apuntes de la Materia “Diseño de Cajas Acústicas”, UDLA, 2010-2011.

Es posible usar más de una “puerta” cuyas aéreas se combinan para formar el área equivalente de una sola “puerta” de mayor tamaño, por ejemplo, dos puertas circulares de d_A y d_B pueden ser usadas como una contraparte de una puerta de diámetro mayor mediante la siguiente ecuación:

$$d_C = \sqrt{d_A^2 + d_B^2} \quad (2.4)$$

Si $d_A = d_B$

$$d_B = \sqrt{2d_A^2}$$

$$d_C = \sqrt{2}d_A$$

$$d_A = \frac{d_C}{\sqrt{2}} \quad (2.5)$$

Hay que tomar en cuenta:

- Debemos trabajar en las mismas unidades.
- Estos cálculos son de diámetro interno (excluye el grosor del material).

2.2.7 Cambiando el diseño a una caja más pequeña

Podría ser más importante para un diseño tener una caja más pequeña, que pueda alcanzar respuestas bajas similares al diseño anterior. Para ello

determinaremos un volumen más pequeño (se considera caja pequeña al volumen pesado menos 30% inferior al de la caja plana).

Para caja pequeña deberemos usar otras ecuaciones.

a) Calculando la nueva F_3 y F_B

En estas nuevas ecuaciones se contempla el cálculo de una nueva frecuencia límite de corte, para hacer una comparación precisa con los resultados obtenidos para caja respuesta plana máxima. Las ecuaciones son:

$$f_3 = \left(\frac{V_{AS}}{V_B}\right)^{0.5} \times f_S \quad (2.6)$$

$$f_B = \left(\frac{V_{AS}}{V_B}\right)^{0.32} \times f_S \quad (2.7)$$

2.2.8 Respuesta Peak para Caja Pequeña

Cuando se cambia el volumen de la caja de una que entrega la respuesta plana máxima, a una de menor volumen (al menos 30% menor), invariablemente habrá una respuesta *peak*. Para encontrar a cuantos decibeles sobre el nivel de referencia estará este *peak* se usa la siguiente ecuación:¹¹

$$P.R. = 20 \times \log \left[2.6 \times (Q_{TS}) \times \left(\frac{V_{AS}}{V_B}\right)^{0.35} \right] \quad (2.8)$$

2.2.9 Cálculo de las dimensiones de la “puerta”

Para el cálculo de las dimensiones de la “puerta”, para el recinto Bass Reflex, se tomó en cuenta una cartilla denominada Nomograma que es un instrumento gráfico de cálculo, que consta de tantos elementos gráficos como variables tenga la ecuación. Estos elementos serán puntos o líneas, rectas o curvas,

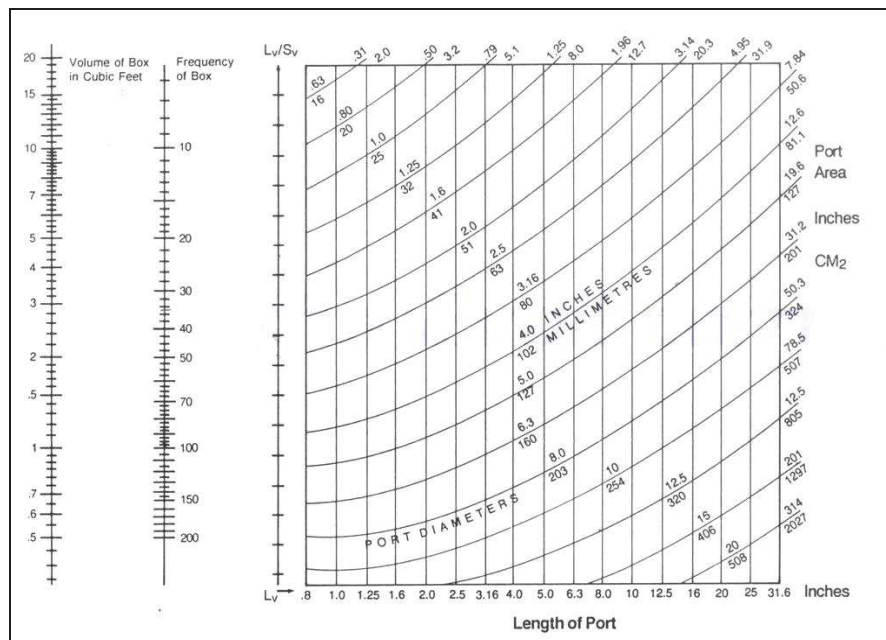
¹¹ Ecuaciones tomadas de Dickason Vance, “The Loud Speaker Design Cookbook”, Audio Amateur Press, Año 2006 y Texto tomado de los apuntes de la Materia “Diseño de Cajas Acústicas”, UDLA, 2010-2011.

según los casos. Dados los valores de todas las variables menos una, el de esta última puede encontrarse por medio de algún recurso geométrico inmediato (que generalmente es el trazado de otra línea que pasa por ese punto).

Por tanto, el nomograma de una ecuación de dos variables ($y = f(x)$) tendrá dos elementos gráficos, normalmente dos rectas graduadas, o escalas, dispuestas de tal modo que la determinación del valor de una de las variables (fijación de un punto de la línea) especifique el valor de la otra, la desconocida o función. El nomograma de una ecuación de tres variables ($z = f(x, y)$) constará normalmente de tres escalas y así sucesivamente. Para nuestro caso tendremos que poner los valores de V_B y F_B para encontrar el diámetro y longitud de la puerta.¹²

Un ejemplo de Nomograma que se utilizará para calcular tanto el diámetro de la “puerta” y la longitud del tubo:

Figura 2.14 Nomograma



Fuente: nipponpower.com.mx/foro/showthread.php?50469-Cajon-sellado-o-ventilado/page2

¹² Texto tomado de la página web <http://www.ecured.cu/index.php/Nomograma>, 25-08-2011.

2.3 FILTROS DE FRECUENCIA

Los filtros no cortan perfectamente una señal en frecuencias mayores o menores que una frecuencia determinada, llamada frecuencia de corte. Lo que hacen es disminuir la potencia de la señal a medida que su frecuencia se va alejando de la frecuencia de corte.

La brusquedad con la que se produce esta atenuación se puede elegir y depende del número de componentes que se usen.

Los filtros se clasifican en primer lugar por su función (eliminar agudos o graves) y en segundo lugar por la brusquedad con la que se atenúan las frecuencias fuera del rango. En las gráficas logarítmicas, esto da una línea recta, que empieza a decaer en la frecuencia de corte con otra línea recta, y la pendiente de esta recta es lo que marca el orden del filtro.

La pendiente se mide en decibelios por octava. En este caso, el espacio entre 200 y 400Hz es una octava y es exactamente igual que el que hay entre 10 y 20kHz.

Los filtros causan errores de fase. Cuantos más componentes tiene un filtro, más desplazamiento de fase causará, pero menor será la interacción entre los altavoces.

El que menos desplazamiento produce es el de primer orden, que tiene un desfase de 45° en la frecuencia de corte y 90° en la banda eliminada.

El que más desplazamiento produce es el de 4º orden, que a la frecuencia de corte desplaza 180° y en la banda eliminada 360° .

Los filtros también pueden clasificarse en *filtros activos* o *filtros pasivos* según empleen o no fuentes controladas (elementos activos, tales como amplificadores y sus derivados). Los filtros eléctricos pasivos se implementan en general con inductores y capacitores. Dado que los inductores son elementos, voluminosos, pesados y costosos, el empleo de filtros pasivos es poco conveniente excepto en frecuencias bastante altas. Los inductores pueden eliminarse mediante el uso de amplificadores y técnicas de realimentación.

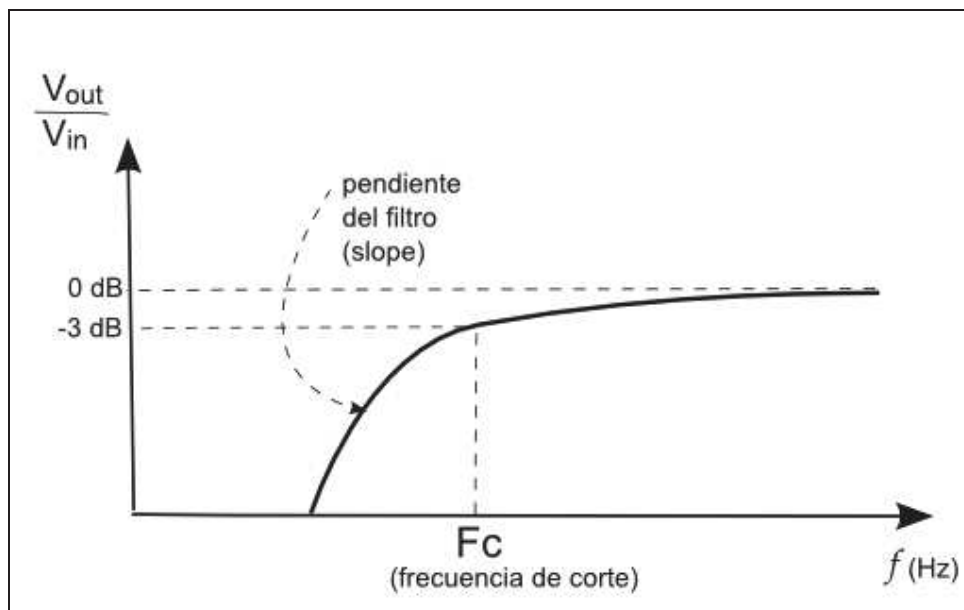
2.3.1 Tipos De Filtros

La frecuencia de corte es el punto donde la respuesta en frecuencia se reduce a una fracción determinada. Este punto suele ser el punto de -3dB, que en potencia es el punto donde la respuesta se reduce a la mitad. Por la forma de percibir del oído humano, la disminución de la respuesta a la mitad no se percibe como "la mitad de alto" sino como "un poquito más bajo".

Un filtro puede dejar pasar las frecuencias mayores que la frecuencia de corte, o al contrario, dejar pasar sólo las frecuencias menores que la frecuencia de corte. O se pueden dejar pasar sólo las frecuencias de una banda (entre dos frecuencias de corte).

- **Filtros pasa-altos:** Dejan pasar las frecuencias más altas que la frecuencia de corte.

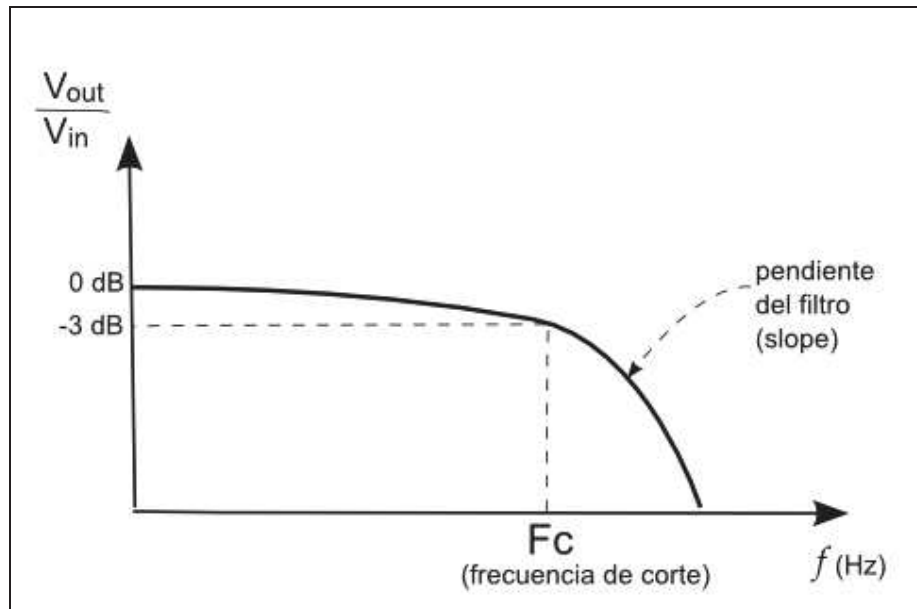
Figura 2.15 Filtro Pasa-Altos



Fuente: <http://rtapuntes.blogspot.com/2010/03/filtros.html>

- **Filtros pasa-bajos:** Dejan pasar las frecuencias menores que la frecuencia de corte.

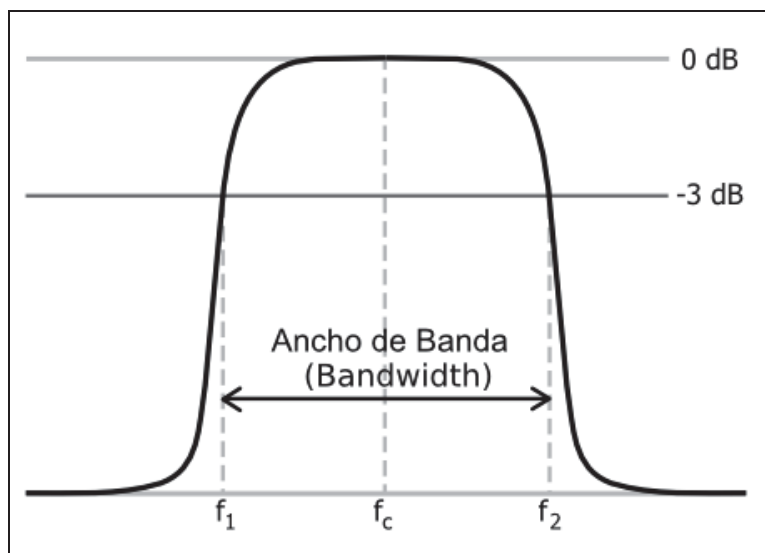
Figura 2.16 Filtro Pasa-Bajos



Fuente: <http://rtapuntes.blogspot.com/2010/03/filtros.html>

- **Filtros pasa-banda:** Dejan pasar las frecuencias entre dos frecuencias de corte. Normalmente son una combinación en serie de un paso alto y un paso bajo, pero pueden implementarse de otras maneras.

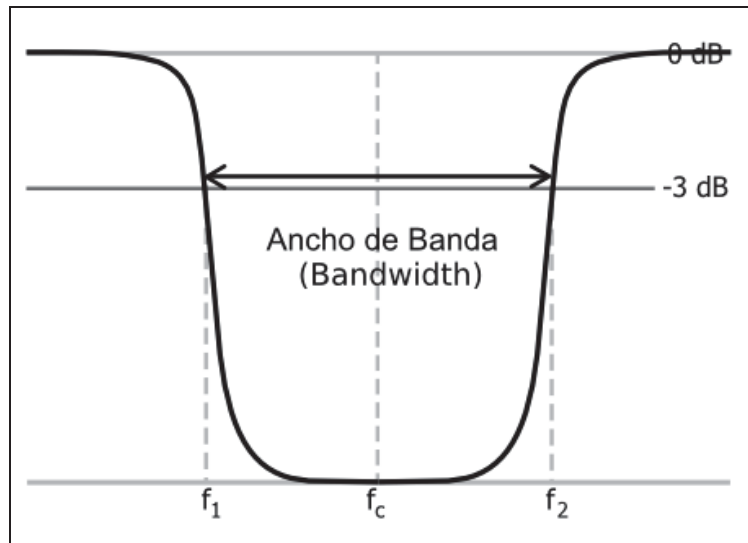
Figura 2.17 Filtros Pasa-Banda



Fuente: <http://rtapuntes.blogspot.com/2010/03/filtros.html>

- **Filtro elimina-banda:** Al contrario que los filtros pasa-banda, estos eliminan una banda. Al igual que los paso banda, pueden implementarse con un paso bajo y un paso alto, pero en paralelo.

Figura 2.18 Filtros Elimina-Banda



Fuente: <http://rtapuntes.blogspot.com/2010/03/filtros.html>

2.3.2 Parámetro Q de un Filtro

A partir de ahora nos encontramos con un nuevo problema: el valor del Q del filtro.

El factor Q suele ser sinónimo de un factor de calidad, pero en los filtros no tiene nada que ver con eso. Q define la proporción entre Z nominal, L y C. En los ejemplos de fórmulas y gráficas se han utilizado exclusivamente filtros de 2º orden, pero esto es común a todos los filtros de orden mayor a 1. El filtro de primer orden sólo tiene una Q, la de Butterworth.

Dependiendo de los valores de Q se obtiene una respuesta u otra en la banda cercana a la frecuencia de corte. Algunos de estos valores de Q producen que una característica sea óptima: respuesta plana, alineamiento en fase o brusquedad de la caída.

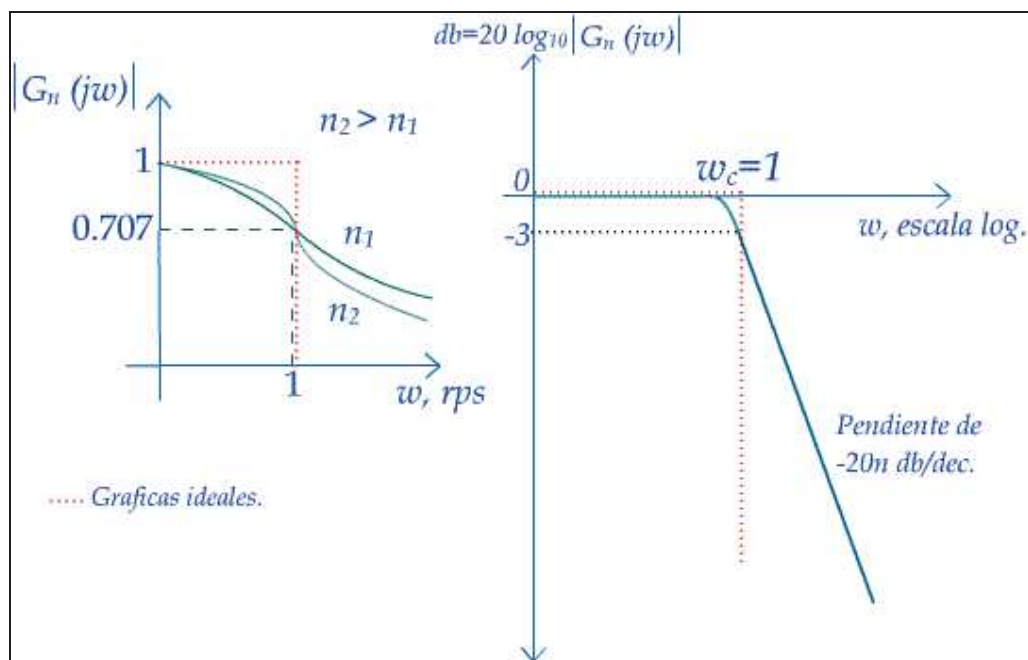
$$Q = Z \cdot \sqrt{\frac{C}{L} \cdot 10^3} \quad (2.9)$$

Ahora ya no tiene mucho sentido hablar de 6, 12, 18 o 24 dB/oct, porque eso son comportamientos asintóticos, muy por debajo de la banda audible, o por lo menos sin enmascarar. Sin embargo, nos referiremos al orden para indicar ese comportamiento.

Los tipos de filtro más importantes en función de Q, para altavoces y audio son los siguientes:

- **Butterworth:** Produce la respuesta en frecuencia más plana posible. Su punto de corte cae -3 dB

Figura 2.19 Respuesta de frecuencia de un filtro Butterworth pasa-bajos ideal.

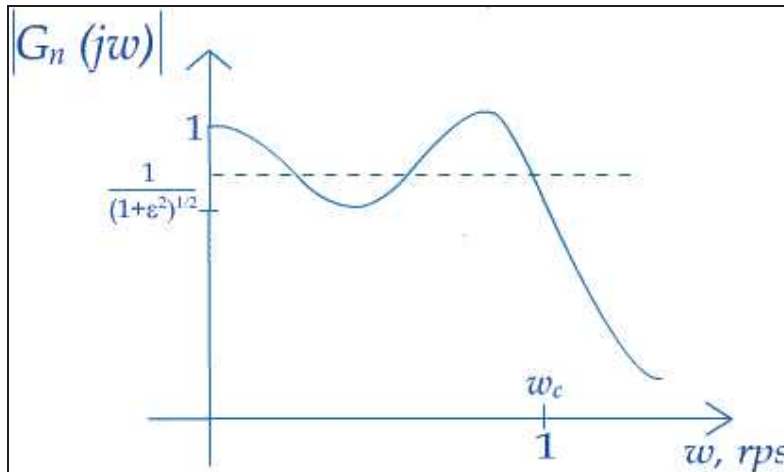


Fuente: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001603/lecciones/cap9/cap9lec6/cap9lec6.htm>

- **Chebyshev:** Produce la caída más brusca de todas, a pesar de tener un pico de respuesta cerca de la frecuencia de corte. Este es el motivo por el

que no se usa demasiado en audio. También su punto de corte cae -3 dB.

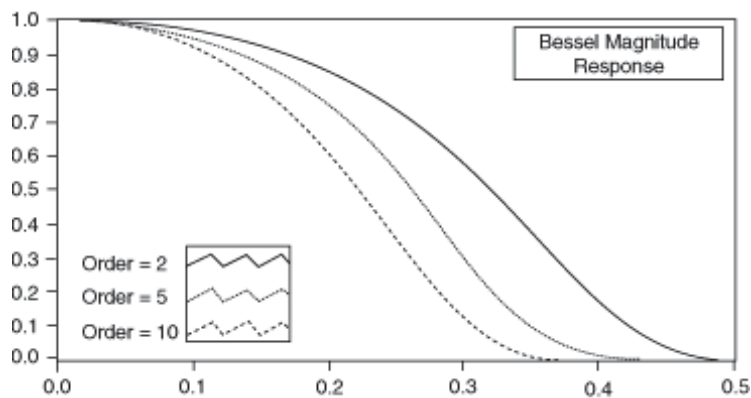
Figura 2.20 Respuesta de frecuencia de un filtro Chebychev Tipo 1, pasa-bajos de cuarto orden.



Fuente: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001603/lecciones/cap9/cap9lec7/cap9lec7.htm>

- **Bessel:** No decae tan rápido como los anteriores, pero produce los menores errores de fase de todos. Su punto de corte cae normalmente -8 dB.

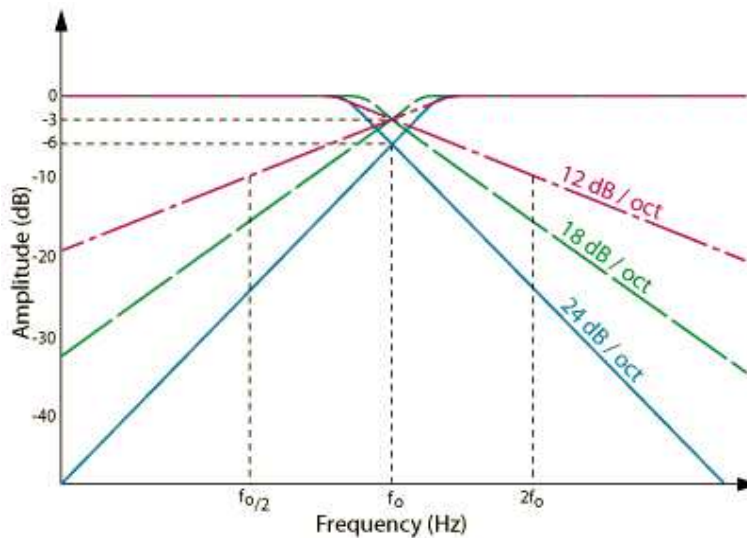
Figura 2.21 Respuesta en magnitud de un filtro Bessel.



Fuente: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361D-01/lvanlsconcepts/iir_filters/

- **Linkwitz-Riley:** El punto de corte se produce a -6dB . Se construye a partir de dos filtros Butterworth de orden menor. Como ventajas tiene que la respuesta es plana y sobre todo: en todo momento la reproducción de ambos drivers está en fase. Es una idea diferente a los filtros convencionales y es exclusiva del audio.

Figura 2.22 Respuesta de frecuencia de un filtro Linkwitz-Riley de cuarto orden



Fuente: <http://www.rane.com/note160.html>

En lugar de definir Q con un número, que cambia para diferentes órdenes, se emplean los nombres de matemáticos ilustres que definieron funciones que luego han sido usadas para deducir el comportamiento de los filtros en base al comportamiento de esas funciones (sobre amortiguado, sub amortiguado, etc.). Entre ellos están Bessel, Chebychev, Butterworth, Legendre, y Caer.

En el caso del filtro Linkwitz-Riley. Las peculiaridades de su configuración son que la suma eléctrica del paso bajo y paso alto es exactamente 1, y ambos filtros reproducen con la misma fase. La respuesta es completamente plana y la radiación sonora muy homogénea.

El filtro de Chebychev es el que más atenuación produce. El de Bessel, el que menos.

Puede parecer en un principio que el filtro de Chebychev no sirve para nada, tiene un gran pico en la respuesta, esto es porque se muestra la respuesta en voltaje. Falta la intensidad, y juntas la intensidad y el voltaje forman la potencia. En potencia, que es como funciona un filtro pasivo, no hay ganancia de ningún tipo. Pero en circuitos activos más complejos, la propiedad de atenuar más que los demás hace que un filtro de 6° orden Chebychev acabe funcionando mejor que uno de Butterworth de 8° orden. De hecho, es el Q que se utiliza en los filtros anti-aliasing en los convertidores analógico-digital.

2.3.3 Orden del filtro

De acuerdo al número de componentes electrónicos de un filtro de frecuencias, se suelen clasificar en:

a) Filtro de 1° orden:

La pendiente de la recta es de 6 dB/oct. Son los más sencillos. Constan de un solo componente y producen menos errores de fase. Como problema, hacen que los altavoces tengan que trabajar en un rango de frecuencias muy amplio, cosa que por ejemplo a los tweeter no les viene nada bien.

b) Filtro de 2° orden:

La pendiente de la recta es de 12 dB/oct. Constan de dos componentes por filtro. El corte es más brusco y producen más errores de fase. A cambio, los altavoces pueden trabajar en un rango más reducido. En los tweeter de una cierta calidad se recomienda que la pendiente mínima del filtro sea ésta, para que no les afecten frecuencias más bajas.

Causa graves errores de fase, como suelen hacer todos los filtros de orden par. En el de Butterworth, el desfase entre los dos altavoces es de 180°. El de Linkwitz-Riley no causa errores de fase, pero la polaridad de uno de los altavoces debe estar invertida. En el de Butterworth, también se recomienda.

De esta manera, si el desfase es 180° , y la fase en la que reproduce el altavoz es ± 180 , esto produce 0° o 360° , es decir, que está en fase.

Se construyen con un componente en serie (bobina o condensador) y el componente complementario en paralelo con el altavoz.

c) Filtro de 3º orden Butterworth:

La pendiente asintótica de la recta es de 18 dB/ oct. La atenuación de las frecuencias es bastante brusca, en el punto de corte, las frecuencias están en fase y los desplazamientos de fase se reparten por el rango de frecuencias, por lo que no son tan evidentes. A veces es necesario usar este tipo de filtros, por ejemplo si los altavoces están muy próximos al final de su rango de frecuencias, pero en este caso es mejor que sean filtros activos. La acumulación de componentes degrada la señal. La otra excepción la constituyen los tweeter, donde sí puede ser interesante utilizar este orden de filtro, o mayor, para evitar una excesiva excursión de la cúpula.

d) Filtro de 4º orden Linkwitz-Riley:

La pendiente de la recta son 24 dB/oct. Cada filtro consta de cuatro componentes, bobinas y condensadores. Existe el 4º orden-butterworth, pero tiene el problema de que en la frecuencia de corte el desfase es de 180° .

Este tipo de filtro realmente minimiza la interacción de los dos altavoces. En la frecuencia de corte, los dos altavoces están en fase y la respuesta es plana. Los componentes en serie degradan la señal y este tiene dos, por lo que también es recomendable que sea un filtro activo. En altavoces con diafragmas rígidos, cuya operación fuera del rango puede ser caótica, este tipo de filtro puede ser la única opción. Si además se une a un tweeter con cúpula metálica, donde pasa lo mismo pero a frecuencias menores, entonces SI es la única opción.¹³

¹³ Texto tomado de la página web
http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/filtros_pasivos/filtrospasivos.html, 18-06-2011

Además, para la construcción del filtro se debe tener en cuenta:

Una de las maneras más comunes de especificar una magnitud de una forma de onda senoidal, consiste en proporcionar su valor para un ángulo de 45° , el cual es igual a 70.7% del valor pico. Este valor toma el nombre de raíz cuadrática media (Root Mean Square).

El factor 0.707 del valor rms se obtiene al tomar la raíz del promedio (media) del cuadrado de todos los valores de la onda seno. Si se toma el seno de cada ángulo que se encuentra en el ciclo (0° - 180°), se eleva al cuadrado, se suman todos estos valores, la suma se divide entre el número de valores y se toma la raíz cuadrada de este resultado, se obtiene 0.707; arroja los mismos resultados para una alternancia de (0° - 180°) y (180° - 360°).

La ventaja del valor rms tanto para la corriente como para la tensión, es que proporciona una medida basada en la capacidad de la onda seno para producir potencia, la cual se define como $I^2 \cdot R$ o V^2 / R . En consecuencia, el valor rms de una onda senoidal corresponde al valor de voltaje o corriente directa necesario para tener la misma disipación de potencia en forma de calor, por esta razón, el valor rms es conocido también como valor eficaz.¹⁴

2.3.4 Filtros Activos

Puede definirse un *filtro* como cualquier dispositivo que modifica de un modo determinado una señal que pasa a través de él. Algunos autores reservan la denominación de filtros para los dispositivos selectores de frecuencia, es decir, aquellos que “dejan pasar” las señales presentes en ciertas bandas de frecuencia y “bloquean” las señales de otras bandas. La mayoría de los filtros son selectores de frecuencia. La excepción la constituyen los *filtros pasa-todo* que, sin alterar la amplitud, modifican la fase.

Hay diversas clasificaciones de los filtros. Cuando la señal es una magnitud eléctrica (corriente o tensión), es un *filtro eléctrico*. Existen también *filtros mecánicos*, *filtros acústicos*, *filtros ópticos*, etc.

¹⁴ Texto tomado de la página web
<http://www.solecmexico.com/electronica/TensionAlterna.pdf>, 24-06-2011.

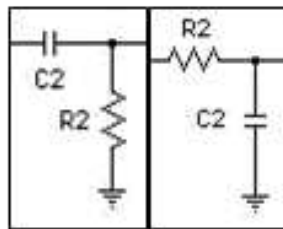
Otra clasificación es en *filtros lineales* y *filtros no lineales* según que su comportamiento pueda o no modelizarse matemáticamente con ecuaciones lineales. Un ejemplo de filtro no lineal es un comparador de tensión. Otro, un rectificador. Otra clasificación es en *filtros analógicos* y *filtros digitales*. Los filtros analógicos son aquéllos en los cuales la señal puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo, y los digitales corresponden al caso en que la señal toma sólo valores discretos. También pueden clasificarse en *filtros continuos* y *filtros discretos* o *muestreados*, según que la señal se considere en todo instante o en instantes discretos. Dado que los filtros digitales en la práctica son siempre muestreados, el nombre “filtro digital” se refiere habitualmente a filtros discretos digitales. Sin embargo, existen filtros discretos no digitales, como los filtros de capacidades conmutadas.

Ahora bien, los filtros por su tecnología, también se dividen en activos y pasivos:

Los filtros pasivos se construyen con resistencias, condensadores y auto-inductancias. Se usan generalmente para separar unas frecuencias del resto del espectro, no tienen ganancia en potencia y son relativamente difíciles de sintonizar. Mientras que los filtros activos se construyen con resistencias, condensadores y amplificadores operacionales. Se usan con el mismo fin que los pasivos. Pero debido a los amplificadores operacionales, tienen ganancia en potencia y son relativamente fáciles de sintonizar.

Los filtros son circuitos capaces de controlar las frecuencias permitiendo o no su paso dependiendo del valor de éstas. El esquema de los filtros pasivos pasa-altos y pasa-bajos se muestran en la figura 2.23. Los filtros pasivos, generalmente son células compuestas por resistencias, condensadores y bobinas sin amplificación, en cambio, un filtro activo es una red RC (resistencia-condensador) y dispositivos activos, dichos filtros permiten el paso de frecuencias comprendidas dentro del margen para el que han sido calculados, atenuando el resto.

Figura 2.23 Filtro pasivo Pasa-altos y Pasa-Bajos.



Fuente: <http://www.hispavila.com/3ds/tutores/filtros.html>

Dependiendo del número de células usadas se determinará el orden del filtro, así como su respuesta y calidad. El funcionamiento de estas células se basa principalmente en que actúan como un divisor de tensión. Al aumentar la frecuencia de la señal, la reactancia que presenta el condensador disminuirá, lo que permitirá entrar más o menos tensión al amplificador operacional, de forma independiente de si éste es pasa-altos, pasa-bajos u otro tipo.¹⁵

Por lo tanto, un filtro pasivo es aquel que todos los elementos que lo integran son pasivos. Un filtro pasivo no puede amplificar y por tanto su curva de ganancia está limitada al eje de 0 dB, límite que puede ser rebasado por los filtros activos. El campo de los filtros activos fue considerablemente ensanchado con la aparición del amplificador operacional, que les confiere las siguientes ventajas frente a los pasivos:

- Permiten la obtención de elevadas impedancias de entrada y bajas impedancias de salida, facilitando así la conexión en cascada de células de filtrado sin producirse prácticamente apenas interacción entre ellas.
- Eliminación de inductancias que pueden ser simuladas con circuitos activos. Esto implica una reducción de volumen y precio, ya que la bobina es un elemento que sobre todo a bajas frecuencias precisa tamaños considerables.
- Mientras que en los filtros pasivos la ganancia máxima que podemos obtener queda limitada a la unidad, en los filtros activos existe la posibilidad de amplificación.

¹⁵ Texto tomado de la página web <http://www.hispavila.com/3ds/tutores/filtros.html>, 25-07-2011.

- Posibilidad de integración híbrida debida a la eliminación de inductancias.
- El ancho de banda de un filtro pasivo está limitado por el factor de calidad (Q) de la bobina debido a la inevitable resistencia en serie del arrollamiento o las pérdidas por histéresis en el núcleo magnético. Por el contrario, con los filtros activos se puede obtener el ancho de banda deseado ajustando fácilmente Q con una resistencia, pudiendo conseguir valores de Q superiores a 100.

Por otra parte presentan las siguientes desventajas:

- Necesidad de utilizar una fuente de alimentación, que generalmente suele ser simétrica.
- Limitación de la tensión de salida, puesto que para valores de tensión $\pm V_{\text{sat}}$ del operacional el filtro no se comporta de forma lineal.

En cuanto al rango de frecuencias los filtros activos son preferibles a los pasivos en el rango de audio. Para el caso de infrasonidos los filtros pasivos resultan muy voluminosos y caros. Puesto que la frecuencia de corte o la frecuencia central puede variar modificando los valores de R y C, los filtros activos han tenido un gran impacto ya que se puede hacer uso del procesado de señal para fenómenos de baja frecuencia.

Por ejemplo en fenómenos geofísicos se baja hasta 0,001 Hz. Para rangos de frecuencia por encima de 10^5 Hz, los filtros pasivos presentan relativamente mejor comportamiento, puesto que podemos usar bobinas de RF o con núcleo de aire. En el rango de frecuencias superiores a 10 MHz son preferibles los filtros pasivos a los activos puesto que los Amplificadores Operacionales presentan fuertes limitaciones de frecuencia.

Desde el punto de vista económico el campo reservado al filtro activo es el de baja frecuencia, donde el filtro pasivo resulta muy costoso debido a las grandes bobinas. A frecuencias elevadas en cambio el filtro pasivo resulta más interesante. La barrera se establece en términos generales alrededor de 1 MHz.¹⁶

¹⁶ Texto tomado de Fuster Clara Pérez, "Electrónica Analógica Integrada", Servicio de Publicaciones, Año 1993.

2.3.5 Algunas Definiciones Importantes para Filtros

En los filtros se utilizan las siguientes definiciones:

- a)** Frecuencia de corte (F_c).- Es aquella en que la ganancia del circuito cae a -3 dB por debajo de la máxima ganancia alcanzada;

$$A_v = 0,707; \quad 20\log A_v = - 3\text{dB}.$$

En los filtros pasa-banda y banda eliminada existen dos F_c , una superior y otra inferior.

- b)** Pasa-banda.- Conjunto de frecuencias de ganancia superior a la de corte en un margen menor o igual a 3 dB.
- c)** Orden.- Cuando un filtro sólo tiene una célula RC, se dice que es de 1^{er} orden. Cuando tiene 2, 3 o 4 células, ese es el número de orden al que pertenece.
- d)** Octava.- Se dice de dos frecuencias F_1 y F_2 que están separadas por una octava cuando: $F_2 / F_1 = 2$
- e)** Década.- Se dice de dos frecuencias F_1 y F_2 que están separadas por una década cuando: $F_2 / F_1 = 10$
- f)** Calidad.- Especifica la eficacia del filtro, es decir, la idealidad de su respuesta. Se mide en dB / octava; dB / década. Lo ideal sería que tomara un valor de infinito.
- g)** Anchura de banda.- Se define como la diferencia entre las frecuencias para las que la curva de resonancia ha disminuido un 70% del valor máximo. Cuanto mayor es la anchura de banda (de un circuito oscilador a una frecuencia determinada de resonancia), tanto menor es la calidad del circuito oscilador.¹⁷

¹⁷ Texto tomado de la página web <http://www.hispavila.com/3ds/tutores/filtros.html>, 28-07-2011.

2.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRÓNICA

2.4.1 Amplificadores

La función del amplificador es suministrar potencia eléctrica a los altavoces. La señal eléctrica a la salida tiene igual forma de onda que a la entrada, pero varían las magnitudes. En lugar de tensiones de decenas de mili voltios (mV), alimenta a los altavoces con tensiones de decenas de voltios (V) y corrientes que pueden llegar a varios amperios (A). Las señales de línea, (las que entran al amplificador) no alcanzan los miliamperios. Toda esta tensión y corriente que se emplea en mover los altavoces, sale de la fuente de alimentación interna que a su vez la toma de la red eléctrica general.

El amplificador aumenta la tensión (V) de la señal sin perturbar la forma de onda, suministrando gran cantidad de corriente (I). El producto del voltaje por la intensidad es la potencia (P) en vatios (W), $I \cdot V = P$.

La principal característica que define un amplificador es su potencia:

a) Potencia Nominal, RMS, Eficaz o Continua

Se define como la potencia que el amplificador es capaz de proporcionar a la carga nominal (normalmente 8 ohmios), con ambos canales excitados simultáneamente en un margen de frecuencias de 20 Hz. a 20 KHz. y con una distorsión armónica THD menor que la determinada. La señal que se utiliza para esta medida es un tono sinusoidal puro de 1.000 Hz. Esto significa que se excitan ambos canales con 1 KHz, a la salida se conecta la carga correspondiente según el fabricante y se sube la potencia hasta que la THD llega a la indicada por el fabricante; entonces se ha alcanzado la Potencia Nominal.

Debido a que la señal musical que suele excitar los amplificadores tiene poco que ver con la señal sinusoidal usada para medir la Potencia Nominal, se recurre a la Potencia Musical.

b) Potencia Musical o de Pico (PMPO):

Es la máxima potencia que puede dar el amplificador a intervalos cortos de tiempo. Una de las señales propuestas como señal utilizada es una senoide de 1 KHz pero con picos de 20 ms. donde el nivel pasa a ser diez veces mayor. Al contrario que ocurre con la Potencia Nominal, no hay un procedimiento estándar de medida con lo que los valores resultantes tienen que venir acompañados del método de medida usado para tener validez.

Para concluir este punto, sólo decir que la reproducción de señal musical (o palabra), requiere un poco más de potencia que la reproducción de señal sinusoidal (el factor de cresta de la señal musical es mayor). Si se quieren tener 100 W musicales, habrá que instalar unos 120 W nominales.

2.4.2 Altavoces

Los altavoces se encargan de transformar la energía eléctrica proveniente del amplificador en energía acústica radiada al aire, esto es, en variaciones de presión. Se dicen que son transductores electro-mecánico-acústicos, porque transforman la energía eléctrica en mecánica y la mecánica en acústica.

Se pueden clasificar de diversas maneras. Atendiendo al tipo de transductor electro-mecánico: magnéticos, electrodinámicos, electrostáticos, piezoeléctricos, de cinta, neumáticos, iónicos, etc.

Atendiendo al tipo de transductor mecánico-acústico: conos (radiación directa) o bocinas (radiación indirecta).

Atendiendo al margen de frecuencias que cubren: woofers y sub-woofers (bajas frecuencias), mid-range (medias frecuencias), tweeters (alta frecuencia) o banda ancha.

Cuando se trata de altavoces para uso doméstico se suelen emplear configuraciones de varias vías (normalmente dos) y con bass-reflex montado todo en una caja cerrada.

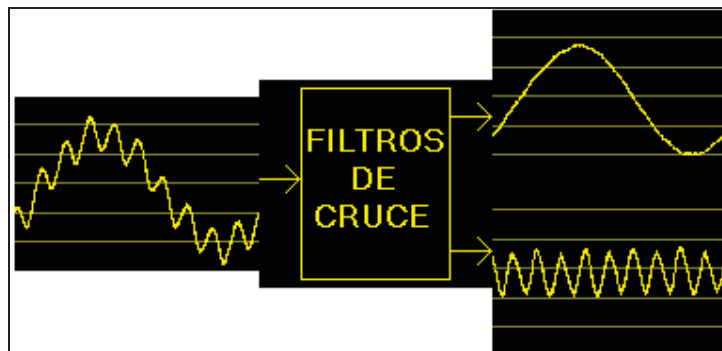
Esto significa que en una misma caja se montan dos transductores: uno de baja y media frecuencia y otro de alta frecuencia. Entre los dos han de cubrir todas las frecuencias, con mayor o menor éxito. Mediante unos componentes

electrónicos incluidos dentro del cuerpo del altavoz, denominados "filtros de cruce (crossover)", la señal procedente del amplificador se separa en dos: la señal portadora de bajas frecuencias y la portadora de las altas frecuencias. De este modo se reparte a cada transductor la señal que tiene que reproducir. Hay diversas calidades en cuanto a los filtros de cruce, los domésticos suelen ser de los más simples. En cualquier caso son necesarios, ya que si se deja que llegue al tweeter toda la señal que sale del amplificador, lo más probable es que se rompa. Esto es debido a que la mayor parte de la energía se encuentra en las medias y bajas frecuencias.

La incorporación del bass-reflex se identifica por la existencia de una abertura al exterior (con o sin tubo) normalmente en la parte frontal del altavoz. Esta abertura o "puerta" de dimensiones especialmente calculadas da salida al caudal de aire en el interior de la caja, aumentando la radiación en bajas frecuencias. Su denominación en español es "sistema de refuerzo de graves". Gracias al refuerzo de graves, se amplía hacia la zona de bajas frecuencias la respuesta en frecuencia del sistema de altavoces.

La siguiente figura muestra cómo trabajan unos filtros de cruce de dos vías. Se distinguen dos formas de onda, una de baja frecuencia y otra de frecuencia mayor. Lo que se hace es filtrar la señal entrante, obteniendo a la salida de cada filtro (dos salidas) dos nuevas señales, una con las componentes de baja frecuencia y otra con las de alta frecuencia.

Figura 2.24 Gráfico de una señal antes y después de atravesar un filtro de cruce.



Fuente: <http://www.estudiomarhea.net/manualc05.htm>

Los filtros de cruce en los equipos domésticos, van insertos en las propias cajas de los altavoces. Están compuestos por elementos pasivos, como resistencias y condensadores, por eso se llaman filtros pasivos. Los filtros activos se usan en equipos profesionales y se insertan antes de los amplificadores.

También se pueden encontrar altavoces de tres vías. En este caso son tres los transductores montados en una misma caja y los filtros de cruce dividen la señal en tres: graves, medios y agudos. Evidentemente es de esperar que los sistemas de tres vías cubran mejor el espectro de frecuencias que los de dos. Su respuesta en frecuencia es mejor.

2.4.3 Características de un Altavoz

Las características básicas que definen un altavoz son:

- a) **Potencia.**- Por potencia se entiende la potencia máxima que pueden manejar (procedente del amplificador) sin sufrir daños. Se puede indicar en potencia nominal (RMS) o musical (PMPO).
- b) **Impedancia nominal.**- Es un valor de resistencia pura, útil solo para medidas de potencia. Los valores típicos son 2, 4, 8, y 16 ohmios. Si un amplificador entrega 100 W sobre 8 ohmios, entregará 200 W sobre 4 ohmios, si la carga es la mitad, entregará el doble. Si nuestro altavoz tiene una impedancia nominal de 8 ohmios y una potencia de 50 W, y le conectamos un amplificador que entrega 50 W sobre 4 ohmios, el amplificador entregará 25 W solamente; como la carga es el doble, entregará la mitad de potencia. Se puede conectar un altavoz de 8 ohmios y 100 W, a un amplificador de 200 W sobre 4 ohmios.
- c) **Ancho de Banda.**- Se refiere al margen de frecuencias que reproducen con buena fidelidad. Los altavoces normales de cono suelen cubrir entre 3 y 5 octavas de frecuencia. Agrupando dos altavoces en una misma caja y los filtros de cruce correspondientes, y cada uno cubre un ancho de banda diferente, se tendrá un sistema de dos vías. Si se agrupan tres altavoces, se

podrá cubrir mejor el espectro total (20 Hz. a 20 KHz.), y se tendrá un sistema de tres vías.

- d) **La Sensibilidad.**- Es otra medida de calidad de los altavoces: es el nivel de presión sonora radiado (expresado en dB) en la dirección del eje, medido a un metro, cuando la excitación es de un vatio en las frecuencias de trabajo (se tiene que especificar). La siguiente tabla califica los altavoces en función de su sensibilidad:

Tabla 2. 3 Tabla orientativa de calidad respecto a sensibilidad.

85 - 90 dB	95 – 100 dB
Pocas prestaciones	Altas prestaciones
95 dB	> 100 dB
Medias prestaciones	Prestaciones específicas.

Fuente: <http://www.estudiomarhea.net/manualc05.htm>

Para el ancho de banda especificado, la distorsión armónica THD suele moverse entre el 5 y el 10% en baja frecuencia y a baja potencia. A mayor potencia, mayor distorsión armónica. A frecuencias altas, la distorsión armónica se reduce.¹⁸

2.4.4 Procesadores de Frecuencia

Un ecualizador es un dispositivo electrónico que modifica, a voluntad del usuario, la respuesta en frecuencia del sistema en el que es insertado.

a) **Ecualizadores gráficos.**

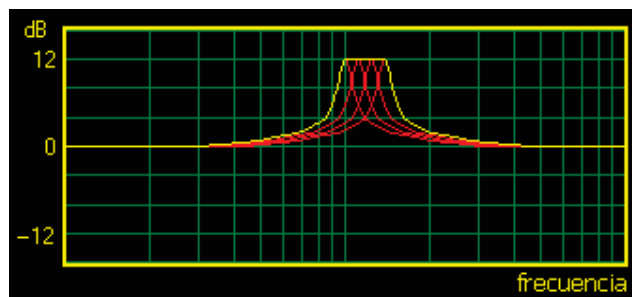
Los ecualizadores de sintonía fija (del tipo de los controles de agudos o graves), sólo permiten variar la ganancia (atenuación o realce). Un ecualizador gráfico es un conjunto de filtros paso banda (tipo control de medios) conectados en paralelo donde cada filtro está fijado a una frecuencia y entre todos cubren todo el espectro, cada filtro cubre una banda de frecuencia. Cada filtro puede realzar o atenuar la banda de frecuencia en la que trabaja.

¹⁸ Texto tomado de la página web <http://www.estudiomarhea.net/manualc05.htm>, 19-08-2011.

En estos modelos la ganancia se suele variar mediante un mando deslizante llamado potenciómetro (o fader). La variación de ganancia suele ser simétrica para realce y atenuación (como en la figura). A este tipo de ecualizadores se les denomina gráficos porque la corrección que realizan sobre el espectro queda indicada por la posición de los mandos.

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

Figura 2.25 Respuesta en frecuencia sumada de varios filtros.



Fuente: <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>

En la figura 2.25 se muestra en amarillo la repuesta en frecuencia total de un ecualizador con cuatro filtros contiguos en posición de máximo realce (curvas rojas) y el resto en posición neutra (0 dB).

Se pueden encontrar:

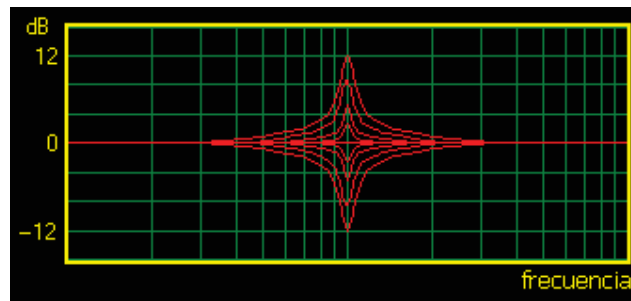
- Ecualizadores de 5 bandas en equipos HI-FI. Variación de ganancia típica: $\pm 6\text{dB}$.
- Ecualizadores de 1 octava (con 10 bandas) en semi-profesional. Variación de ganancia típica: $\pm 12\text{dB}$
- Ecualizadores de 1/2 de octava (20 bandas) o 1/3 de octava (30 bandas) en equipos profesionales. Variación de ganancia típica: $\pm 12\text{dB}$, pudiendo llegar a $\pm 18\text{dB}$. También existen variaciones asimétricas del tipo $+12/-18\text{dB}$.

b) Ecualizadores Paramétricos.

Este tipo de ecualizadores son los que permiten variar de forma continua los parámetros del filtro. Además de poder variar la ganancia (como en los gráficos), permiten variar el ancho de banda sobre el que actúan (relacionado con el Q) y la frecuencia a la que se centra ese ancho de banda. Es decir son sintonizables.

Variación de la ganancia:

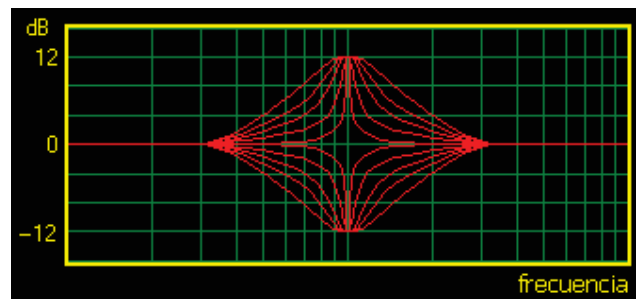
Figura 2.26 Respuesta en frecuencia de un filtro paramétrico en diferentes posiciones de ganancia.



Fuente: <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>

Variación del ancho de banda:

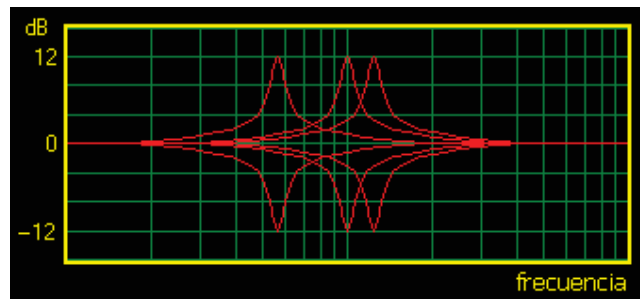
Figura 2.27 Respuesta en frecuencia de un filtro paramétrico para diferentes posiciones de Q.



Fuente: <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>

Variación de la frecuencia central o de sintonía:

Figura 2.28 Respuesta en frecuencia de un filtro paramétrico para diferentes sintonizaciones.



Fuente: <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>

Con estas opciones se solventa el problema que aparece cuando se pretende actuar sobre una frecuencia que no coincide con ninguna de las bandas de nuestro ecualizador gráfico, o cuando el ancho de banda de las frecuencias sobre las que se quiere actuar es menor que los anchos de banda de nuestro ecualizador gráfico. Por ejemplo, si se quiere atenuar la banda de 1/3 de octava de 315 Hz y nuestro ecualizador gráfico es de octava, las bandas más cercanas serán las de 250 Hz y 500 Hz, y si se atenúan, se estará actuando sobre 6 bandas de 1/3 de octava en realidad y probablemente el resultado sea aún peor que antes. Un filtro paramétrico tendrá tres mandos, uno para variar la ganancia, otro para modificar el ancho de banda y otro para sintonizar la frecuencia central de actuación. Los ecualizadores paramétricos no precisan de tantas bandas como los gráficos, bastando de tres a cinco bandas para cubrir todas las necesidades de ecualización; frente a las 20 o 30 bandas que requiere un ecualizador gráfico profesional.

c) Ecualizadores Semi-paramétricos.

Son como los paramétricos, pero el ancho de banda de actuación no es variable. En el mejor de los casos es seleccionable entre dos o tres valores preestablecidos. Este tipo de ecualizadores suele encontrarse en los canales

de entrada de las mesas de mezcla y no en un aparato aparte como los paramétricos o los gráficos.¹⁹

d) Ecualizadores Shelving

Este tipo de ecualizador opera en todas las frecuencias de manera plana. O sea, crea una transición entre una región extrema (en el extremo grave o en el extremo agudo) del espectro de audio y la región central.

Estos ecualizadores están disponibles como unidades de alta y baja frecuencia, realzando las altas y bajas frecuencias respectivamente. La desventaja de estos componentes es su potencial de realzar frecuencias por encima y por debajo del rango de audio audible causando como mínimo pérdida de potencia del amplificador, y en el peor de los casos, daños en el altavoz.

El uso más común de este ecualizador es en controles de tono en los sistemas de audio domésticos. Estos controles de bajos y agudos tienen generalmente una pendiente máxima de 6db por octava y características recíprocas.²⁰

2.4.5 Etapas de potencia

La principal característica que define a una etapa de potencia es la potencia que puede entregar a la salida, que es mayor que la que puede entregar un amplificador doméstico. Por contra, la calidad o fidelidad de sonido que da una etapa de potencia profesional, es menor que la de un amplificador doméstico HI-FI.

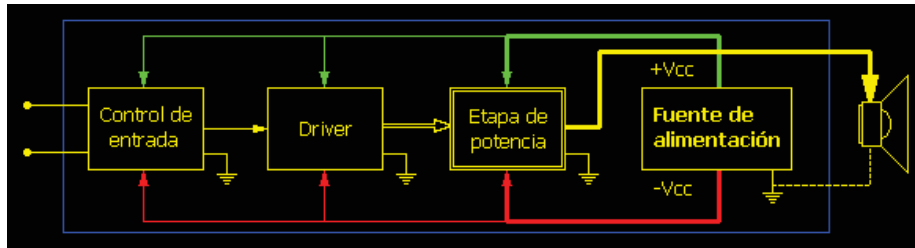
Las etapas de potencia no tienen ciertos elementos típicos de los amplificadores como son los previos, selector de previos o controles de tono. La típica etapa de potencia tendrá una tecla de encendido, un par de controles de nivel por ser estéreo y algún dispositivo que indique el estado de trabajo instantáneo: bien leds o bien medidores de aguja (uno por canal).

¹⁹ Texto tomado de la página web <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>, 07-10-2011.

²⁰ Texto tomado de la página web <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Otros/Audio/html/ecualizadores2.html>, 18-07-2011.

La estructura global de una etapa de potencia es la siguiente:

Figura 2.29 Por amplificador o etapa de potencia se entiende todo el conjunto exceptuando el altavoz de la derecha.



Fuente: <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>

Control de entrada: es el punto a donde llega la señal de entrada. Esta sección define la impedancia de entrada del aparato y es donde se selecciona el nivel de amplificación deseado. Aumenta un poco la tensión de la señal de entrada antes de pasarla al driver. Los mandos que controlan la potencia de salida trabajan sobre esta etapa.

Driver o excitador: es la encargada de "excitar" la etapa de potencia. Para ello amplifica mucho la señal que recibe del control de entrada para elevar mucho su voltaje antes de pasarla a la etapa de potencia.

Etapa de potencia o de salida: por su importancia da nombre a todo el conjunto. Es la encargada de dotar de potencia a la señal. La señal que recibe tiene mucho voltaje, pero muy poca intensidad. Esta etapa es la que proporciona varios amperios de intensidad de corriente eléctrica a la señal, sin embargo, apenas aumenta el voltaje que traía desde driver. Maneja tensiones y corrientes muy elevadas y es la que más recursos energéticos demanda de la fuente de alimentación, es decir la etapa que más consume. Esta es la etapa que "ataca" al altavoz, donde se consume la energía eléctrica, transformándose en movimiento que genera ondas acústicas y calor.

Fuente de alimentación: es un dispositivo que adapta la electricidad de la red eléctrica general, para que pueda ser usada por las distintas etapas. Estas fuentes de alimentación suelen ser simétricas. Tiene que ser suficientemente

grande para poder abastecer a la etapa de salida de toda la energía que necesita en el caso de estar empleándose el aparato a plena potencia. Un punto débil de las etapas de potencia suele ser la fuente de alimentación, que no puede abastecer correctamente a la etapa de salida. Una etapa de potencia estéreo tiene que duplicar las tres etapas (entrada, driver y salida) y puede usar una fuente de alimentación para todos. Los equipos de calidad estéreo incorporan dos fuentes de alimentación, una por canal.

Protecciones: las etapas de potencia actuales incorporan diversas medidas de protección contra avería, que son más o menos sofisticados en función de la calidad y coste del equipo. Pueden ir desde el típico fusible a dispositivos activos de control de potencia. Las protecciones que se pueden encontrar normalmente son:

- Protección electrónica frente a cortocircuito y circuito abierto.
- Protección térmica para transistores de salida y transformador.
- Protección contra tensión continua.
- Protección contra sobrecarga.
- Protección contra transitorio de encendido.

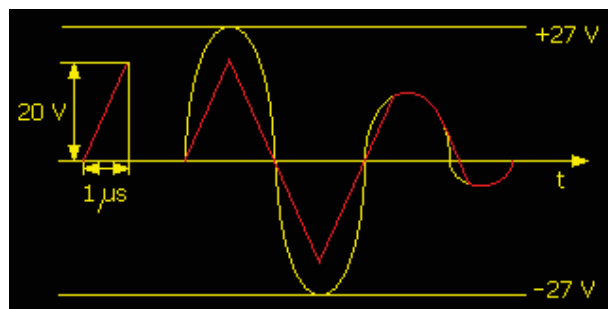
Además suelen incorporar una luz de aviso de protección activada y otra de *clipping*, que se enciende en los picos de señal cuando la etapa de potencia está empezando a saturarse y corre peligro de avería o de que salte alguna protección que la deje fuera de funcionamiento por un tiempo; normalmente hasta que se refrigera lo suficiente.

2.4.6 Características

a) **Respuesta en frecuencia.** En las etapas de potencia es mejor cuando trabaja a baja potencia que cuando trabaja a máxima potencia. Esto es debido a que en el segundo caso, tiene que manejar grandes tensiones e intensidades.

b) **Slew-rate.** Es una medida de la rapidez con la que la etapa puede variar la tensión a la salida. Las unidades de esta medida son voltios partido unidad de tiempo (V/s), aunque se suele expresar en V/ μ s (voltios / microsegundo). Esta medida nos dice exactamente cuántos voltios puede aumentar la tensión de salida en un microsegundo (0,000001 segundos). Cuanto mayor sea el valor del slew-rate del equipo, mejor será éste. El problema que se da cuando el equipo tiene un slew-rate insuficiente, es que no puede seguir las variaciones grandes de señal, provocando el efecto de triangulación, es decir, deformando la señal y generando distorsión. Este efecto de triangulación, se producirá cuando el equipo trabaje a alta potencia, ya que es ahí donde se le exigen grandes variaciones de la tensión de salida.

Figura 2.30 Representación de un caso de triangulación.



Fuente: <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>

En la figura 2.30 se muestra en amarillo una forma de onda hipotética que tiene que presentar el amplificador de potencia a la salida, y en rojo la forma de onda que muestra al estar limitado el valor del slew-rate y no poder seguir esa onda. El problema se hace más palpable en las grandes excursiones de tensión (al principio de la forma de onda). El amplificador eleva la tensión de salida lo más rápido que puede (20 V/ μ s), pero no es suficiente para seguir la forma de onda, en el caso extremo, describe una forma de onda triangular.²¹

c) **Sensibilidad de un parlante.** El término sensibilidad parece un poco desubicado en referencia a un parlante, ya que uno lo asociaría más con un

²¹ Texto tomado de la página web <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>, 17-06-2011.

micrófono. Sería más apropiado definir una característica de rendimiento en un parlante, como la relación entre la potencia sonora producida al entregar una determinada cantidad de potencia eléctrica. Sin embargo como el rendimiento de los parlantes es muy baja, del orden del 20%, se usa en cambio el parámetro "sensibilidad" para calificar su eficiencia.

Para medirla se coloca al parlante en una cámara anecoica (sin reflexiones de sonido, o sea sin eco) y se le aplica 1Watt de señal eléctrica a 1Khz (un tono puro de 1000 ciclos por segundo). Luego se mide la intensidad de presión sonora (SPL en dB) con un micrófono ubicado a 1 metro frente al parlante.

La variación de sensibilidad entre parlantes es muy grande, y tiene que ver con sus características constructivas. En general un parlante de alta fidelidad tiene menor sensibilidad, ya que se sacrifica sensibilidad a favor de mejor respuesta en frecuencia. Asimismo y paradójicamente un parlante de mayor potencia puede ser menos sensible, ya que para soportar esa potencia debe estar hecho con materiales más robustos.

Los parlantes tienen, por lo tanto, menor ancho de banda y mejor sensibilidad que los usados para alta fidelidad (Hi-Fi).

Valores típicos de Sensibilidad:

Tabla 2. 4 Valores típicos de Sensibilidad

Baffles de alta fidelidad	de 80 a 104 dB
Parlantes	de 95 a 104 dB

Fuente: <http://www.jakeamps.com.ar/teoria.shtml#volumen>

d) **Potencia requerida del amplificador en función de la sensibilidad del parlante.** Para un mismo volumen de salida, dependiendo del parlante utilizado necesitaremos las siguientes potencias de amplificador:

Tabla 2. 5 Sensibilidad del Parlante Vs. Potencia del Amplificador

Sensibilidad del Parlante	Potencia del amplificador
85 dB	100 W
88 dB	50 W
91 dB	25 W
94 dB	12,5 W
97 dB	6 W
100 dB	3 W
103 dB	1,5 W

Fuente: <http://www.jakeamps.com.ar/teoria.shtml#volumen>

Esto demuestra como la sensibilidad del parlante es tan importante como la potencia del equipo.²²

- e) **Impedancia de entrada.** Es la resistencia eléctrica que "ve" el equipo anterior. Los valores más normales se encuentran entre 10 y 50 Ohmios (Ω). En audio, lo que se busca es cumplir el principio de máxima transferencia de energía. Es decir, impedancias de salida de los aparatos muy bajas (alrededor de 1 ohmio) e impedancias de entrada muy altas (del orden de decenas de miles de ohmios).
- f) **Impedancia de salida.** Es la resistencia que "ve" el equipo posterior a la etapa. Es útil cuando se usan modelos eléctricos simplificados. Se trata de un valor sólo resistivo que hace que parte de la potencia generada se consuma en la salida misma del amplificador. El criterio de adaptación en tensión busca que la impedancia de salida del amplificador sea la menor posible y la de la carga (altavoz) sea la mayor posible. De este modo la

²² Texto tomado de la página web <http://www.jakeamps.com.ar/teoria.shtml#volumen>, 29-10-2011

mayor parte de la potencia se consumirá en el altavoz. La intensidad de corriente es la misma para las dos cargas ya que están en serie, por tanto, la de mayor valor consumirá más potencia.²³

2.4.7 Conexiones

Otro factor a tener en cuenta en los amplificadores son las conexiones:

a) **Plug Mono 1/4**. Es el típico conector que se usa en guitarras eléctricas, bajos eléctricos, teclados y pianos electrónicos.

Conecta la mayoría de las salidas de los instrumentos musicales en general con sus respectivos amplificadores.

También se usan para conectar algunas salidas de amplificadores a sus respectivos parlantes o cajas acústicas.

Figura 2.31 Plug 1/4 Mono



Fuente: <http://ramonfreire.cl/musicaysonido/aprender-sonido-gratis-conecto-res-de-audio/>

Existen PLUGS de muchas calidades y tipos.

En audio profesional se prefieren los que son metálicos y más robustos, que tienen la particularidad de presionar fuertemente el cable en forma mecánica mediante una pieza especialmente diseñada para ello.

²³ Texto tomado de la página web <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>, 17-06-2011.

Esta pieza presiona el cable al atornillar su parte posterior lo cual lo protege para que no sufran desconexiones internas debido a tirones o trabajo brusco a la hembra del PLUG se le llama JACK y generalmente va conectada en los instrumentos o en el chasis de los equipos: consolas, amplificadores, parlantes, etc.

b) Plug Stereo 1/4. Al igual que el anterior se usa para salidas y entradas de equipos de audio profesional y domestico.

Se usa como alternativa para los conectores XLR en salidas de audio, donde se requiera llevar la señal en forma balanceada.

Lo identificamos fácilmente por sus 2 líneas negras que separan las 3 líneas de energía que pueden llevar.

La zona mayor representa la tierra o GND, la punta, el vivo de la señal y el anillo central, el neutro de la señal.²⁴

Figura 2.32 Plug 1/4 Stereo.



Fuente: <http://ramonfreire.cl/musicaysonido/aprender-sonido-gratis-conectores-de-audio/>

²⁴ Texto tomado de la página web <http://ramonfreire.cl/musicaysonido/aprender-sonido-gratis-conectores-de-audio/>, 09-02-2011

CAPÍTULO III

DESARROLLO PRÁCTICO

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El primer inconveniente consiste en establecer el rango de frecuencia referencial que utiliza cada instrumento puesto que los fabricantes de parlantes suelen entregar poca información en cuanto a la respuesta de frecuencia se requiere. Por lo tanto, se debió realizar algunas mediciones en una sala adecuada, bastante absorbente, para emular el comportamiento de una sala anecoica (debido a que en el país no existe una sala con estas características) mediante ruido rosa como alimentación, colocando el micrófono de medición a la distancia de 1 m, en el eje de máxima directividad, solo el amplificador y con instrumentos, primero se midió una guitarra, y luego un bajo, cada uno con tres amplificadores diferentes.

Figura 3.1 Esquema utilizado al momento de medir el rango de frecuencia.



Fuente: <http://www.elmodem.com/archivo/2008/11/20/mini-parlante-rocker/>;
<http://davidiazdeleon.wordpress.com/2011/09/29/cambios-tecnologicos-bulbo-transistor-antenas-microfonos-estudios/>; <http://elmundodelasguitarra.galeon.com/>;
<http://invisiblemusic.com.ar/verproductos.php?prod=instrumentos&id=bajos>;
<http://tecnomagazine.net/2008/01/07/computadora-portatil-hp-pavilion-tx2000-tablet-pc/>

Durante la medición se utilizó el Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0; el micrófono de medición dBx RTA-M (**Ver Anexo 1**); en el caso de los amplificadores se utilizaron tres de cada tipo, seis en total, los que son mencionados en la siguiente tabla:

Tabla 3. 1 Amplificadores de bajo y guitarra utilizados para mediciones.

BAJO	GUITARRA
MARSHALL MB SERIES 15	PRIMER GA-10012R
FREEDOM SED-35B	PERS TEC-20G
PRIMER BA-2010	PRIMER GA-158C

Elaborado por: El Autor.

Como consecuencia de estas mediciones se puede tomar en cuenta una respuesta de frecuencia referencial para cada caso, bajo y guitarra eléctrica.

Se obtuvieron las siguientes imágenes:

a) Amplificador de Guitarra Primer GA-10012R

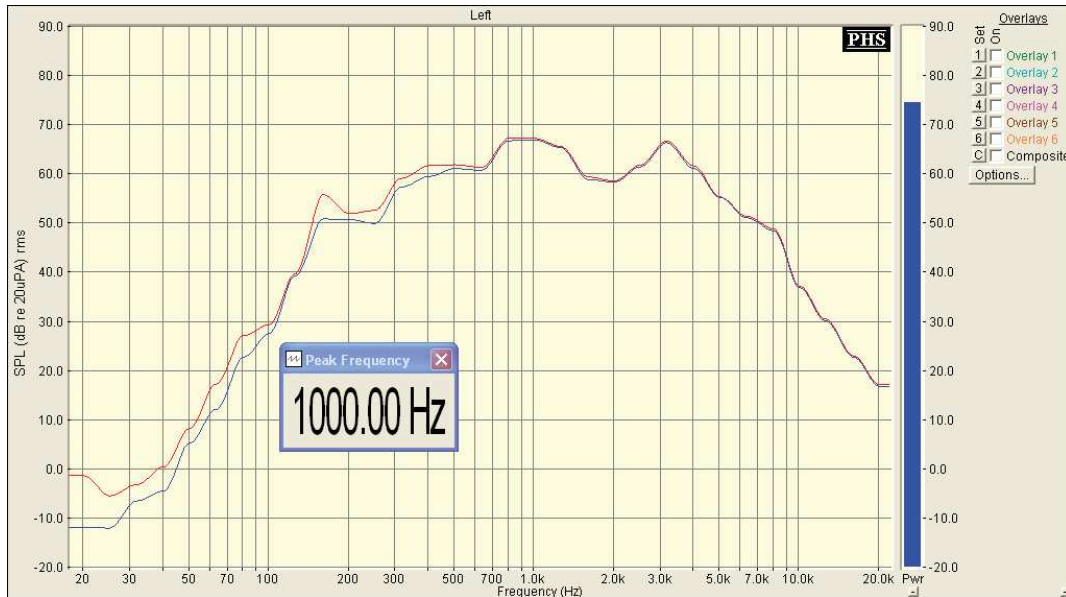
Figura 3.2 Medición Amplificador para Guitarra Marca Primer 10012R



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

b) Amplificador de Guitarra Pers TEC-20G

Figura 3.3 Medición Amplificador para Guitarra Marca Pers TEC-20G



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

c) Amplificador de Guitarra Primer GA-158C

Figura 3.4 Medición Amplificador para Guitarra Marca Primer GA-158C



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

d) Amplificador de Bajo Marshall MB Series 15

Figura 3.5 Medición Amplificador de Bajo Marca Marshall MB Series 15



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

e) Amplificador de Bajo Freedom SED-35B

Figura 3.6 Medición Amplificador de Bajo Marca Freedom SED-35B



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

f) Amplificador de Bajo Primer BA-2010

Figura 3.7 Medición Amplificador de Guitarra Marca Primer BA-2010



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

g) Amplificador de Guitarra Primer GA-10012R (con instrumento)

Figura 3.8 Medición Amplificador para Guitarra Marca Primer 10012R (con instrumento).



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

h) Amplificador de Guitarra Pers TEC-20G (con instrumento)

Figura 3.9 Medición Amplificador para Guitarra Marca Pers TEC-20G (con instrumento).



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

i) Amplificador de Guitarra Primer GA-158C (con instrumento)

Figura 3.10 Medición Amplificador para Guitarra Marca Primer GA-158C (con instrumento).



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

j) Amplificador de Bajo Marshall MB Series 15 (con instrumento)

Figura 3.11 Medición Amplificador de Bajo Marca Marshall MB Series 15 (con instrumento).



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

k) Amplificador de Bajo Freedom SED-35B

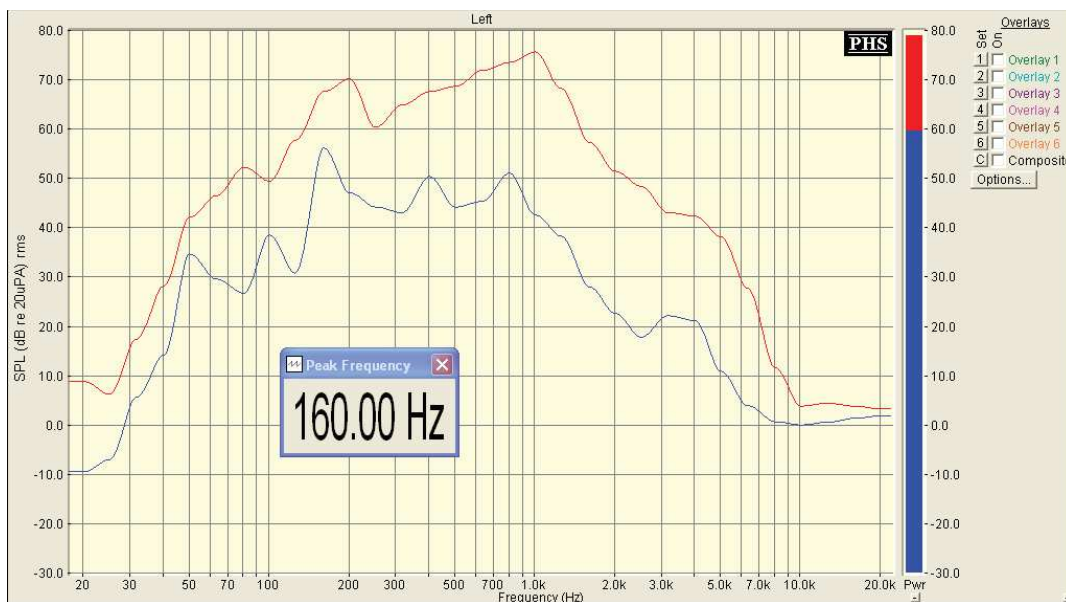
Figura 3.12 Medición Amplificador de Bajo Marca Freedom SED-35B (con instrumento).



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

I) Amplificador de Bajo Primer BA-2010 (con instrumento)

Figura 3.13 Medición Amplificador de Guitarra Marca Primer BA-2010 (con instrumento)



Fuente: Analizador de Espectro en Tiempo Real Spectra PLUS 5.0

Como se puede observar en los gráficos la mayor diferencia, y como era de esperarse se encuentra en las bajas frecuencias, por lo tanto se va a tomar el dato referencial de 80Hz como el punto de corte, para el diseño del filtro de frecuencias que dividirá nuestro amplificador para la aplicación con la Guitarra y con el Bajo. Además en la guitarra eléctrica, a la frecuencia más baja que se puede llegar está alrededor de los 82.41Hz, por lo tanto no se interferirá para nada en el rango de frecuencia ideal de la guitarra. Se tomó esta opción a causa de las condiciones de la medición y posibles errores que arrojaran los datos anteriores, ya que no se puede tomar la tradicional caída de 3dB para las frecuencias de corte que permitan calcular la respuesta de frecuencia, por lo tanto, optamos por una caída común en los gráficos de alrededor de 20 dB por debajo de los *peaks* de la señal, en conclusión, lo que se obtuvo como resultado de las mediciones no es una respuesta de frecuencia sino más bien un Rango de Trabajo Común para las tres respuestas, ya que por métodos convencionales no se pudo obtener la Respuesta de Frecuencia real.

3.2 PROCESO DE CREACIÓN DEL GABINETE

El altavoz elegido es el PEAVEY BLACK WIDOW 1505-8, por su rendimiento y precio.

Las características que presenta son:

Tabla 3. 2 Características del Altavoz Peavey BW 1505-08

SPECIFICATIONS	
Nominal Basket Diameter	15" / 381mm
Impedance	4 or 8 Ohms
Sensitivity (SPL)	99dB
Frequency Range	40Hz-2kHz
Continuous Power (EIA RS-426A)	350 Watts
Program Power	700 Watts
Voice Coil Diameter	4" / 99mm
MOUNTING INFORMATION	
Overall Diameter	15.25" / 387.4mm
Bolt Circle Diameter	14.5625" / 369.9mm
Baffle Cutout Diameter	14" / 355.6mm
Overall Depth	4.97" / 126.2mm
Overall Weight	17lbs.
THIELE-SMALL PARAMETERS	
Resonant Frequency (fs)	44.2 Hz
Impedance (Re)	5.23 ohms
Electromagnetic Q (Qes)	0.39
Mechanical Q (Qms)	7.8
Total Q (Qts)	0.37
Compliance Equivalent Vol. (Vas)	198 Liters
Displacement Volume(Vd)	385 ml
Voice Coil Overhang (Xmax)	± 4.8 mm
Efficiency (no)	3.9 %

Fuente: Catálogo Peavey BW 1505-08.

Curva de Respuesta de Frecuencia del Altavoz (**Véase Anexo 2**)

Se procede a resolver una serie de ecuaciones que corresponden al cálculo de caja ideal cuyo volumen V_B tendrá una respuesta plana máxima.

El primer procedimiento es la comprobación si el altavoz va a cumplir con los parámetros de caja con reflector de bajos o Bass Reflex (debido a que nuestro diseño es con este tipo de gabinete).

$$\left. \begin{aligned} \text{EBP} &= \frac{f_s}{Q_{es}} = \frac{44.2}{0.39} = 113.3 \\ \text{Qts} &= 0.37 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Si cumple, debido a que tiene un EBP cercano} \\ \text{a 100 y un Qts entre 0,2 y 0,7.} \end{array}$$

$$V_{AS} = 198 \text{ litros}$$

$$V \text{ (ft}^3\text{)} = 0.0353 \times V(\text{litros}) = 0.0353 \times 198 \Rightarrow$$

$$\mathbf{V_{AS} = 6.98 \approx 7 \text{ (ft)}^3} \quad (3.1)$$

Primero, se calcula el V_B

$$V_B = 15 \times (V_{AS}) \times (Q_{TS})^{2.87}$$

$$V_B = 15 \times (7) \times (0.37)^{2.87} = 6.052 \text{ (ft)}^3$$

$$V_B = 6.052 \text{ (ft)}^3 \Rightarrow V(\text{m}^3) = V(\text{ft}^3) \times 0.028316846$$

$$\mathbf{V_B = 6.052 \times 0.028316846 = 0.1714 \text{ m}^3} \quad (3.2)$$

Y obtenemos las medidas de la Caja

$$\mathbf{\text{Ancho} = \sqrt[3]{0.1714} = 0.55 \text{ m}} \quad (3.3)$$

$$\mathbf{\text{Alto} = 1.2599 \times 0.555 = 0.70 \text{ m}} \quad (3.4)$$

$$\mathbf{\text{Prof.} = 0.7937 \times 0.555 = 0.44 \text{ m}} \quad (3.5)$$

Obtenemos el f_3 (la frecuencia límite de corte, donde la respuesta cae 3 dB debajo de la referencia) y f_B (la frecuencia de sintonización del sistema parlante en caja con reflector de bajos).

$$f_3 = \frac{0.26 \times 44.2}{(0.37)^{1.4}} = 46.23 \text{ Hz} \quad (3.6)$$

$$f_B = \frac{0.42 \times 44.2}{(0.37)^{0.9}} = 45.42 \text{ Hz} \quad (3.7)$$

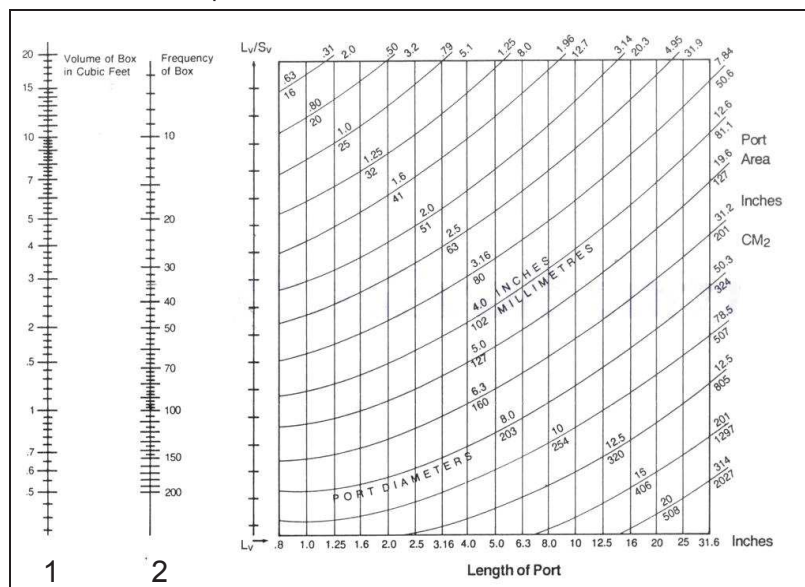
Y finalmente las medidas de la “Puerta” que se calculo mediante el uso del Nomograma de la siguiente manera: primero procedemos a establecer en la columna 1, el volumen de la caja (pies cúbicos) y en la columna 2, la frecuencia de sintonización f_B (Hz), para luego unir los puntos que forman ambas columnas con una diagonal y sacar otra línea, esta vez horizontal, para que corte las medidas propuestas por el Nomograma, de esta manera se obtuvieron posibles diámetros y longitudes. Se eligió:

Diámetro: 10 cm

Longitud: 25.4 cm

Debido a que en el mercado existía un tubo de PVC, que cumplía exactamente con el diámetro propuesto, por lo que se procedió a cortarlo con la medida indicada y ubicarlo en el gabinete.

Figura 3.14 Tipo de Nomograma utilizado para el cálculo de las medidas de la “puerta”.



Fuente: <http://nipponpower.com.mx/foro/showthread.php?50469-Cajon-sellado-o-ventilado/> page2

3.3 PROCESO DE CREACIÓN DEL FILTRO PASA-ALTOS

La intención primordial es crear un filtro pasa–altos con la frecuencia de corte en los 80Hz. Una consideración importante, es que en la etapa de entrada del filtro se está utilizando una impedancia de alrededor de 500 K Ω , cumpliendo el precepto que en la etapa de entrada se debería tener al menos 10 veces la impedancia de la fuente, es decir, para nuestro caso para poder utilizar el bajo eléctrico sin ningún riesgo. La idea del filtro es que basándonos en el valor eficaz de la onda de entrada se busque una disminución considerable en la potencia de las frecuencias que no va a permitir el paso el filtro, para así tener un rango de frecuencias mucho más cómodo para la guitarra eléctrica que no afecte su timbre. El filtro pasa-altos irá conectado eléctricamente al amplificador, por lo tanto, primero está el plug para conectar el instrumento, la señal pasa a ser filtrada para luego ser amplificada.

3.3.1 Etapas para el diseño de un filtro

El diseño de un filtro puede dividirse en cinco etapas:

- a) Planteo: descripción informal del problema
- b) Especificación: reformulación del problema en términos de una serie de parámetros cuantitativos característicos.
- c) Aproximación: obtención de una función de atenuación que satisfaga los parámetros especificados.
- d) Síntesis: obtención de un circuito que realice la función obtenida en la etapa de aproximación.
- e) Verificación: Confirmación del cumplimiento de las especificaciones funcionales y otras condiciones de proyecto (costo, tamaño, consumo, etc)

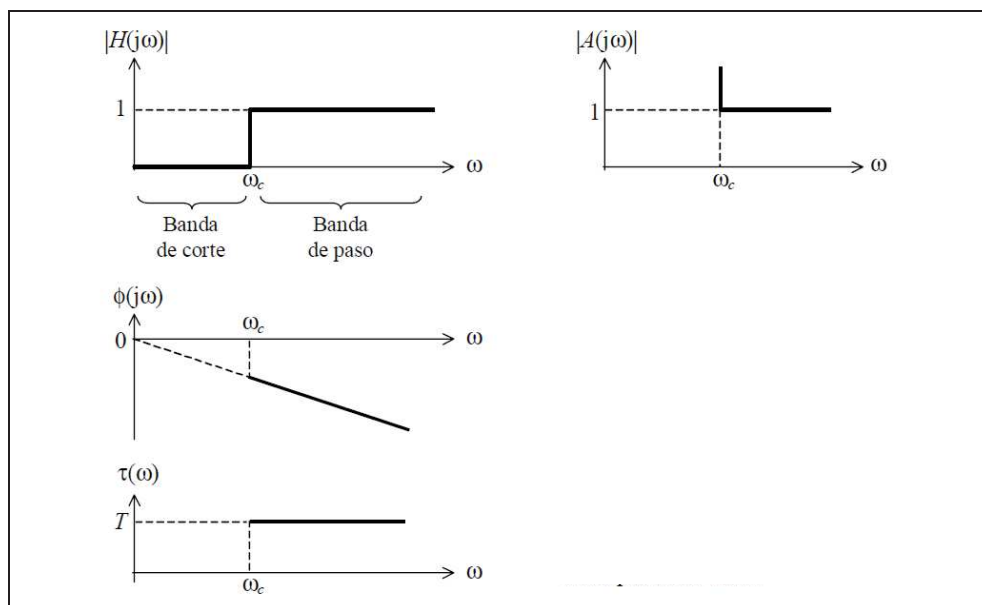
Las etapas mencionadas no tienen una única solución ni siguen necesariamente un orden lineal o secuencial. A menudo, al llegar a cierto punto se comprueba que es necesario volver atrás para modificar alguna decisión

previa. En algunos casos puede ser preciso inclusive reexaminar el planteo o flexibilizar algunas especificaciones

3.3.2 Filtro Pasa–Altos (HPF)

Para nuestro caso necesitamos un filtro pasa–altos (HPF), que actúe en la frecuencia de corte de los 80Hz, dejando pasar todo lo que está por sobre esta frecuencia, por lo tanto al momento de conectar el bajo eléctrico (con el filtro en posición Bypass) no habrá ningún problema con su rango de frecuencia extendido en bajos, mientras que al conectar la guitarra eléctrica se activará el filtro evitando así la influencia de las frecuencias por debajo de los 80Hz que suelen modificar el timbre del instrumento. El filtro pasa alto que se implementó es de tercer orden.²⁵

Figura 3.15 Diagramas de amplitud, fase y retardo de grupo para un filtro pasa-altos ideal



Fuente: Miyara Federico, "Filtros Activos", Segunda Edición, Año 2004.

²⁵ Texto tomado de Miyara Federico, "Filtros Activos", Segunda Edición, Año 2004, pág. 9.

3.3.3 Filtro de 60 dB/década

Al conectar en cascada un filtro de 40 dB/década con otro de pendiente 20 dB/década se obtiene un filtro pasa-altos de 60 dB/década. Este circuito se diseña como filtro Butterworth para así obtener la respuesta a la frecuencia de la figura 3.16. Los pasos para el diseño del circuito son los siguientes:

- Definir la frecuencia de corte f_c .
- Selecione $C_1 = C_2 = C_3 = C$ y elija un valor adecuado comprendido entre 100 pF y 0.1 μ F.
- Calcule R_3 a través de la ecuación:

$$R_3 = \frac{1}{\omega_c C} \quad (3.8)$$

- Definir:

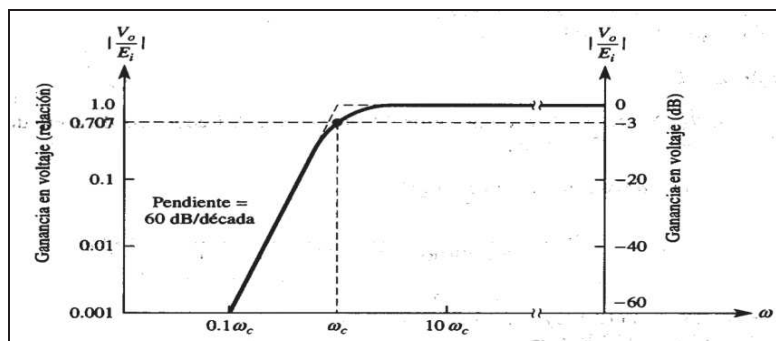
$$R_1 = 2R_3 \quad (3.9)$$

- Seleccionar:

$$R_2 = \frac{1}{2}R_3 \quad (3.10)$$

- Para reducir al mínimo el efecto de la corriente de desvío de cc, defina $R_{f1} = R_1$ y $R_{f2} = R_3$.²⁶

Figura 3.16 Circuito y respuesta a la frecuencia de un filtro pasa-altos Butterworth de 60 dB/década



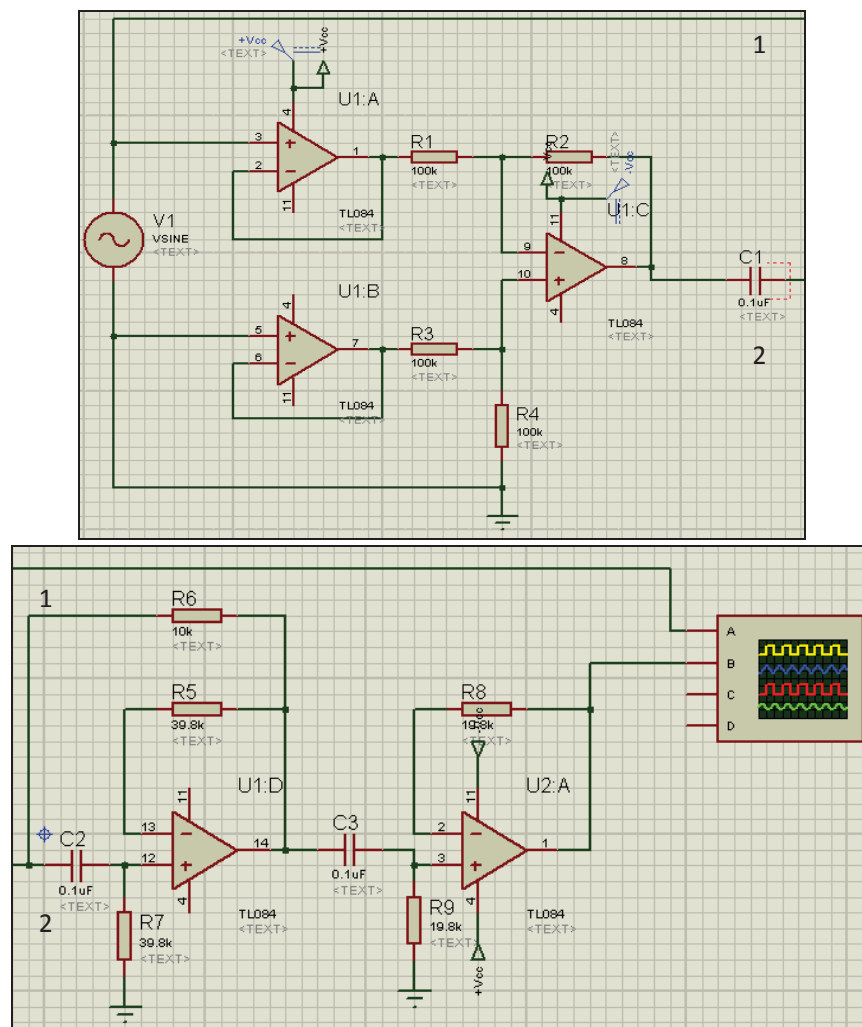
Fuente: Fuster Clara Pérez, "Electrónica Analógica Integrada", Servicio de Publicaciones, Año 1993.

²⁶ Texto y Ecuaciones tomado de Fuster Clara Pérez, "Electrónica Analógica Integrada", Servicio de Publicaciones, Año 1993.

3.3.4 Comprobación del Filtro Pasa–Altos

Para la comprobación del Filtro Pasa–Altos, se decidió hacer una simulación computarizada a través del software PROTEUS 7.7, “es la única plataforma en ofrecer la posibilidad de co-simular código para micro controladores en bajo y alto nivel, en el contexto de simulación mixta basada en Spice”²⁷, en el cual se realizó el diseño del filtro, comprobando que los cálculos cumplieran con el objetivo de realizar el filtraje en la frecuencia de corte de los 80 Hz.

Figura 3.17 Diseño del filtro pasa-altos modelado en Proteus 7.7



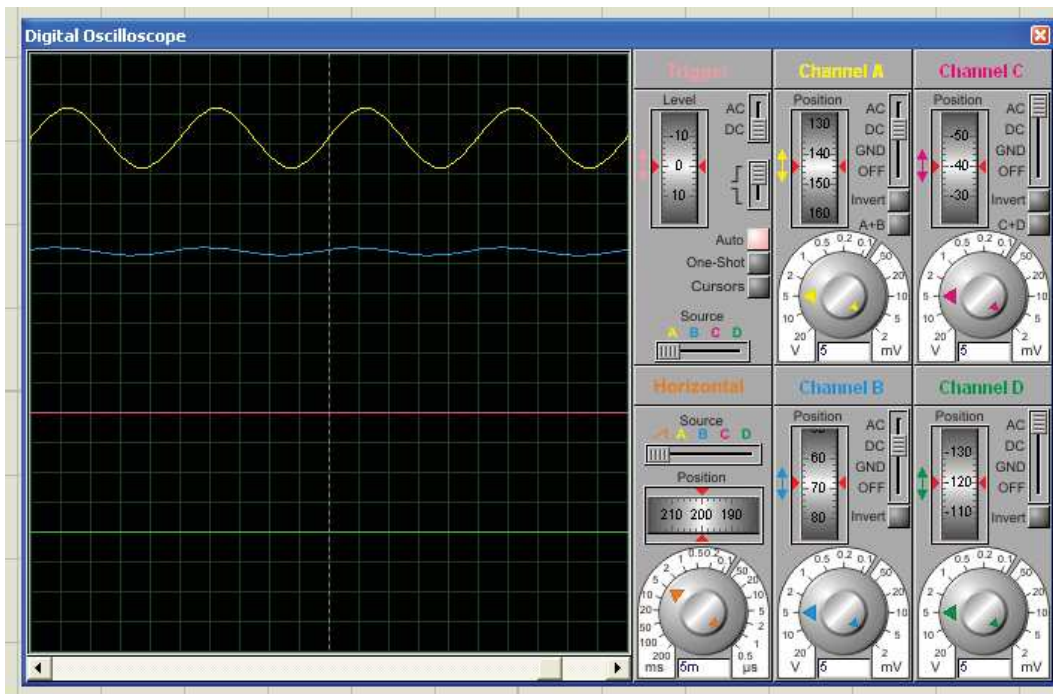
Fuente: Proteus 7.7 (Diseño y Simulación de Circuitos)

²⁷ Texto tomado de la página web

http://www.software-shop.com/in.php?mod=ver_producto&prdID=19,09-02-2011.

Luego de haber concluido el diseño y probado los cálculos, se procedió a simular el filtro en el oscilador digital de Proteus 7.7, comprobándose así la funcionalidad del filtro, que luego fue corroborada en la parte práctica.

Figura 3.18 Comprobación del filtro pasa–altos en el Oscilador Digital de Proteus 7.7



Fuente: Proteus 7.7 (Diseño y Simulación de Circuitos)

Como se puede apreciar en la imagen existen dos señales: la señal que está ingresando al filtro (color amarillo) y la señal de salida (color azul), por lo tanto, ésta última es el resultado del filtraje de la señal de entrada, es decir, se muestra la atenuación que se conseguirá con el filtro pasa-altos de 60 dB/década al aplicarse en la frecuencia de corte de los 80Hz, lo que se traducirá en un cambio totalmente notorio al momento de escuchar la señal con y sin filtro.

CAPÍTULO IV

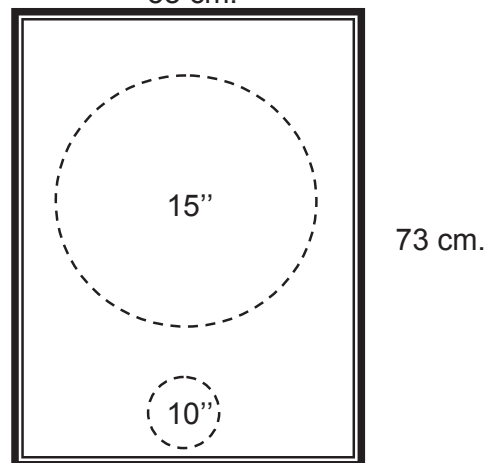
DISEÑO

4.1 DIAGRAMA DEL DISEÑO PROTOTIPO DEL GABINETE ACÚSTICO

Al tener las medidas del gabinete, obtenidas previamente el gabinete quedaría de la siguiente forma:

Parte delantera

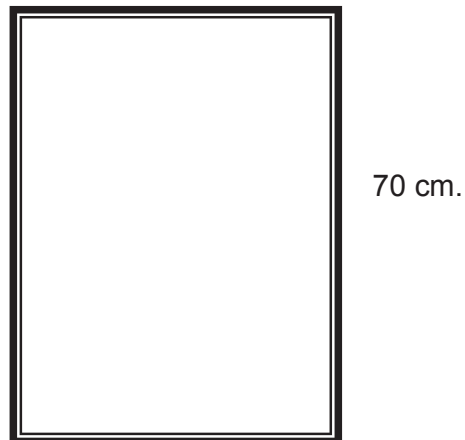
Figura 4.1 Tapa Delantera
58 cm.



Elaborado por: El Autor

Parte posterior

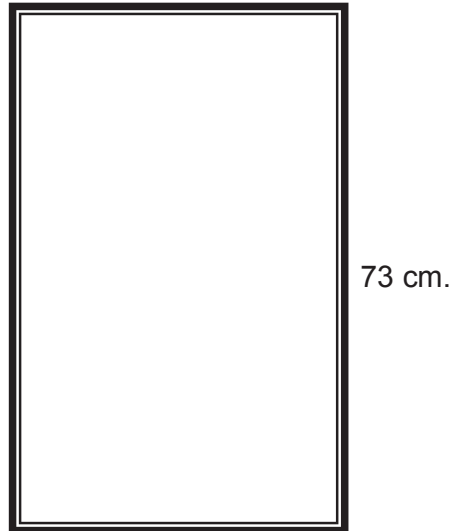
Figura 4.2 Tapa Posterior
55 cm.



Elaborado por: El Autor

Tapas Laterales x2

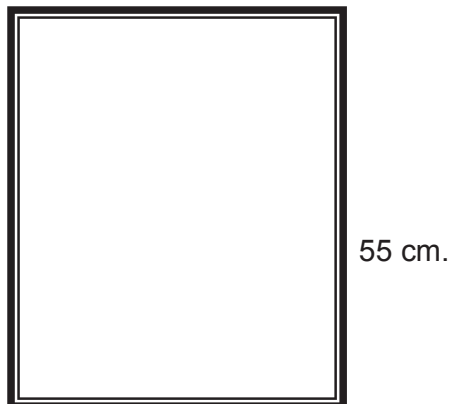
Figura 4.2 Tapas Laterales
45,5 cm.



Elaborado por: El Autor

Base y Techo

Figura 4.3 Base y Techo
45,5 cm.



Elaborado por: El Autor

Estas medidas están considerando el ancho de la madera que es de 1,5 cm. para el acabado final, se puede dar diferentes acabados, en nuestro caso se recubrió el Gabinete de alfombra.

4.2 DIAGRAMA DEL DISEÑO PROTOTIPO DEL FILTRO PASA-ALTOS

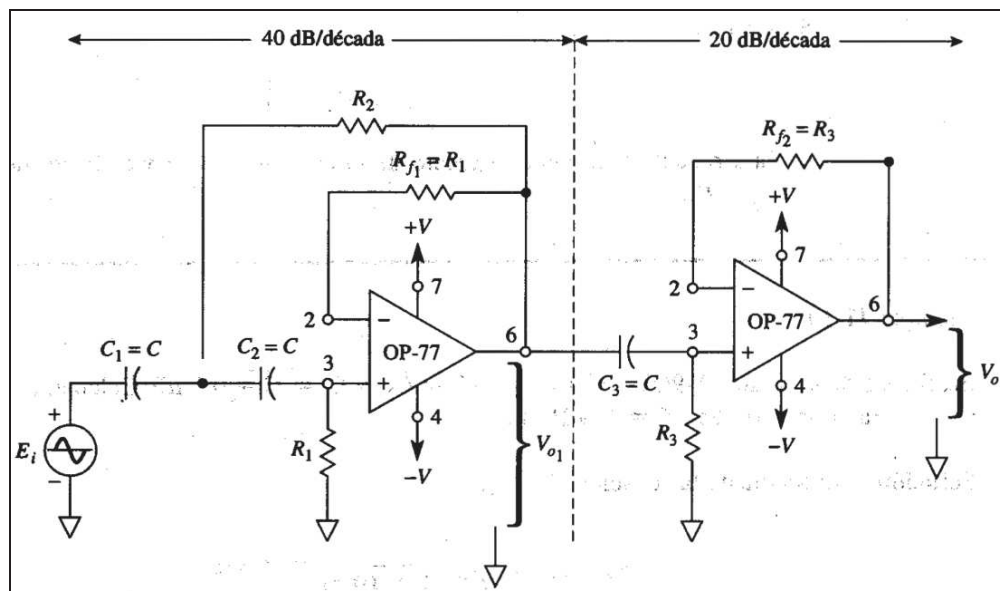
4.2.1 Cálculos

Para el diseño se utilizaron los siguientes valores, calculados con las ecuaciones (3.8), (3.9) y (3.10):

- a) Frecuencia de corte = 80 Hz
- b) $C_1=C_2=C_3=0.1\mu\text{F}$
- c) Resolviendo la ecuación (3.8)
 $R_3=19.8\text{k}$
- d) Aplicando la ecuación (3.9)
 $R_1=39.8\text{k}$
- e) Por medio de la ecuación (3.10)
 $R_2=10\text{k}$

4.2.2 Diagrama de Conexión

Figura 4.4 Filtro pasa-altos para una pendiente de 60 dB/década.



Fuente: Fuster Clara Pérez, "Electrónica Analógica Integrada", Servicio de Publicaciones, Año 1993.

4.3 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL AMPLIFICADOR

Tomando en cuenta el presupuesto y las facilidades que presenta el amplificador, se optó por adquirir uno que normalmente se usa en cajas amplificadas, por dos puntos muy importantes, el primero es que se necesitaba un amplificador de mucha potencia, éste es de 450w, una potencia muy adecuada considerando que al altavoz BW 1505DT-08 es de 350w, por lo tanto se podrá esperar que tenga un alto rendimiento; la segunda opción viene relacionada a la potencia de alimentación, ya que otros amplificadores necesitaban una potencia de alimentación de 50v por lo que requerirían de una fuente de alimentación externa, mientras que este amplificador tiene la potencia de alimentación de 110v lo que significa que puede ser conectado directamente a una red eléctrica convencional. Además de contar con algunos detalles, como una sección de ecualización, conectores XLR hembra, conector Jack 1/4, entre otros.

Figura 4.5 Amplificador utilizado para alimentar el sistema.

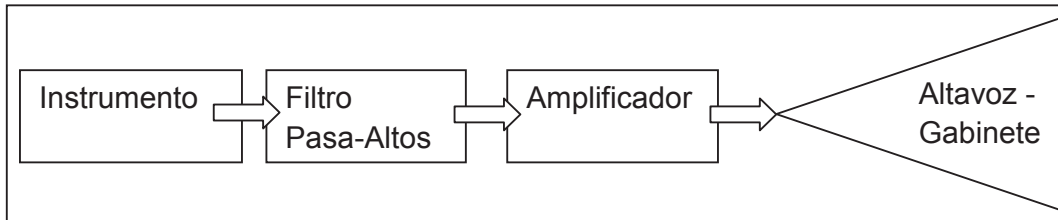


Elaborado por: El Autor

4.4 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL SISTEMA

Luego de tener todos los elementos listos, se procede a colocarlos de la siguiente manera:

Figura 4.6 Esquema teórico de conexión entre todos los elementos.



Elaborado por: El Autor

Se debe tener en cuenta, que en el diseño del filtro pasa-altos la sección de entrada donde se va a conectar la guitarra o el bajo eléctrico es de alta impedancia para que pueda funcionar de manera correcta cualquier instrumento, a esa señal se le aplica el filtraje el cual va a tener una fuente de alimentación externa, luego pasa a ser amplificada y finalmente reproducida por el parlante.

Figura 4.7 Esquema práctico de conexión entre todos los elementos.



Elaborado por: El Autor

CAPÍTULO V

COSTOS

5.1 COSTO DEL AMPLIFICADOR CON GABINETE PROTOTIPO

El costo del Amplificador con Gabinete es:

Tabla 5. 1 Costo del Amplificador con Gabinete Prototipo*

ITEM	PRECIO
FABRICACIÓN GABINETE	\$ 75
ALTAVOZ PEAVEY BW-1505-8	\$ 175
AMPLIFICADOR 450W	\$ 180
FILTRO PASA-ALTOS	\$ 70
TOTAL	\$ 500

Elaborado por: El Autor

*Se tomaron en cuenta precios de fábrica sin ningún tipo de descuento.

5.2 PROFORMAS DE PRECIOS

5.2.1 Proformas Empresas Pro-Dj, Electrónica Omega y Casa Musical IDM

Tabla 5. 2 Costo del Amplificador con gabinete Prototipo Proforma A

ITEM	PRECIO
FABRICACIÓN GABINETE	\$ 65
ALTAVOZ PEAVEY BW-1505-8	\$ 165
AMPLIFICADOR 450W	\$ 185
FILTRO PASA-ALTOS	\$ 60
TOTAL	\$ 475

Elaborado por: El Autor

5.2.2 Proformas Empresas Casa Musical Amador Jiménez, Electrónica Omega y Casa Musical IDM

Tabla 5. 3 Costo del Amplificador con gabinete Prototipo Proforma B

ITEM	PRECIO
FABRICACIÓN GABINETE	\$ 75
ALTAVOZ SELENIUM	\$ 250
AMPLIFICADOR 450W	\$ 150
FILTRO PASA-ALTOS	\$ 70
TOTAL	\$ 545

Elaborado por: El Autor

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 RESPUESTA DEL AMPLIFICADOR

Existe un cambio sustancial cuando la señal de la guitarra eléctrica pasa por el filtro pasa–altos, normalmente el altavoz tiene un rango de frecuencia de 20 a 5K Hz, mientras que al poner en marcha el filtro el rango quedaría de 80 a 5kHz, filtrando las frecuencias bajas que generalmente suelen “ensuciar” el valor tímbrico de la guitarra. Se consiguió un muy buen filtraje aplicando el filtro en cuatro secciones iguales obteniendo una atenuación en teoría de 240dB por década a partir de la frecuencia de corte.

6.2 POSIBILIDADES REALES DE FABRICACIÓN

Considerando las posibilidades, se puede concretar:

La creación del gabinete acústico es muy probable y no considera una inversión tan fuerte económicamente hablando, mientras que si se elige un altavoz correcto, similar al utilizado, el resultado puede ser muy notorio. La clave de la fabricación está en la sección de amplificación y el filtro, puesto que si se fabricaría en masa, ambos deberían estar dentro de un mismo componente para dar mayor comodidad al usuario. Otro punto que podría abaratar costos es el uso de un altavoz de menor potencia, ya que uno de los gastos más importantes está directamente relacionado a la etapa de amplificación. Podría significar un gran ahorro a las personas que practican ambos instrumentos, guitarra y bajo eléctrico, o tienen una banda; puesto que se puede utilizar en ambos casos, significaría el ahorro en la compra de otro amplificador, además por sus condiciones se presenta mucho más atrayente para el comprador, debido a su gran potencia, sección de filtraje y ecualización, a un precio considerable.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Es posible diseñar un gabinete acústico con su respectivo amplificador, para que se pueda conectar un bajo y una guitarra eléctrica indistintamente, tomando en cuenta un altavoz para bajo eléctrico y filtrando la señal a través de un filtro pasa-altos al momento de conectar la guitarra eléctrica.
- Cada instrumento, bajo y guitarra eléctrica posee su propia impedancia, el bajo eléctrico necesita de alta impedancia, alrededor de los 500 K Ω , mientras que la guitarra eléctrica trabaja a un poco menos de la mitad; por lo que si se descuida este detalle existen muchas probabilidades de que se termine dañando el amplificador.
- El Rango de Trabajo que posee cada instrumento, bajo y guitarra eléctrica es muy similar, la diferencia se encuentra en las bajas frecuencias, alrededor de los 80 Hz, donde en el bajo se vuelven indispensables y menos importantes en la guitarra eléctrica.
- La relación amplificador - altavoz deber ser bastante equitativa, puesto que ambos dependen entre sí, por lo tanto es muy importante que se tenga en cuenta ya que si un amplificador tiene muy poca potencia, el altavoz ni siquiera sonará; mientras que si es demasiado fuerte se corre el riesgo de quemar el altavoz.
- En lo referente a establecer un Rango de Frecuencia real, existe todavía mucho por desarrollar en cuanto a métodos alternativos para su cálculo,

al igual que una sala anecoica donde se puedan realizar las mediciones correspondientes.

- Existe un mercado con muchas falencias en cuanto a adquirir equipos electrónicos se refiere, puesto que en su gran mayoría deben ser importados desde el exterior como es caso de los amplificadores en kits para armar.
- El diseño, construcción y cálculo del filtro pasa–altos, fue de difícil asesoría ya que generalmente estos filtros vienen completamente elaborados (entiéndase con su frecuencia de corte designada), mientras que, montarlos desde cero constituye un reto que pocos entendidos en la materia se atreven a realizar.
- Un buen diseño del gabinete con Bass – Reflex, se puede comprobar auditivamente, si el gabinete al momento de reproducir bajas frecuencias a alto volumen no “sopla”, es decir, no se produce un viento de alta velocidad en la salida de la “puerta”; esto comprueba que la “puerta” conjuntamente con la caja están funcionando bien.
- Teniendo en cuenta que el altavoz es de 350 Watts, todo el sistema puede funcionar para lugares medianos, salas de ensayo y al aire libre, e incluso tener un buen volumen al tocar en una banda con una batería amplificada.
- Todo el sistema operando: instrumento, filtro pasa–altos, amplificador, altavoz y gabinete puede ser rentable en su construcción y reemplazar a dos amplificadores individuales de bajo y guitarra eléctrica, con el detalle que solo se puede conectar un instrumento a la vez.

7.2 RECOMENDACIONES

- Debido a la complejidad de la electrónica involucrada en la elaboración del filtro pasa–altos; es totalmente recomendable recibir asesoría calificada, tanto en la parte teórica como en la parte del montaje, ya que algunos componentes pueden sufrir averías debido a un diseño mal calculado.
- Para la elaboración del gabinete, se recomienda siempre tener en cuenta el grosor de la madera a utilizar puesto que este detalle aumenta las dimensiones finales del trabajo y si se descuidan, podrían llevar a un diseño erróneo en la práctica y correcto en la teoría.
- Es recomendable tener en cuenta el presupuesto, debido a que algunos equipos como amplificadores pueden llegar a significar un gasto importante, es decir, tener en claro cuánto se puede gastar para que este punto no signifique una limitación en el trabajo.
- Se podría ahondar en el trabajo realizando variaciones en la frecuencia de corte o aumentando filtros, para obtener diferentes tipos de respuesta de frecuencia dependiendo del instrumento a utilizar.

BIBLIOGRAFÍA

INTERNET

- Equipos Domésticos. (s. f.). *Amplificadores*. Recuperado Agosto 30, 2011, a partir de <http://www.estudiomarhea.net/manualc05.htm>
- Etapas de Potencia. (s. f.). *Etapa de potencia*. Recuperado Agosto 30, 2011, a partir de <http://www.estudiomarhea.net/manualc09.htm>
- AMEXCO S.A. (s. f.). *Micrófonos*. Recuperado Agosto 27, 2011, a partir de http://www.amexcosa.com/online.php?cod=proaudio&sip=micrófono&_pagi_pg=6
- Amplificadores de audio.pdf (s. f.). Recuperado a partir de [http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkasleLanak/Amplificadores de audio.pdf](http://aholab.ehu.es/users/imanol/akustika/lkasleLanak/Amplificadores%20de%20audio.pdf)
- Conectores de Audio. (s. f.). Recuperado Febrero 09, 2011, a partir de <http://ramonfreire.cl/musicaysonido/aprender-sonido-gratis-conectores-de-audio/>
- Bass Reflex. (s. f.). Recuperado Junio 25, 2011, a partir de <http://www.duiops.net/hifi/enciclopedia/bass-reflex.htm>
- Caja Amplificada 15"- Instrumentos Musicales. (s. f.). Recuperado Octubre 25, 2011, a partir de <http://guayaquil.olx.com.ec/caja-amplificada-15-usb-sd-fm-c-r-iid-161218147>
- ¿Cajon sellado o ventilado? (s. f.). Recuperado Septiembre 28, 2011, a partir de <http://nipponpower.com.mx/foro/showthread.php?50469-Cajon-sellado-o-ventilado/%20page2>
- Comprandounamplificador.pdf (s. f.). Recuperado a partir de <http://www.gruposmusicalesparroquiales.org/tecnica/Comprandounamplificador.pdf>
- Computadora portatil HP Pavilion tx2000 Tablet PC. (s. f.). Recuperado Febrero 14, 2011, a partir de <http://tecnomagazine.net/2008/01/07/computadora-portatil-hp-pavilion-tx2000-tablet-pc/>

- David Diaz Leon. (s. f.). Cambios tecnológicos: transistor micrófonos, estudios. Recuperado Febrero 14, 2011, a partir de <http://daviddiazdeleon.wordpress.com/2011/09/29/cambios-tecnologicos-bulbo-transistor-antenas-microfonos-estudios/>
- Definición de ruido rosa. (s. f.). *Definición de Ruido Rosa*. Recuperado Junio 22, 2011, a partir de <http://www.definicion.org/ruido-rosa>
- Ruido rosa, blanco y rojo. (s. f.). Recuperado abril 16, 2011, a partir de <http://www.doctorproaudio.com/content.php?153-ruido-rosa-blanco-y-rojo>
- Ecualizadores. (s. f.). *Ecualizadores*. Recuperado Julio 18, 2011, a partir de <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Otros/Audio/html/ecualizadores2.html>
- El Módem» Mini parlante rocker. (s. f.). Recuperado Febrero 14, 2011, a partir de <http://www.elmodem.com/archivo/2008/11/20/mini-parlante-rocker/>
- Filtros pasivos. (s. f.). Recuperado Junio 17, 2011, a partir de http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/filtros_pasivos/filtros_pasivos.html
- Filtros pasivos y activos de audio. (s. f.). *Filtros pasivos y activos de audio*. Recuperado Julio 25, 2011, a partir de <http://www.hispavila.com/3ds/tutores/filtros.html>
- IIR Filters. (s. f.). *IIR Filters*. Recuperado Octubre 14, 2011, a partir de http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361D-01/lvanlsconcepts/iir_filters/
- Ing. Adriano Sabez Frisson. (s. f.). Micrófonos de Medición Acústica. Recuperado Agosto 26, 2011, a partir de <http://adrianosabez.blogspot.com/2011/02/microfonos-de-medicion-acustica.html>
- Instrumentos Musicales. (s. f.). Recuperado Febrero 14, 2011, a partir de <http://invisiblemusic.com.ar/verproductos.php?prod=instrumentos&id=bajos>

- Jake Amps - Teoría. (s. f.). Recuperado Octubre 29, 2011, a partir de <http://www.jakeamps.com.ar/teoria.shtml#volumen>
- Linkwitz-Riley Crossovers: A Primer. (s. f.). *Filtro Linkwitz-Riley*. Recuperado Octubre 14, 2011, a partir de <http://www.rane.com/note160.html>
- Nomograma. (s. f.). Recuperado Agosto 25, 2011, a partir de <http://www.ecured.cu/index.php/Nomograma>
- Parámetros Thiele-Small. (s. f.). Recuperado Junio 16, 2011, a partir de http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/analisisaltavoces/thiele.htm
- ¿Qué es la Respuesta en Frecuencia? (s. f.). *Qué es la Respuesta en Frecuencia?* Recuperado Junio 19, 2011, a partir de <http://www.nocturnar.com/forum/musicos/423276-que-respuesta-frecuencia.html>
- Real Time Analyzer: Vibration Analysis: FFT Spectrum Analyzer: Vibration Testing: SpectraPlus.com. (s. f.). Recuperado Julio 02, 2011, a partir de <http://www.spectraplus.com/>
- Filtros de Butterworth. (s. f.-a). *Filtros de Butterworth*. Recuperado Octubre 10, 2011, a partir de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001603/lecciones/cap9/cap9lec6/cap9lec6.htm>
- Filtro de Chebyshev. (s. f.-b). *Filtro de Chebyshev*. Recuperado Octubre 10, 2011, a partir de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001603/lecciones/cap9/cap9lec7/cap9lec7.htm>
- Sr. Ricardo Teruel. (s. f.). Apuntes para clases de Ricardo Teruel: Filtros. Recuperado Septiembre 14, 2011, a partir de <http://rtapuntes.blogspot.com/2010/03/filtros.html>
- TensionAlterna.pdf (s. f.). Recuperado a partir de <http://www.solecmexico.com/electronica/TensionAlterna.pdf>
- World of Guitars. (s. f.). Recuperado Febrero 14, 2011, a partir de <http://elmundodelasguitarra.galeon.com/>

LIBROS

- ALDEN Ray, “Advanced Speaker Design”, Cengage Delmar Learning, Año 1995.
- DICKASON Vance, “The Loud Speaker Design Cookbook”, Audio Amateur Press, Año 2006.
- FUSTER Clara Pérez, “Electrónica Analógica Integrada”, Servicio de Publicaciones, Año 1993.
- MIYARA Federico, “Acústica y Sistemas de Sonido”, Cuarta Edición, Año 2004.
- MIYARA Federico, “Filtros Activos”, Segunda Edición, Año 2004
- PEREIRA Hernández Miguel, “Amplificadores de Audio”, Año 2005

ANEXOS

ANEXO 1

RTA-M



Fuente: <http://www.dbxpro.com/RTA%20Mic/index.php>

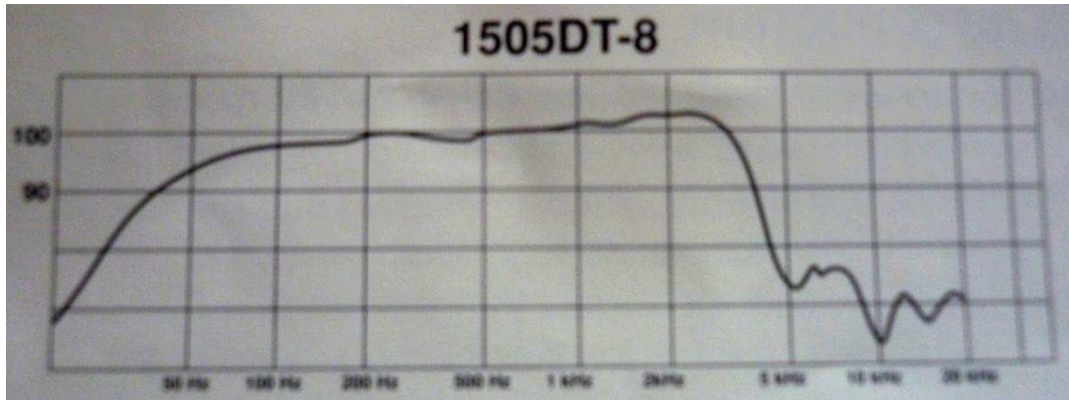
Características

- Patrón Polar: Omnidireccional
- Elemento: Condensador-Electret
- Respuesta de Frecuencia: 20 Hz - 20 kHz
- Impedancia: 250 30% (a 1000Hz)
- Sensibilidad : -63 dB +-3 dB (0 dB=1V/ microbar 1000 Hz indicada por circuito abierto)
- Voltaje de Operación: Phantom Power 9V-52VDC ²⁸

²⁸ Texto tomado de la página web
<http://www.dbxpro.com/RTA%20Mic/index.php>, 25-06-2011.

ANEXO 2

Curva de Respuesta de Frecuencia del Altavoz Peavey BW 1505DT-08



Fuente: Catálogo Peavey BW 1505-08.