

TEMA 5: LA ECUALIZACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El *ecualizador* es el elemento que permite modificar a nuestro gusto la *curva de respuesta en frecuencia* de nuestro sistema de audio. Esta modificación la realiza con el empleo de *filtros* que alteran la señal recibida. Veamos primeramente qué es la curva de respuesta en frecuencia y qué son los filtros.

La *curva de respuesta en frecuencia* de una instalación de audio es la representación gráfica de la intensidad sonora respecto a la frecuencia a la cual se emite. Se obtiene posicionando en la zona de escucha un sonómetro junto con un analizador de espectro que pueda representar de manera gráfica esta curva.

Si esta representación es una línea horizontal (ideal) supone que no hay ninguna pérdida ni ganancia de intensidad sonora para ninguna frecuencia. Lo habitual es que para algunas frecuencias haya una pérdida de señal (atenuación) y que para otras haya una ganancia (amplificación). La misión del ecualizador será la de corregir estas variaciones realizando la acción inversa a la respuesta en frecuencia inicial. Así intentaremos obtener una respuesta final plana.

Esta acción se realiza con la ayuda de los *filtros*. Los filtros nos permiten modificar la señal que reciben. Dejan pasar a su través una parte de la señal inicial diferente dependiendo de su funcionamiento.

La parte que dejarán pasar estará limitada entre la *frecuencia de corte inferior* y la *frecuencia de corte superior*. Ambas se corresponden con las frecuencias mínimas y máximas que permite pasar a través el filtro.

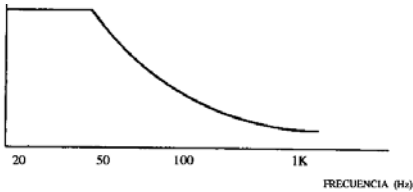
2. TIPOS DE FILTROS

Dependiendo del tipo de modificación que efectúan sobre la señal recibida, distinguimos varios *tipos de filtros*:

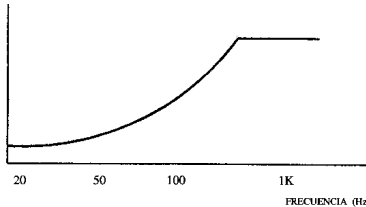
- **Filtros pasa bajos** (LOW PASS FILTER (LPF)): Son filtros que dejan pasar las frecuencias bajas y se oponen al paso de las altas. La frecuencia de corte inferior es de 0 Hz, ya que permiten pasar todas las frecuencias por debajo de un determinado valor. La frecuencia de corte superior es la frecuencia máxima que dejará pasar el filtro.
- **Filtros pasa altos** (HIGH PASS FILTER (HPF)): Son los opuestos a los anteriores. Pasan las frecuencias altas e impiden el paso de las bajas. El corte superior es infinito, y el corte inferior es la menor señal que pasa.
- **Filtros pasa banda**: Son los filtros compuestos de los anteriores. Mientras en los dos casos anteriores existía una zona de bloqueo de señal y otra de paso de la señal, en estos filtros existe una zona de paso de la señal que está comprendida entre dos zonas de bloqueo. Permite el paso de todas las señales cuyas frecuencias se encuentran comprendidas entre dos límites. Estos son los límites anteriores de corte superior e

inferior Las frecuencias que no se encuentren dentro de este margen no superarán el filtro El filtro pasa bajos fijará la frecuencia de corte superior y el pasa altos la inferior.

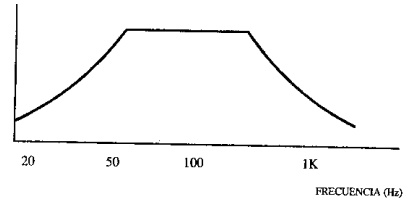
• **Filtros Notch** o de rechazo de banda: Son filtros que tienen una misión opuesta a los anteriores, es decir, permitir el paso de todas las frecuencias, excepto de una para la que presentan una gran atenuación. Este tipo de filtro, por tanto se usará cuando queramos eliminar una banda concreta, por ejemplo, una interferencia.



Filtro Pasa bajos



Filtro Pasa Altos



Filtro Pasa Banda

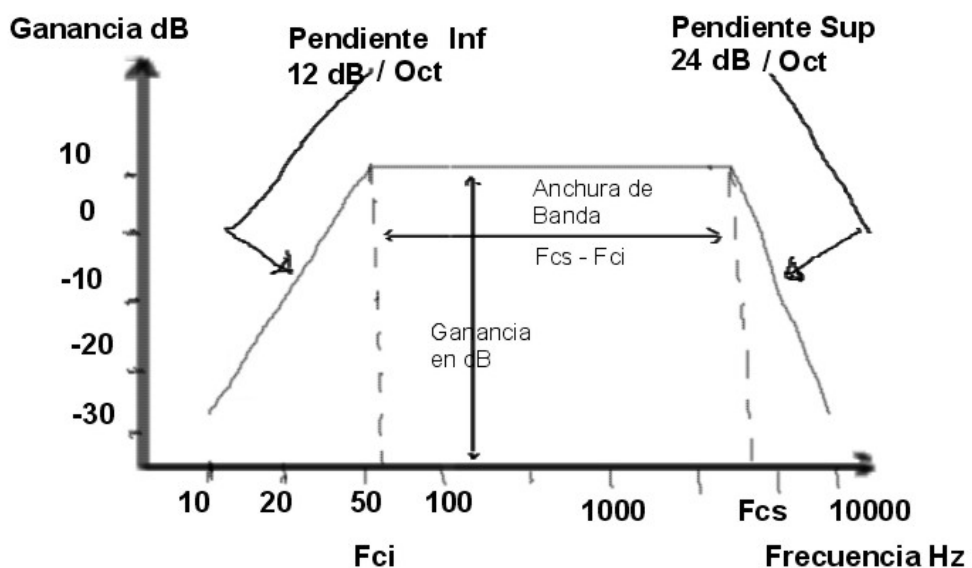
3. ORDEN DE UN FILTRO

Además, los filtros los podemos clasificar en función de la pendiente de la atenuación que proporcionan. Así tendremos:

- Filtros de primer orden o 6 db por octava, o 20 dB decada
- Filtros de segundo orden o 12 db por octava, o 40 dB decada
- Filtros de tercer orden o 18db por octava, o 60 dB decada

y así sucesivamente

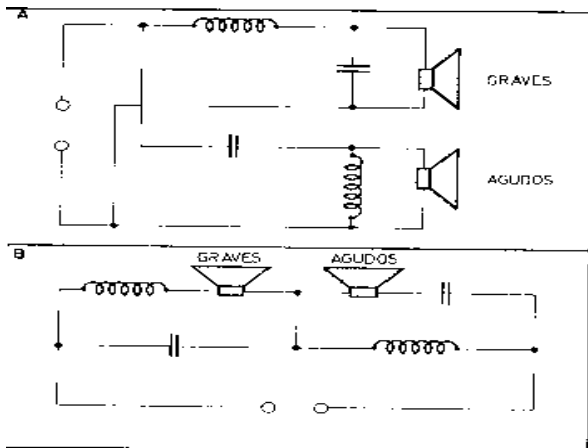
Evidentemente, cuanto mayor sea el orden de un filtro, más fuerte será la pendiente de su caída, y por tanto, más parecido a un filtro ideal.



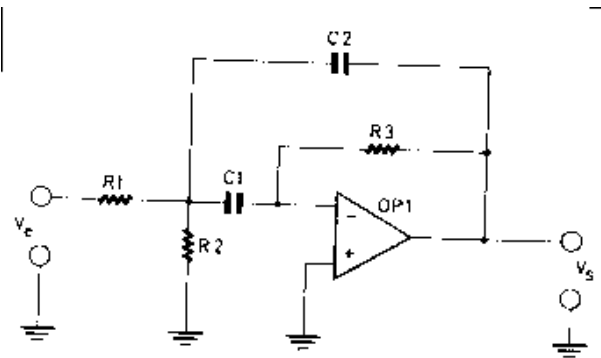
Principales parámetros en un filtro pasa banda

4. FILTROS ACTIVOS Y FILTROS PASIVOS.

Entendemos por filtro activo aquél que incorpora algún elemento amplificador, mientras que los pasivos, están constituidos únicamente por atenuadores. Podemos encontrar filtros pasivos RC, que son de primer orden, filtros pasivos LC, que son de segundo orden y filtros activos con operacional, que son de 2º orden.



Filtro pasa banda 2º orden del tipo LC

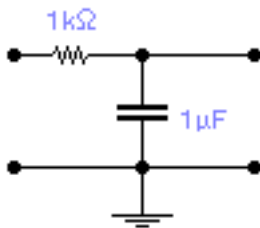


Filtro pasa banda de 2º orden activo, A.O.

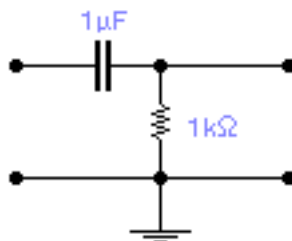
Filtros RC

Constituyen el tipo más sencillo de filtro. Presentan una atenuación típica de 6db por octava (1 orden). La frecuencia de corte viene dada por la expresión:

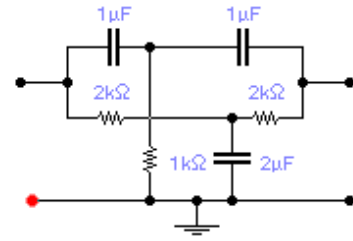
$$F_c = 1 / 2\pi RC$$



Filtro pasa bajos RC



Filtro pasa altos RC



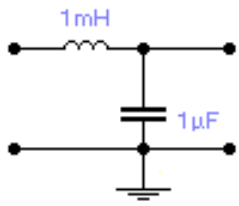
Filtro NOTCH RC (fo=1/4πRC)

Filtros LC

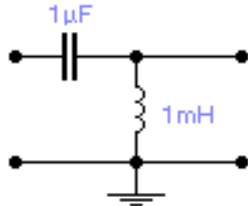
Al igual que los anteriores, son filtros pasivos. Se basan en el comportamiento inductivo capacitivo, en función de la frecuencia. Constituyen filtros de 2º orden.

En general, la frecuencia de corte, vendrá dada por:

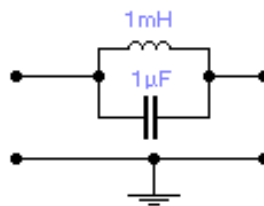
$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



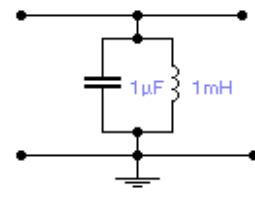
Filtro pasa bajos



Filtro pasa altos



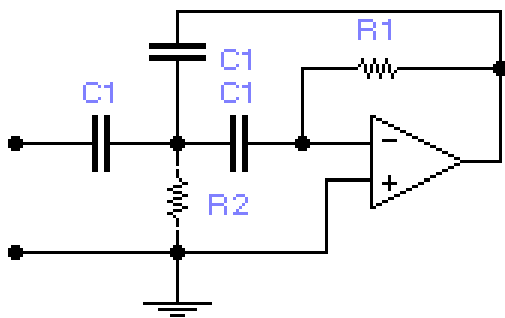
Trampa o filtro notch



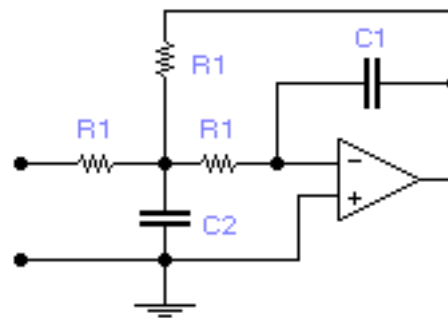
Filtro pasa banda

FILTROS CON OPERACIONAL (2º orden)

En la figura vemos diferentes tipos de filtros que utilizan amplificador operacional.



Filtro pasa altos



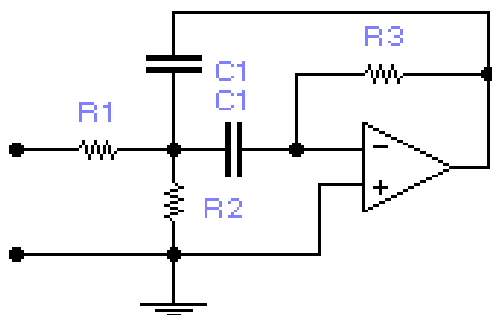
Filtro pasa bajos

En estos dos tipos de filtros, podemos calcular la frecuencia de corte con las ecuaciones:

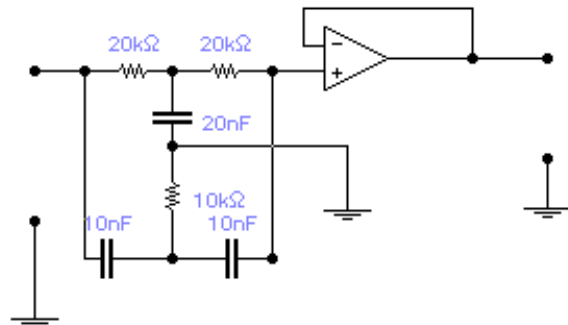
$$f_o = \frac{1}{2\pi C1 \sqrt{R1R2}}$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi R1 \sqrt{C1C2}}$$

Respectivamente para los filtros pasa alto y bajo.



Filtro pasa banda



Filtro de rechazo de banda

Filtro pasa banda:

En estos filtros distinguimos:

Fo: Frecuencia central.

Fcs: Frecuencia de corte superior. Es aquélla en la que el nivel de salida cae 3dB con respecto a la frecuencia central.

FCI: Frecuencia de corte inferior. Es aquélla en la que el nivel de salida cae 3dB respecto de la central (ahora por debajo).

BP: banda pasante. Es la diferencia entre la frecuencia de corte superior e inferior.

Q: factor de calidad. Indica cuan estrecha es la curva de la banda pasante.(cuanto más alto más estrecha).

Las siguientes ecuaciones nos permitirán calcular filtros pasa banda.

$$Q = \frac{f_o}{B_p} \quad B_p = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad f_o = \frac{1}{2\pi C_1 \sqrt{\frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \times R_3}}$$

$$f_{cs} = \frac{B_p}{2} (\sqrt{1 + 4Q^2} + 1) \quad f_{ci} = \frac{B_p}{2} (\sqrt{1 + 4Q^2} - 1)$$

Filtro Notch o de rechazo de banda

La frecuencia de corte viene dada por :

$$f = \frac{1}{4\pi RC}$$

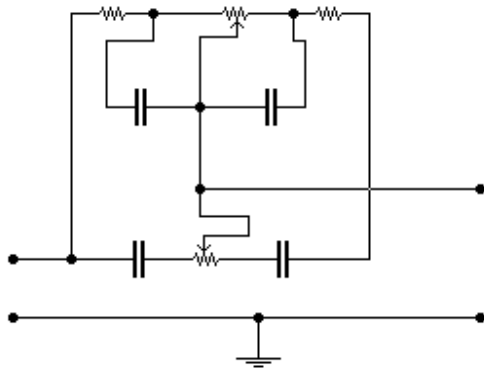
Teniendo en cuenta los valores de R y 2R que se observan en la figura. El ancho de banda es de 4fo, por lo que el factor de calidad (Q) de estos filtros es bajo (sólo de 0.25).

Las frecuencias de corte inferior y superior, podemos calcularlas con las ecuaciones anteriores.

5. CONTROLES DE TONALIDAD

Los controles de tonalidad permiten compensar los desequilibrios entre los distintos tonos de la señal, o simplemente adaptarla a nuestro gusto. El más utilizado es el tipo *Baxandall* Está diseñado para la escucha a niveles bajos (poco volumen), en los cuales existe una pérdida considerable de bajas frecuencias. Por tanto, tiende a realzar las bajas frecuencias. Es un tipo de control independiente para graves y agudos que permite atenuar o amplificar la señal de los agudos o los graves respecto a los medios.

Si ponemos en su posición máxima extrema el potenciómetro de agudos, y en la mínima el de graves, el sistema se convierte en un filtro pasa altos que atenúa las bajas frecuencias. Tendríamos un filtro pasa bajos si realizamos la acción inversa. Poniendo los potenciómetros en su posición media no realizamos ninguna alteración sobre la señal y la respuesta en frecuencia que ejercemos es plana. La variación de nivel sobre la señal que provocamos con estos correctores puede llegar a ± 10 decibelios, aunque en los equipos de calidad es menor porque se supone que se trabaja con señales que tienen menores necesidades de corrección.



Corrector de tonalidad baxandall

La frecuencia de corte inferior del filtro de agudos y la superior del filtro de graves son ajustables en algunos modelos.

El ecualizador no es más que un corrector de tonalidad mejorado. La diferencia que ofrece respecto a los correctores de tonalidad convencionales es que, mientras éstos sólo corrigen los extremos del espectro audible, el ecualizador puede actuar sobre toda la respuesta en frecuencia, con lo que puede corregirla de manera más eficaz.

6. ECUALIZACIÓN DE INTERIORES

La respuesta que ofrece una sala de escucha es muy diferente dependiendo del mobiliario que contenga y de la disposición de éste. Todos recordamos la diferencia entre la reproducción del sonido en una habitación vacía y una amueblada. A medida que hay más mobiliario el sonido suena más apagado, se reduce el eco que aparece en las salas vacías.

También la existencia de cortinas o tapizado en las paredes y su grosor afectarán en gran medida a la transmisión del sonido. La misión del ecualizador va a ser la de compensar las deficiencias acústicas de la sala. Pero lo hará sin modificar ésta. El mobiliario, las paredes, columnas, cortinas, es decir, todo lo que encontramos al entrar en una sala, absorbe o refleja las distintas frecuencias del espectro audible. Todo esto hace que se produzca una irregular distribución de la intensidad sonora de las ondas que le llegan al oyente provocando en la curva de respuesta en frecuencia la presencia de picos y valles que le confieren una forma que no es plana.

La respuesta del ecualizador debe ser la *inversa* a la del recinto. Realzará aquellas frecuencias que se pierdan y atenuará las que se ensalcen excesivamente. Sobre esto influye también el hecho de que parte de los sonidos que le llegan al oyente no provienen directamente de la fuente sonora. Son los sonidos reflejados o indirectos. Estos vienen afectados por la acción de los rebotes de las ondas sonoras a través de la sala y sus elementos.

Una consecuencia muy importante se deriva de este hecho: no tendremos la misma relación entre sonido directo e indirecto en todos los puntos de la sala. Esto es debido a que las ondas recorrerán distintos caminos y tardarán diferentes tiempos. Por tanto sólo es posible ecualizar correctamente una posición determinada en la cual se situará el oyente, ya que si la cambia obtendrá una respuesta en frecuencia de la sala que será diferente para este nuevo punto.

Por otra parte, el oído humano interpreta los sonidos directos de manera diferente a los indirectos. Los indirectos le informan del entorno, mientras que los directos lo hacen del mensaje.

Es aconsejable no emplear el ecualizador en interiores para frecuencias entre 300 y 5000Hz, si el problema acústico es debido a las características de la sala. Para el resto de frecuencias lo emplearemos para aplanar los picos y valles de la curva del recinto. Observaremos que no es necesario realizar un gran número de correcciones para tener una respuesta acústica bastante plana. Cuando se habla de plana se piensa que pueden aparecer ocasionalmente zonas en las cuales haya una desviación máxima de 2 decibelios sobre la línea ideal. Estas desviaciones no serán perceptibles para el oído humano.

Tengamos presente que una vez ajustado el ecualizador para una posición de escucha dentro del recinto, no habrá que modificarlo mientras no cambien las condiciones de éste.

7. ECUALIZACIÓN DE SISTEMAS DE MEGAFONÍA

En estos sistemas se presentan de manera habitual problemas de falta de inteligibilidad, realimentación acústica (lo que conocemos por el efecto Larsen), volumen, entre otros. Precisamente lo único que se desea es conseguir que se escuche con la mayor claridad posible a la persona que está hablando a través del micrófono. Sólo se pretende que se le entienda.

Cuando aumentamos el volumen observamos que llega un momento en el que aparece un molesto pitido (se acopla). Es el efecto Larsen. Éste sucede cuando el sonido emitido a través de los altavoces se vuelve a captar por el micrófono, pasa por el amplificador y llega de nuevo a los altavoces. Se produce una realimentación acústica.

Para evitarlo hemos de conseguir que la señal que llegue al micrófono procedente de los altavoces sea mínima. Ante esto caben diversas opciones: emplear micrófonos direccionales, orientar nuevamente todos los altavoces, disminuir el volumen de aquellos que estén cerca de los micrófonos. También es conveniente dejar abiertos sólo los micrófonos que se necesiten en cada momento.

Para asegurarnos que el control de volumen esté aun nivel adecuado deberemos tener la precaución de ajustarlo al punto en el cual empiece a producirse el efecto Larsen sobre el recinto vacío. Así, cuando esté lleno, el volumen será correcto, porque las personas absorben sonido. Con estas acciones solucionaremos el problema de la realimentación acústica.

A partir de este momento ya no podemos recurrir al aumento del volumen, tenemos asegurado que no nos aparecerá el efecto Larsen. Ahora hemos de aumentar la inteligibilidad. Se consigue reduciendo la reverberación y mejorando la calidad de la señal. La reverberación del local la reduciremos con el uso de cortinas anchas y alfombras gruesas.

Para aumentar la calidad lo que haremos es mejorar la respuesta del sistema para las frecuencias de la voz humana. Para realizar esto se empleará el ecualizador. Hemos de conseguir que la zona entre 100 Hz y 10 kHz tenga una respuesta lo más plana posible. Así será mayor la inteligibilidad. Hay que pensar que el hecho que la curva sea totalmente plana no es tan importante. Una desviación de 5 decibelios sobre ésta no es apreciable para la voz humana. El ajuste del ecualizador será aquel que garantice que todos los picos de la curva de respuesta estén al mismo nivel.

8. MODELOS DE ECUALIZADORES

En primer lugar hay que indicar que un ecualizador estereofónico, que es el que habitualmente encontraremos, se compone de dos ecualizadores monofónicos totalmente independientes. Hecha esta salvedad, existen dos modelos de ecualizadores: ecualizadores gráficos y Paramétricos.

Antes de ver en detalle ambos modelos es necesario explicar una serie de parámetros que existen en todos los ecualizadores.

La frecuencia central (f_c) es el valor sobre el que actúa cada filtro. Corresponde al valor sobre el cual su acción será máxima.

El ancho de banda (BANDWIDTH (BW)) determina la amplitud de la zona de trabajo. Se suele expresar de manera porcentual en los ecualizadores que presentan este potenciómetro. Indica la extensión a ambos lados de la frecuencia central que abarca la corrección efectuada por el filtro. Un valor grande indica una actuación sobre un rango de frecuencias muy grande. Con un valor pequeño actúa sobre una zona pequeña.

El factor Q o selectividad indica la pendiente que tiene la curva de actuación del filtro. Cuanto menor sea este valor, la acción del filtro será más uniforme dentro de su ancho de banda. Un Q alto indica un ancho de banda pequeño.

La ganancia (GAIN) es la cantidad de amplificación o atenuación que provoca el filtro sobre la señal. Se expresa en decibelios para cada filtro y suele oscilar entre ± 12 decibelios.

El ecualizador gráfico

Está compuesto por un cierto número de filtros selectivos cuyas frecuencias centrales están dispuestas de forma logarítmica. Esta distribución será a intervalos de una octava, en los modelos más comunes, y en tercios de octava en los de mayor calidad. El conjunto de todos estos filtros abarca en toda su amplitud el espectro audible.

Cada filtro tiene un control de ganancia con el que puede atenuar o amplificar la banda de frecuencia sobre la que actúa. Estos potenciómetros indican de manera gráfica

la cantidad de decibelios que pueden atenuar o amplificar. En la posición central (0 db) no realizan ninguna acción sobre la señal. Al estar situados estos potenciómetros de manera consecutiva según la frecuencia, la curva imaginaria que une sus posiciones se corresponde con la respuesta que ejerce el ecualizador sobre la señal. El calificativo de gráfico se debe a este hecho.

Los ecualizadores gráficos tienen las frecuencias centrales y el ancho de banda de cada filtro fijos. Esto significa que si existen más filtros (cortes o bandas), estos tendrán un ancho menor, siendo por tanto más selectivos.

Los ecualizadores de octava tienen sus frecuencias centrales aproximadamente en 32Hz, 64Hz, 125 Hz, 250Hz, 500Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz y 16 kHz. Para estos valores de frecuencia la actuación del ecualizador será máxima y será menor cuanto más nos alejemos de cada uno de estos valores (y de su valor más próximo). En los ecualizadores de tercio de octava se utilizan 30 filtros. El ajuste será, evidentemente, más completo con estos modelos.

El ancho de banda de cada uno de los filtros de estos ecualizadores se solapa con el de los filtros contiguos. Por esto, la acción de dos filtros consecutivos será mínima en el lugar en el que se solapen sus anchos de banda. Este lugar determina la actuación preferente de uno u otro filtro. Esto no supone que el otro no actúe, significa que su corrección será mucho menor cuanto más se aleje de éste.

La frecuencia central se obtiene como la media geométrica de las frecuencias de corte superior e inferior. Se emplean filtros que cumplen esta condición, que es la misma característica que ofrece el oído humano. Recordemos que nuestra escucha no es de forma lineal. Si f_1 y f_2 son las frecuencias de corte inferior y superior, obtenemos que f_c (fcentral) vale:

$$f_c = \sqrt{f_1 * f_2}$$

Así, para los filtros de octava (por definición) tenemos que se cumple la condición:

$$f_2 = 2 * f_1$$

por lo que sustituyendo en la fórmula anterior, obtenemos:

$$f_c = \sqrt{f_1 * 2 * f_1} = f_1 * \sqrt{2}$$

Ó lo que es lo mismo

$$f_1 = \frac{f_c}{\sqrt{2}}$$

El ancho de banda (que es la diferencia entre f_1 y f_2) valdrá:

$$BW = (f_2 - f_1) = (2 * f_1) - f_1 = f_1 = BW$$

Lo que, puesto en tanto por ciento sobre la frecuencia Central equivale al 70%(es decir, el ancho de banda será igual al 70% de la frecuencia central)
por.ejemplo:

Si $f_c = 250$ Hz, $BW = 175$ Hz, $f_1 = 175$ Hz y $f_2 = 350$ Hz

Si $f_c = 500$ Hz, $BW = 350$ Hz, $f_1 = 350$ Hz y $f_2 = 700$ Hz

En el caso de ecualizadores de 30 cortes, BW equivaldrá al 23% de f_c .

Comparando los valores del ecualizador de octavas (70%) y el de tercio de octavas (23%), observamos que éste es mucho más restrictivo. Es decir, cada uno de sus filtros trabaja sobre un margen más estrecho de frecuencias.

Hay que recordar que los ecualizadores que vamos a encontrar de manera habitual en el mercado disponen de dos secciones de filtrado independientes para los canales izquierdo y derecho del sistema. Sus acciones serán totalmente independientes. También suelen presentar un analizador de espectro que nos muestra de manera gráfica la distribución de la intensidad respecto a la frecuencia antes de entrar la señal al ecualizador. Es frecuente también la presencia de un selector de BYPASS o puenteado de la señal. Si está activo tenemos a la salida del ecualizador la señal sin ecualizar y la podemos comparar con la señal ecualizada. En modelos de alta calidad existen filtros *subsónicos* que nos permiten eliminar las frecuencias inferiores a 15 Hz. También hay modelos con generadores de *ruido rosa* (PINK NOISE) incorporado para realizar una ecualización más completa. Este generador, nos va a permitir ecualizar una sala, para conseguir la respuesta plana. Para ello, bastará insertar el **ruido rosa** (ruido cuyo nivel desciende 3 dB por octava, se usa para analizar el comportamiento de sistemas de sonido o salas de escucha, es un sonido parecido al que se oye cuando en un receptor de FM no sintonizamos ninguna emisora), en la cadena de audio, para desde un micrófono conectado al propio ecualizador, comprobar en el analizador de espectros, la respuesta de todo el conjunto, equipo-altavoces-sala.

Las ventajas que proporcionan este tipo de ecualizadores son la simplicidad en su manejo y su bajo costo. De un vistazo sabemos la corrección que estamos efectuando, que es la suma de las acciones individuales de cada uno de los filtros. La principal desventaja es que es bastante raro que las frecuencias centrales de los filtros se correspondan exactamente con las que presentan los valles y crestas de la curva a corregir

9. EL ECUALIZADOR PARAMÉTRICO

Es de manejo mucho más complejo que el anterior. Se diferencia en que todos sus parámetros son ajustables por el usuario (de ahí el nombre). Podemos escoger la frecuencia central de cada filtro, su ancho de banda, y le podemos dar o quitar ganancia. El factor Q suele ser constante para eliminar la interacción que hay entre los otros tres parámetros. Se utilizan para corregir problemas puntuales, localizando su frecuencia y actuando consecuentemente sobre ella.

En los dos extremos de la banda de frecuencia es habitual la presencia de un corrector de tipo Baxandall. Según el número de filtros paramétricos de que disponga

nuestro sistema podremos ajustar con mayor o menor precisión. Es usual un número no superior a cuatro para usos domésticos, aparte de los correctores de los extremos.

El ecualizador paramétrico nos permite posicionar los filtros en aquellos lugares exactos de la curva de respuesta en los que haya irregularidades. Una vez posicionados podremos ajustar el ancho de banda para que sea el más parecido posible al de la irregularidad (cresta o valle) y utilizar el control de ganancia de manera inversa a la acción de la curva. Así mejoraremos de manera ostensible la respuesta de nuestro equipo. Es evidente que para efectuar una corrección adecuada de valles y crestas se exige que todos los parámetros de los filtros sean ajustables a través de todo el espectro de audio.

10. CONEXIONADO DEL ECUALIZADOR

Como el ecualizador es un elemento que transforma toda la señal que recibe, es evidente que se ha de conectar a alguna toma en la que tengamos ésta de manera completa. Llevaremos la señal master al ecualizador y éste la entregará donde se enviaba antes de ecualizar, actuando de puente. Algunos amplificadores disponen de una salida estéreo *Preamp-out* y de una entrada estéreo *Main-in* que vienen puenteadas de fábrica. Estos serán los terminales para conectar nuestro ecualizador. Se hará con clavijas RCA habitualmente.

Si el amplificador carece de estos conectores, hay que emplear los conectores de la platina. Las salidas de platina (TAPE) del amplificador se conectan a las entradas de línea del ecualizador. Las entradas de platina del amplificador se conectan a las salidas de línea del ecualizador. Las entradas de TAPE del ecualizador con las salidas de línea de la platina, y las salidas de TAPE del ecualizador con las entradas de línea. Así actuará nuestra platina de puente.

También podemos conectar un ecualizador a cualquier fuente de sonido, su salida a la entrada del ecualizador, y la salida del ecualizador a la entrada correspondiente del amplificador. Así sólo afecta su acción a esta fuente.

Como idea final hay que recordar que si bien la función de los ecualizadores es linealizar la respuesta del equipo reproductor, en la práctica no es siempre esto lo que se busca, y que, por supuesto, también nos permitirán obtener una respuesta personalizada de la señal, no necesariamente lineal.