

FILTROS ACTIVOS PASO ALTO Y PASO BAJO

ACÉRQUESE A LA TEORÍA DE LOS FILTROS ACTIVOS PASO BAJO
Y PASO ALTO Y APRENDA CÓMO DISEÑARLOS.

Un filtro es un elemento constituido por una red especial cuya misión consiste en permitir el paso de señales en ciertas bandas de frecuencia, al mismo tiempo que atenúa en gran manera o suprime las bandas adyacentes no deseadas. La banda de frecuencia permitida se llama banda pasante, y la banda de frecuencia no deseada, banda atenuada o suprimida.

Con la aparición de nuevas tecnologías a lo largo de las últimas décadas, se ha desarrollado una nueva familia de filtros denominados activos que han superado con creces las limitaciones de los filtros hasta ahora convencionales. La composición básica de estos circuitos la constituye una red de elementos pasivos construida alrededor de un amplificador operacional. Los diferentes circuitos mostrados en este artículo han sido desarrollados utilizando como base el amplificador operacional 741, cuyas características han hecho de él un circuito estándar.

FILTROS DE AUDIO

Al igual que en otras frecuencias, los filtros más comunes y usados en los circuitos de audio son los

de paso bajo, paso alto, pasa banda y de banda, generalmente constituidos todos ellos por redes en "L", "T" o "π".

El circuito de filtro más simple empleado en audio está constituido por una resistencia y un condensador conectados en "L", tal como se muestra en la figura 1-a.

Partiendo de la ecuación de impedancia del condensador $X_C = 1/2\pi FC$, se deduce que el valor de ésta aumenta o disminuye inversamente al valor de la frecuencia F. El resultado es que el condensador C1 presente 2 comportamientos diferenciados a la señal de entrada, actuando como un circuito abierto o un cortocircuito, según sea la frecuencia de ésta.

A este tipo de filtro se le denomina de paso bajo ya que permite el paso de las bajas frecuencias derivando a masa las altas.

La frecuencia de corte de este filtro viene determinada por la ecuación $F_c = 1/(2\pi RC)$, y se define como el punto en el que la frecuencia de salida cae 3 dB. Una vez traspasado este punto el nivel de la señal disminuye a un régimen de 6 dB por octava, tal como se ve en la figura 1-b. De esto se deduce que un filtro paso bajo de, por ejemplo, 1 KHz atenuará unas señales de entrada de 4 y 10 KHz 12 y 20 dB, respectivamente.

En la figura 2-a se muestra otro ejemplo de filtro pasivo en "L" constituido por una resistencia y un condensador. En este caso, el condensador presenta el mismo comportamiento que el ejemplo anterior pero, al estar conectado de distinta manera en el circuito, produce el efecto contrario, dejando pasar las señales de alta frecuencia a la vez que atenúa las de baja a las que presenta una alta impedancia. A este tipo de filtros se les conoce como de paso alto, y su frecuencia de corte viene determinada por la misma ecuación que en el ejemplo anterior, siendo igual el régimen de atenuación a partir de este punto. Un filtro paso alto de, por ejemplo, 1 KHz atenuará una señal de 100 Hz, 12 dB.

Los 2 circuitos de filtro anteriormente descritos, compuestos por una resistencia y un condensador, se denominan filtros de primer orden. Si un número indeterminado de estos filtros se conectan en cascada, la denominación de orden que reciben será igual al número de circuitos de filtro conectados.

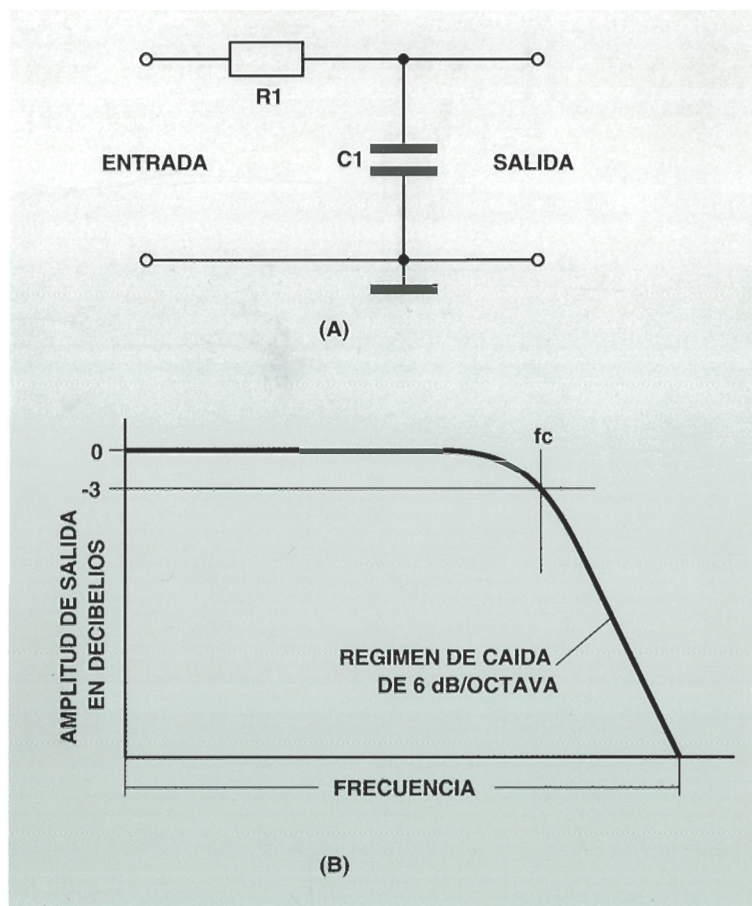
El circuito resultante de estos montajes en serie presenta la ventaja de mejorar la atenuación y el régimen de caída, más allá de la frecuencia de corte, en un factor igual al número de etapas de filtro utilizadas; por ejemplo, un filtro de cuarto orden paso bajo de 1 KHz presentará una caída pasada la frecuencia de corte de 24 dB por octava (6 dB/octava x 4), produciendo 48 dB de atenuación a una señal de 4 KHz (12 dB x 4) y 80 dB a una señal de 10 KHz (20 dB x 4).

CIRCUITOS DE FILTRO ACTIVO

La interacción de los distintos filtros pasivos de tipo RC conectados directamente en cascada afecta de manera adversa a las características del circuito resultante por lo que esta clase de montajes no es recomendable a no ser utilizando amplificadores operacionales con sus correspondientes redes de realimentación.

Este tipo de configuración da como resultado un circuito de filtro denominado filtro activo.

En la figura 3 se muestra el diagrama de un filtro activo paso bajo de segundo orden llamado BUT-



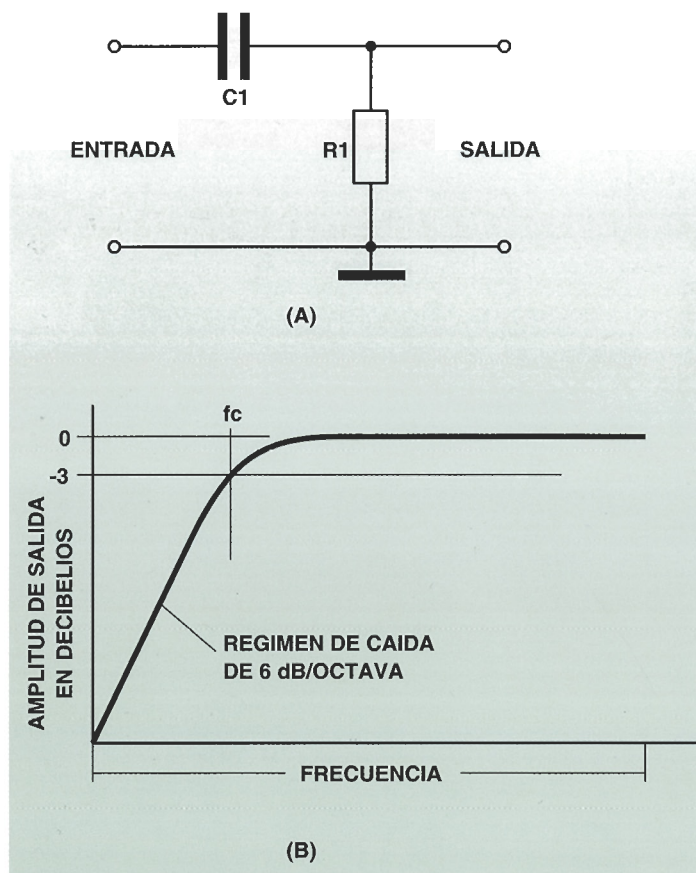
1.- (a) Filtro pasivo RC paso bajo de primer orden. (b) Curva de respuesta en frecuencia.

TERWORTH que presenta una ganancia homogénea a la banda pasante y una frecuencia de corte de 10 KHz. Este filtro ofrece una respuesta de aplanamiento máximo a la banda seleccionada combinado con la ausencia de picos de resonancia y un tiempo de asentamiento moderado.

La frecuencia de corte de este circuito viene determinada por la ecuación $F_c = 1/(2,83 \cdot \pi \cdot R_c)$, siendo el régimen de atenuación igual a 12 dB/octava, una vez traspasado este punto.

Con el objeto de acercar el circuito a las necesidades requeridas, el punto de corte se altera cambiando algunos de los valores de las resistencias y condensadores que conforman este filtro activo, siempre y cuando se respete la relación 1:2 entre el condensador C1 y el condensador C2. Esto presenta el inconveniente de tener que utilizar en muchos casos valores de condensador que no son estándar, por lo que son difíciles de encontrar, llegando incluso a no existir.

En la figura 4 se muestra un montaje alternativo de filtro paso bajo de segundo orden con una frecuencia de corte de 10 KHz que evita esta circunstancia asignando el mismo valor a varios de



2.- (a) Filtro pasivo RC paso alto de primer orden. (b) Curva de respuesta en frecuencia.

sus componentes; entre ellos los condensadores C1 y C2.

La frecuencia de corte de este filtro viene determinada por la misma ecuación que la aplicada al circuito RC pasivo inicialmente abordado.

El amplificador operacional 741 presente en ambos circuitos (figuras 3 y 4) proporciona una ganancia en tensión a través de las resistencias R1 y R2 de 4,1 dB, siempre que éstas tengan los valores reseñados en la figura 4.

En la figura 5 se indica cómo conectar en cascada 2 de estos circuitos de filtro construidos con componentes del mismo valor para obtener un filtro paso bajo de cuarto orden que proporciona un régimen de caída, tras pasado el punto de corte, de 24 dB/octava.

En este ejemplo, la relación de las 4 resistencias que determinan la ganancia del circuito es la siguiente:

para $R1/R2$, $39\text{ K}\Omega/5,87\text{ K}\Omega$ igual a 6,644 y para $R3/R4$, $39\text{ K}\Omega/48,5\text{ K}\Omega$ igual a 0,805, siendo la ganancia total del circuito de 8,3 dB.

Los valores de R2 y R4 pueden obtenerse conectando en serie 2 resistencias estándar del 5 por ciento, que igualen el valor exigido.

En la figura 6 se muestra un filtro paso alto de 100 Hz de segundo orden con ganancia homogénea a la banda pasante, en donde la resistencia R2 tiene un valor doble al de la resistencia R1.

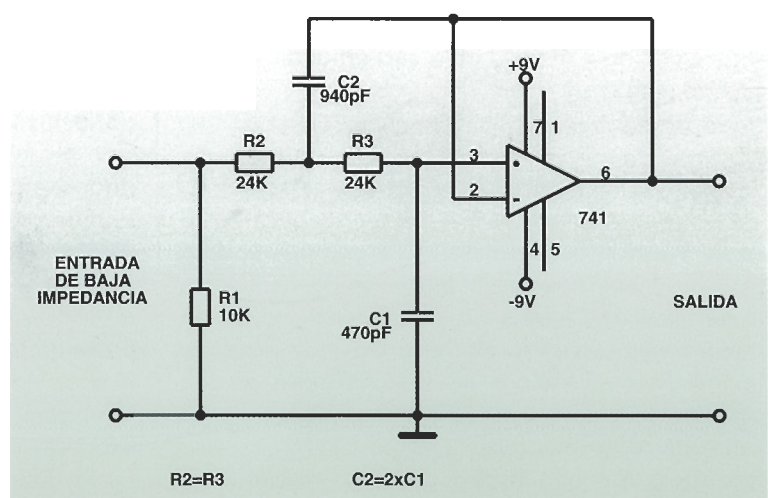
En la figura 7 se observa una versión de este filtro llevada a cabo con componentes del mismo valor ($R3 = R4$ y $C1 = C2$). En la figura 8 aparece un filtro paso alto de cuarto orden construido con 2 circuitos montados en cascada.

Las frecuencias de corte de los filtros de las figuras 4, 5, 6 y 7 pueden alterarse aumentando o disminuyendo los valores de las resistencias o condensadores de los circuitos.

En el filtro paso alto de la figura 7, los valores asignados a los condensadores son 1/3 de los valores originales con el objeto de elevar la frecuencia de corte de 100 Hz a 300 Hz; y en el filtro paso bajo de la figura 4, los valores originales de resistencia han sido multiplicados por 2,94

para reducir la frecuencia de corte de 10 KHz a 3,4 KHz.

En la figura 9 se muestra cómo pueden conectarse en serie 2 circuitos de filtro diferentes; como,

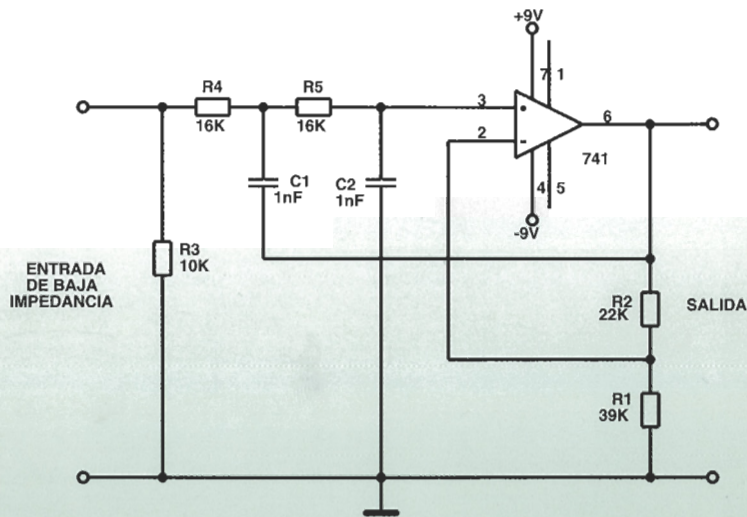


3.- Filtro activo paso bajo de segundo orden de 10 KHz con respuesta plana a la banda pasante.

por ejemplo, el de paso alto de la figura 7 y el de paso bajo de la figura 4 para obtener un filtro con una banda de paso de 300 Hz a 3,4 KHz con un régimen de atenuación más allá de la frecuencia de corte de 12 dB/octava.

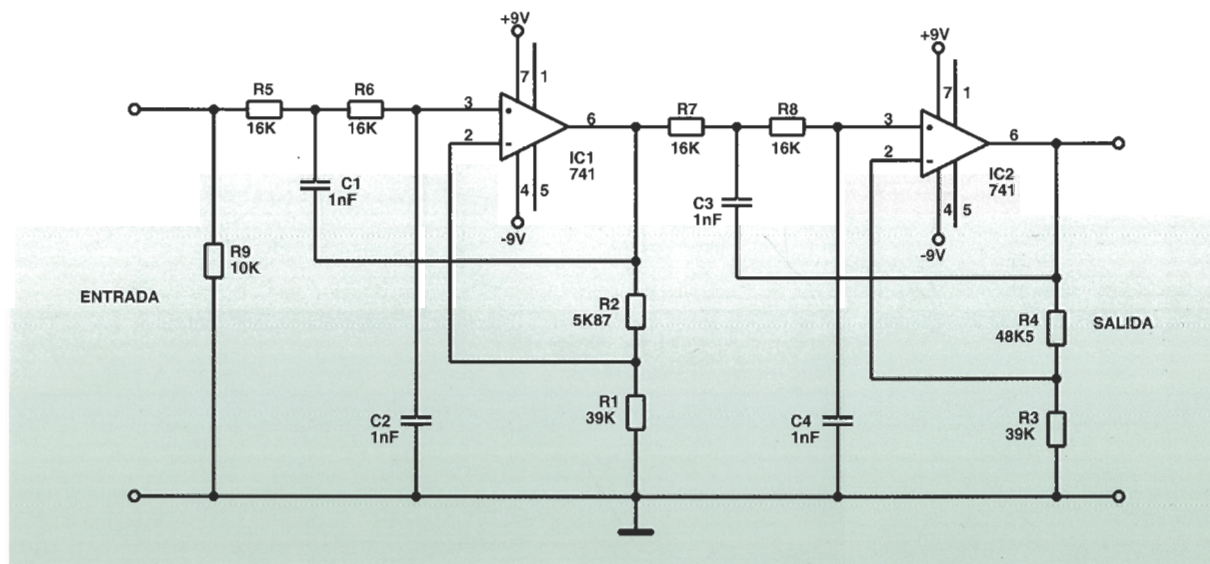
FILTROS ACTIVOS VARIABLES

Un filtro activo variable es aquel cuya frecuencia de corte puede alterarse dentro de un amplio margen. En las figuras 10, 11 y 12 se exponen 3 montajes prácticos de un filtro activo variable



4.- Filtro activo paso bajo de segundo orden de 10 KHz realizado con componentes del mismo valor.

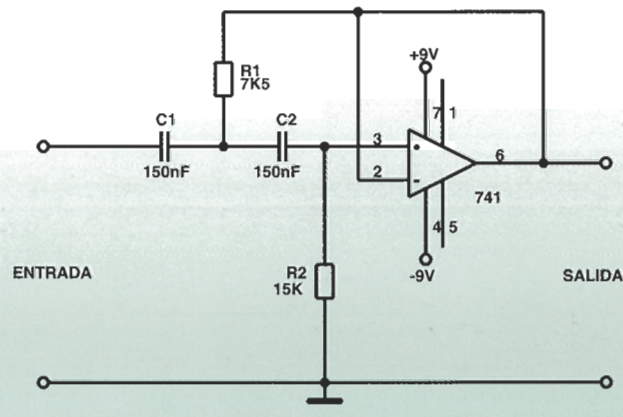
5.- Filtro activo paso bajo de cuarto orden de 10 KHz.



de segundo orden.

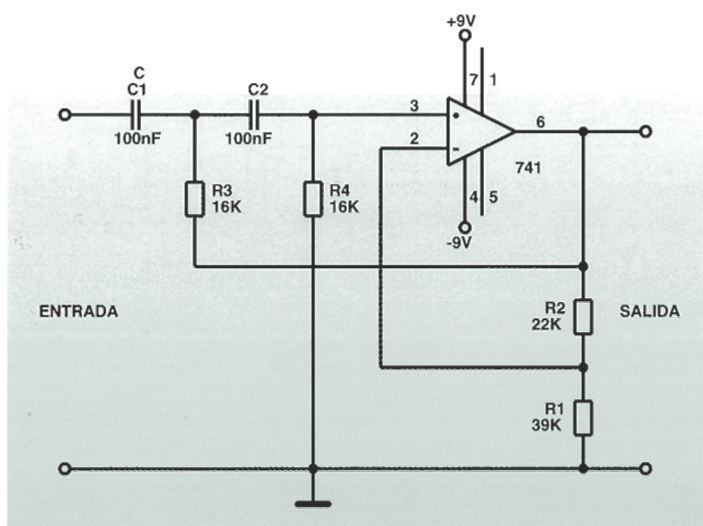
El diagrama mostrado en la figura 10 no es más que una versión modificada del filtro paso alto mostrado en la figura 6 pero que presenta un punto de frecuencia de corte variable de 23,5 Hz a 700 Hz establecido por el ajuste dado a un doble potenciómetro de 250 K Ω que sustituye a las resistencias R3 y R4.

En este circuito las resistencias situadas en las redes RC poseen el mismo valor por lo que este diseño no ofrece el coeficiente de máximo aplanamiento que presentan los filtros de tipo BUTTERWORTH, aunque no por ello es desestimable ya que sus características de filtrado pueden considerarse



6.- Filtro activo paso alto de segundo orden de 100 Hz con respuesta plana a la banda pasante.

7.- Filtro activo paso alto de segundo orden de 100 Hz realizado con componentes del mismo valor.

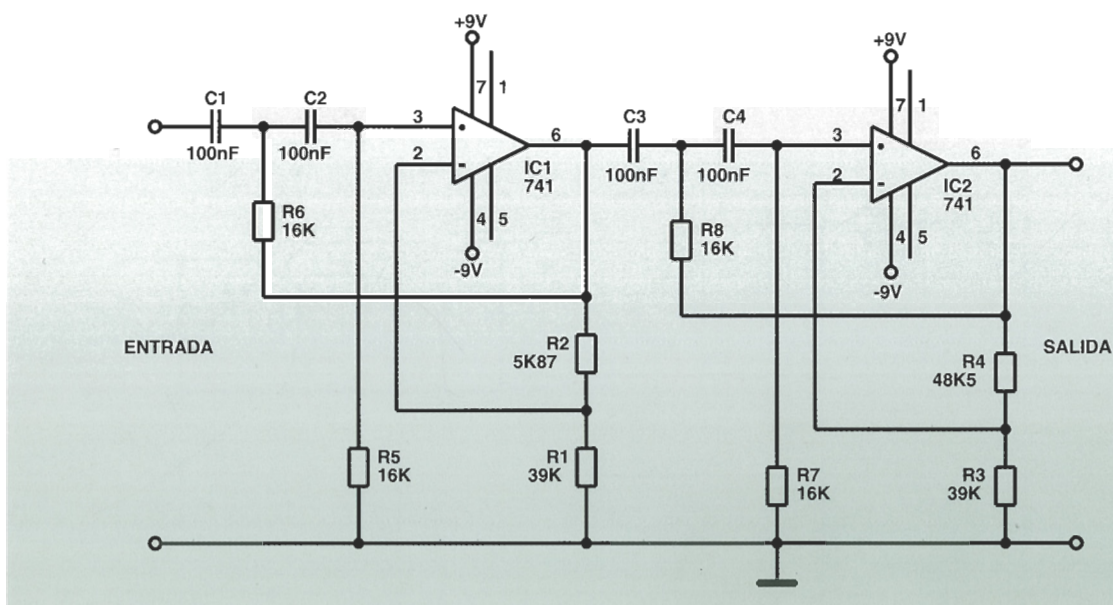


como buenas, pudiendo utilizarse, por ejemplo, como filtro de alta calidad de las señales procedentes de un tocadiscos convencional.

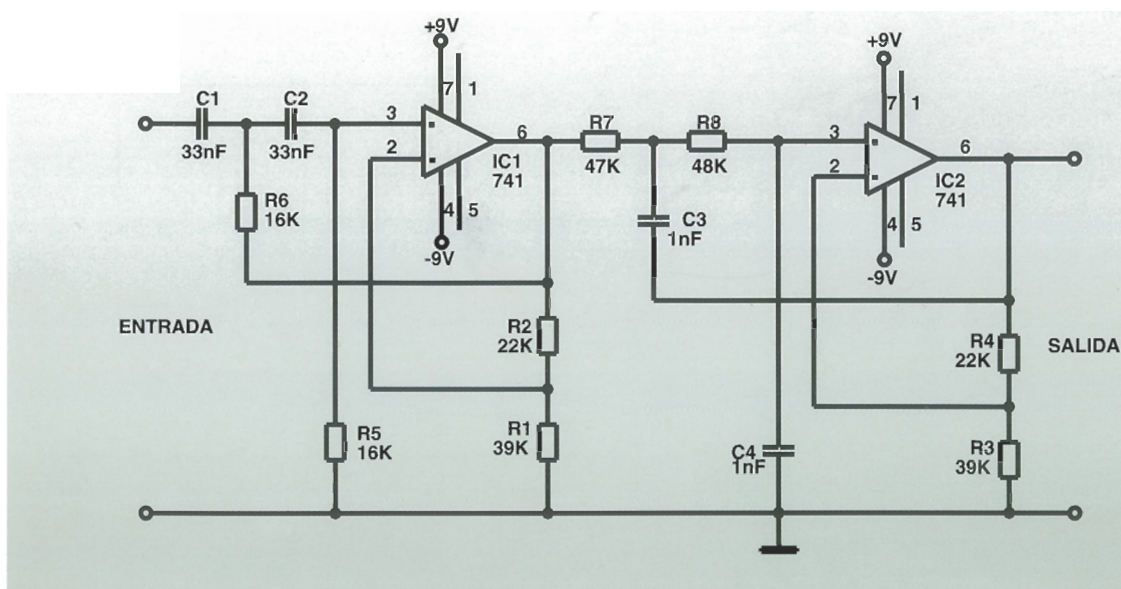
Las versiones fijas de este diseño suelen tener una frecuencia de corte de 50 Hz. La figura 11 recoge una versión modificada del filtro paso alto de la figura 3 que presenta como característica fundamental la posibilidad de variar la frecuencia de corte de 2,2 KHz a 24 KHz mediante un doble potenciómetro de 100 K Ω que sustituye a las resistencias R3 y R4.

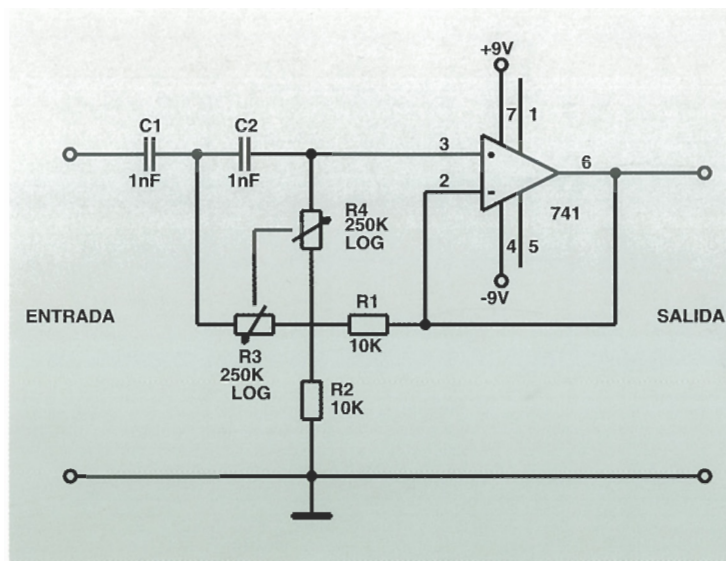
Al igual que en el circuito anterior, esta versión es incapaz de alcanzar el coefi-

8.- Filtro activo paso alto de cuarto orden de 100 Hz.



9.- Filtro activo de segundo orden obtenido de la unión de un filtro paso alto (figura 7) y un filtro paso bajo (figura 4) con una banda de paso de 300 Hz a 3,4 KHz, ideal para circuitos de voz.





10.- Filtro activo variable de paso alto, capaz de cubrir una banda de 23,5 Hz a 700 Hz.

ciente de máximo aplanamiento proporcionado por un filtro BUTTERWORTH, si bien el resto de sus características le permiten actuar como filtro de alta calidad en aquellos puntos en donde es necesario eliminar ruidos generados en baja frecuencia.

Las versiones fijas de este circuito suelen proporcionar una frecuencia de corte de 10 KHz.

En la figura 12 se describe cómo llevar a cabo una conexión entre los circuitos de la figura 10 y los de la figura 11 con el objeto de crear un circuito de filtro variable paso alto/paso bajo de gran versatilidad, ideal para eliminar ruidos en circuitos de voz. Al igual que en los circuitos originales, la frecuencia de corte puede variar-se mediante un doble potenciómetro que, en el caso del filtro paso alto, será de 250 K Ω (R6 y R7) y en el caso del filtro paso bajo de 100 K Ω (R8 y R9), creando un punto de corte variable para el de paso alto de 23,5 Hz a 700 Hz y para el de paso bajo de 2,2 KHz a 24 KHz.

REDES DE CONTROL DE TONO

Los circuitos de filtro variable de audio más extendidos son aquellos relacionados con el control de tono.

Estos elementos proporcionan la posibilidad de alterar la respuesta en

frecuencia del sistema con el objeto de acercarlo al gusto del oyente o para compensar las anomalías acústicas de la habitación en donde están ubicados.

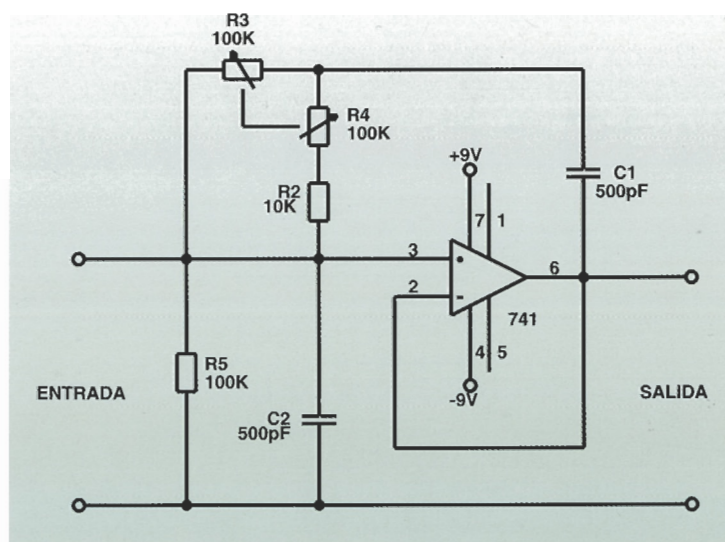
Antes de entrar de lleno en estos circuitos, es necesario repasar algunos conceptos básicos relacionados con el control de tono, analizando una serie de diseños elementales.

En la figura 13-a se muestra el diagrama típico de una red pasiva de control de tonos bajos capaz de realzar o reducir aquellas frecuencias bajas de audio situadas en un margen comprendido entre 20 Hz y 20 KHz. La flecha vertical de 2 puntas situada paralelamente al potenciómetro R3 indica la dirección a seguir por el cursor, dependiendo de cuál sea el objetivo deseado.

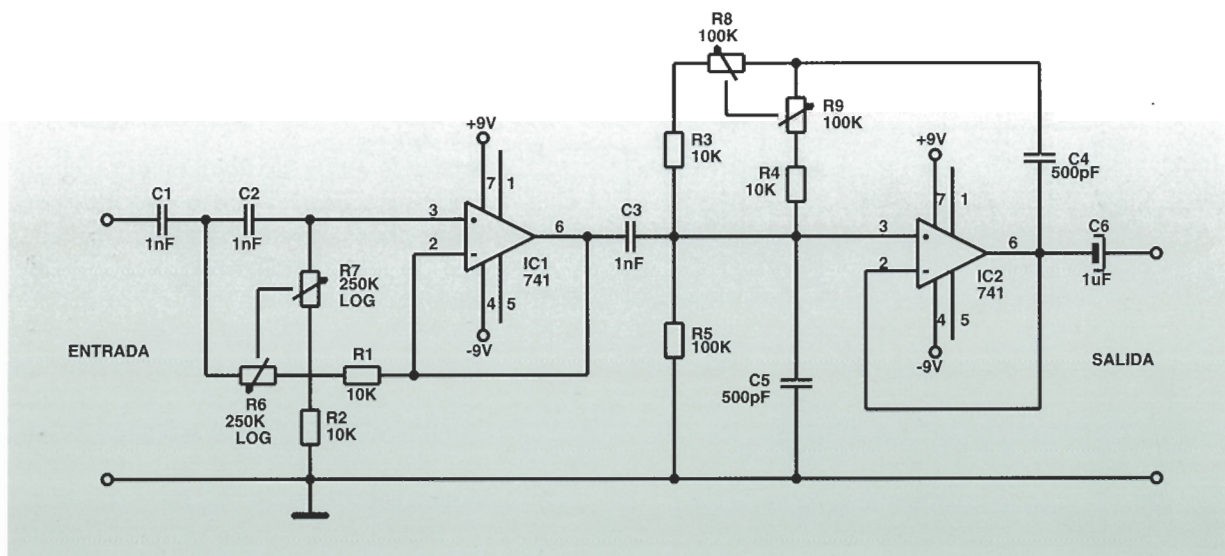
El resto de las figuras, 13-b, 13-c y 13-d, corresponden a los circuitos equivalentes de cada uno de estos ajustes.

Los condensadores C1 y C2 de estos circuitos presentan una impedancia inversamente proporcional al valor de la frecuencia de entrada, siendo mínima cuando ésta alcanza su valor más alto.

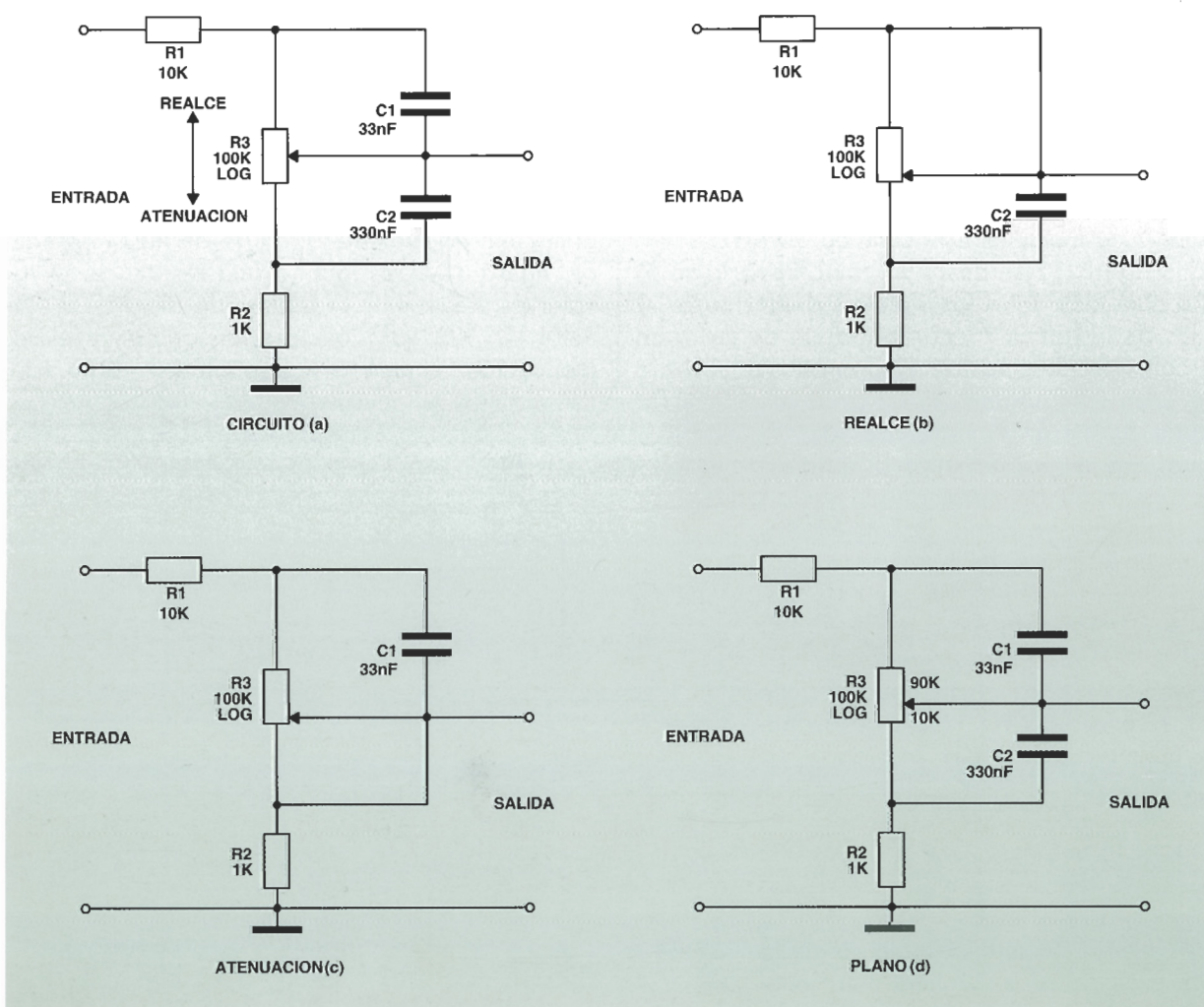
El circuito equivalente al ajuste de máximo realce, figura 13-b, es igual a una resistencia cuyo valor es el cociente resultante de dividir 10 K Ω entre 101 K Ω ; valor que proporciona un nivel de atenuación mínimo a las señales de baja fre-



11.- Filtro activo variable de paso bajo capaz de cubrir una banda comprendida entre 2,2 KHz y 24 KHz



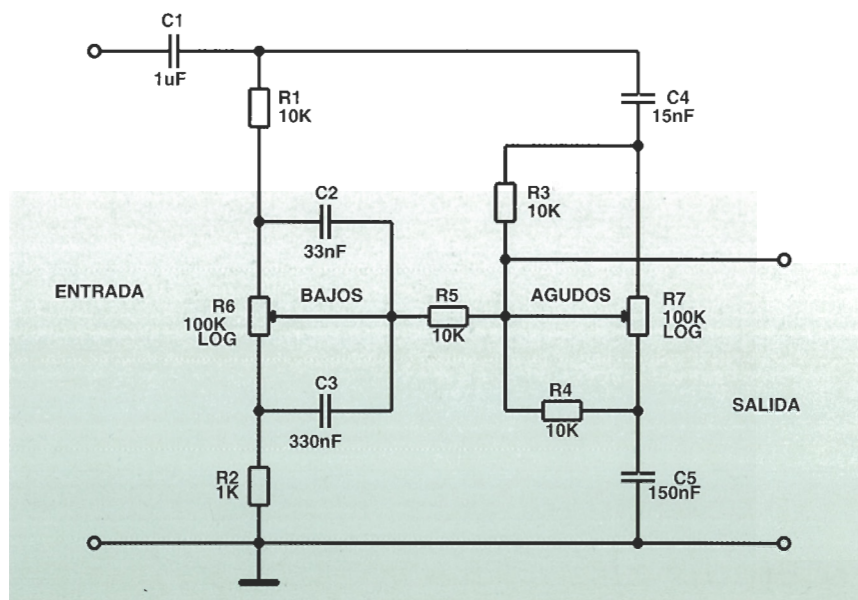
12.- Filtro activo variable paso bajo/paso alto obtenido de la unión de los circuitos de las figuras 10 y 11, ideal para eliminar ruidos.



13.- (a) Circuito básico de una red de control de tonos bajos y circuitos equivalentes generados por los distintos ajustes del potenciómetro R3: (b) máximo realce, (c) máxima atenuación y (d), respuesta plana.

fuencia. Y el circuito equivalente al ajuste de máxima atenuación, figura 13-c, es igual a una resistencia cuyo valor es el cociente resultante de dividir 110 K Ω entre 1 K Ω ; valor que proporciona una atenuación a las señales de baja frecuencia de aproximadamente 40 dB. En la figura 13-d se muestra el circuito equivalente a un ajuste plano del filtro en donde las 2 secciones del potenciómetro R3 miden 90 K Ω y 10 K Ω , siendo el circuito equivalente igual a una resistencia cuyo valor es el cociente resultante de dividir 100 K Ω entre 11 K Ω . Este ajuste proporciona un nivel máximo de realce o de atenuación de 20 dB con respecto al nivel de señal obtenido de la respuesta del filtro.

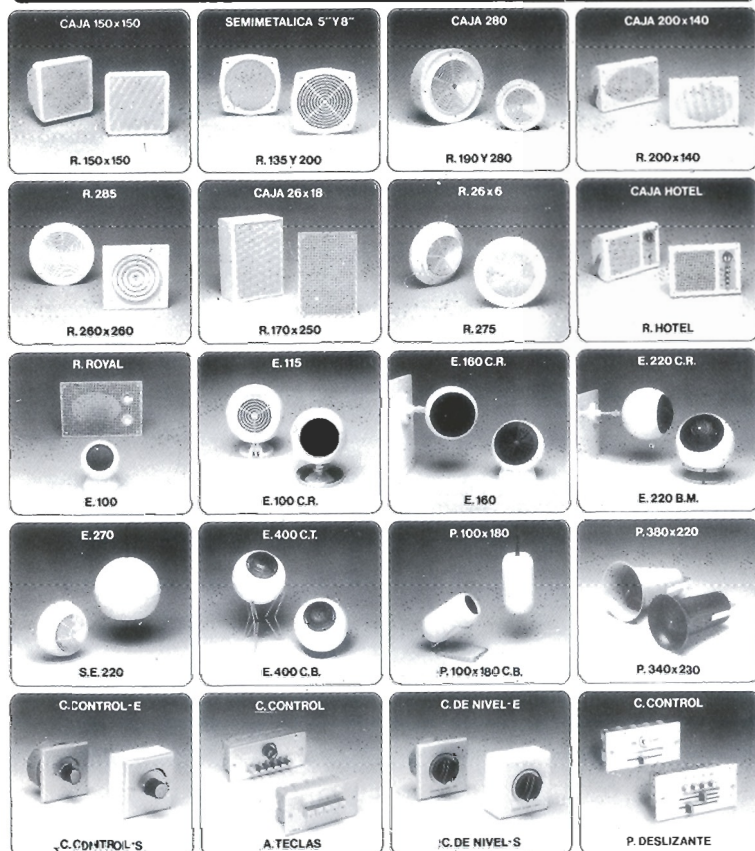
La figura 14-a presenta el diagrama clásico de



15.- Red de control pasiva de tonos bajos y agudos.

una red pasiva de control de tonos agudos capaz de realzar o atenuar de manera efectiva todas aquellas frecuencias comprendidas en un espectro de audio de 20 Hz a 20 KHz.

TODO PARA SONORIZACION



manufacturas radio eléctricas **ASTRA**

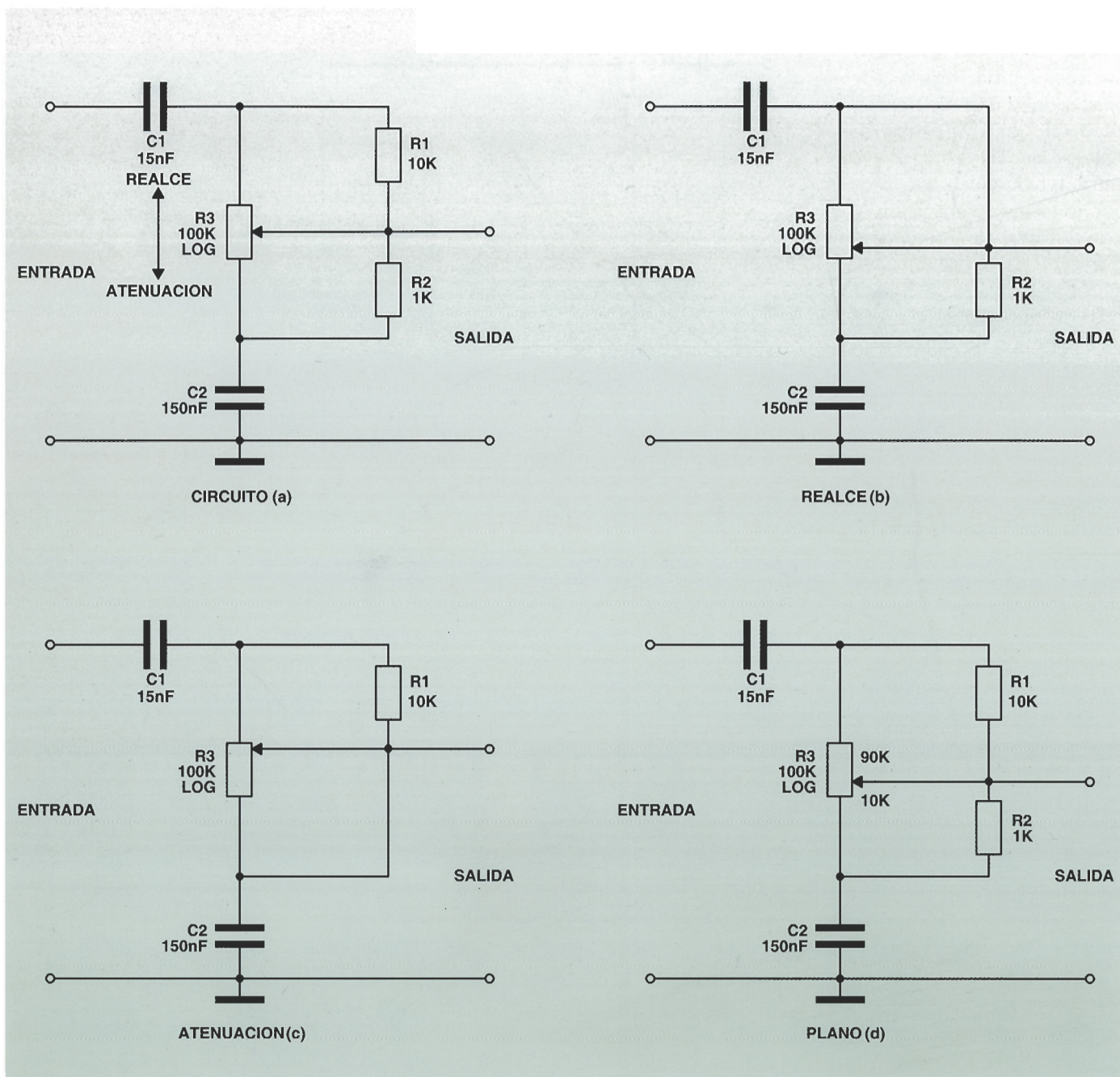
Calle Sugrañes N°28-08028 BARCELONA-Tel. 422 01 04

COMPONENTES ELECTRONICOS



manufacturas radio eléctricas **ASTRA**

Calle Sugrañes N°28-08028 BARCELONA-Tel. 422 01 04



14.- (a) Circuito básico de una red de control de tonos agudos y circuitos equivalentes a las situaciones de: (b) máximo realce, (c) máxima atenuación y (d) respuesta plana.

En las figuras 14-b, 14-c y 14-d se muestran los circuitos equivalentes de las 3 condiciones de ajuste posibles de este filtro: máximo realce, máxima atenuación y respuesta plana.

Hay que destacar que, al igual que en el circuito anterior, cuando este filtro se ajusta para proporcionar una respuesta plana, el máximo nivel de realce o atenuación posible es de 20 dB con respecto al nivel de señal obtenido de la respuesta del mismo.

La figura 15 enseña cómo combinar una red de

control de tonos bajos (figura 13-a) con otra de tonos agudos (figura 14-a) con el objeto de obtener una red pasiva de control de amplio espectro. Para minimizar las posibles interacciones que pudieran alterar la característica final del montaje, se ha intercalado una resistencia de 10 K Ω (R5) entre ambos circuitos. La señal de entrada de este circuito se obtiene directamente del control de volumen del amplificador, conectando su salida a la etapa de potencia principal.