

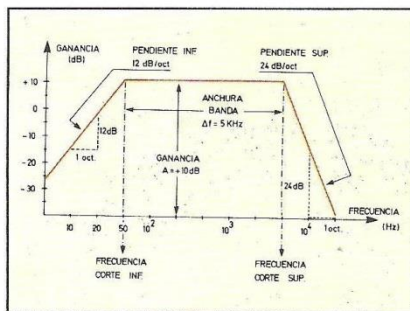
**Conceptos**

Se denomina *filtro pasabanda* a un circuito electrónico que permite el paso a su través de todas las señales cuyas frecuencias estén comprendidas entre dos valores determinados, llamados corrientemente *frecuencias de corte* del filtro.

Con un filtro pasabanda pueden eliminarse señales no útiles, espúreas o indeseables que vayan mezcladas con la señal que se desea, de forma que esta última puede recuperarse de entre el conjunto con la condición de que sea de frecuencia distinta de las no deseadas.

Los parámetros más importantes de un filtro pasabanda son la *ganancia* en la banda de paso, la *anchura de banda* de paso (determinada por las frecuencias de corte) y la *pendiente* del filtro o grado de atenuación que experimentan las señales fuera de la banda de paso.

La ganancia suele expresarse como número abstracto o en decibelios, la anchura de banda en hertzios (o alguno de sus múltiplos) y la pendiente en decibelios por octava. En determinado tipo de filtros suele darse el *factor Q*, que es un concepto en el que se engloba la pen-



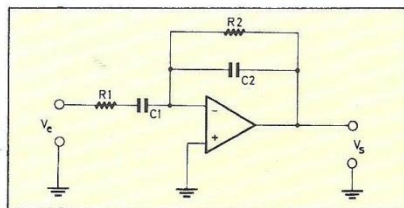
1. Principales parámetros de un filtro pasabanda: anchura, ganancia y pendiente.

diente y la anchura de banda a un tiempo.

**Operacionales**

Los filtros pueden realizarse con componentes pasivos exclusivamente (resistencias, bobinas, con-

2. Filtro pasabanda con operacional.

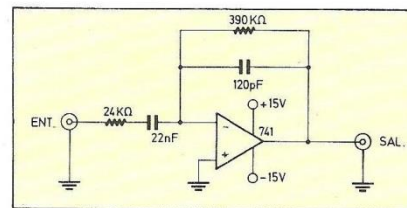


densadores), aunque en la actualidad se tiende a la utilización de amplificadores operacionales montados en configuraciones especiales, cuyo efecto global es el de un filtro pasabanda.

Uno de los circuitos más sencillos es el mostrado en la figura 2. Es una combinación de un filtro paso-alto y otro paso-bajo sobre un mismo operacional. R1 y C1 fijan la frecuencia de corte del filtro paso-alto, mientras que R2 y C2 fijan la del paso-bajo.

Para frecuencias de señal muy bajas, la impedancia de C1 es muy grande frente al valor de R1 y la ganancia del circuito es muy baja. Para frecuencias de señal muy altas, la impedancia de C2 es muy pequeña frente al valor de R2 y la ganancia del conjunto se hace muy pequeña. Para frecuencias intermedias, los

3. Circuito práctico pasabanda 300-3.400 Hz.



condensadores apenas si influyen en el funcionamiento del conjunto y la ganancia viene determinada por el cociente R2/R1.

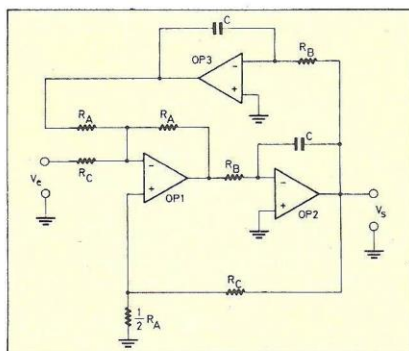
La sencillez del filtro sólo permite utilizarlo cuando los parámetros del mismo son siempre los mismos, pues la variación del valor de uno de los componentes hace variar todas sus características. En la figura 3 se muestra un filtro pasabanda para telefonía, con frecuencias de corte en 300 y 3.400 Hz y ganancia 24 dB.

**Otros circuitos**

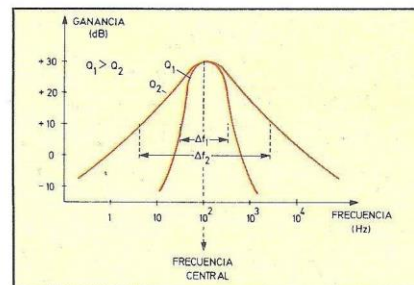
Cuando se hace preciso variar alguno de los parámetros del filtro, es necesario recurrir a otro tipo de circuito algo más complejo. Uno de los más utilizados es el llamado *filtro de estado variable*, cuyo esquema básico se muestra en la figura 4.

Los amplificadores OP2 y OP3 están montados como integradores o filtros paso-bajo, mientras que OP1 realiza las funciones de amplificador sumador. El resultado es una curva de transferencia entre la entrada y la salida de un filtro pasabanda del tipo *de campana* (figura 5), en el que la frecuencia central depende de los valores de RB y C, y la anchura de la misma (factor Q), de RC.

En la figura 6 se da un filtro de este

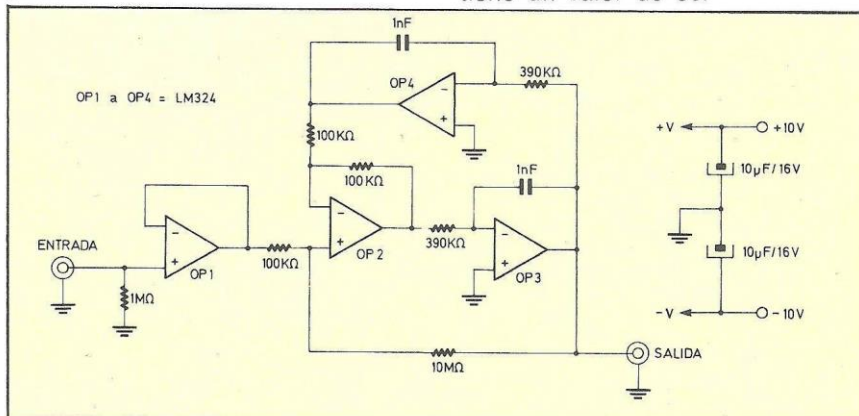


4. Filtro pasabanda de estado variable.



5. Curva de transferencia del tipo de campana.

6. Filtro pasabanda para 400 Hz y 40 dB de ganancia.



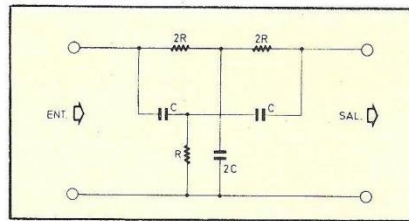
tipo, cuya frecuencia central es de 400 Hz, la ganancia a la frecuencia central es del 40 dB y el factor Q tiene un valor de 50.

**Red en doble T**

Suele conocerse con tal denominación una red formada exclusivamente por resistencias y condensadores conectados tal como se indica en la figura 1. Como puede verse, el nombre de la red proviene de su forma circuital. Es importante destacar que los valores de las resistencias deben estar relacionados como se indica. Igual ocurre con los condensadores.

En teoría de circuitos, este tipo de redes pueden convertirse en otras equivalentes, de forma que el estudio de sus propiedades sea más cómodo. En este caso, la red en doble T puede convertirse en otra, denominada en  $\pi$ , y que se muestra en la figura 2. Los valores exactos de las impedancias  $Z_1$  y  $Z_2$  pueden calcularse matemáticamente sin mayor problema, en función de la frecuencia de la señal.

Y he aquí el milagro. Resulta que existe un valor de frecuencia para el cual el valor de la impedancia  $Z_2$  se hace infinito. Esto equivale a decir que, para las señales de esa frecuencia, la red se comporta como un *circuito abierto*, no existiendo transferencia de energía de la entrada a la salida.

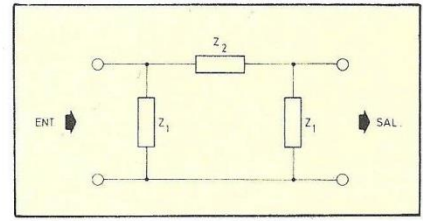
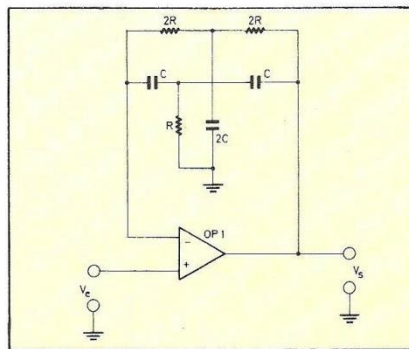


1. Red en doble T.

La frecuencia para la que se cumple tal condición viene dada en función del valor de los componentes como:

$$f_0 = \frac{1}{4\pi RC}$$

3. Amplificador pasabanda.

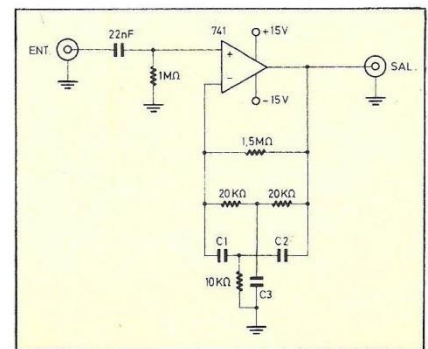


2. Circuito equivalente a una red en doble T.

**Aplicaciones**

Cuando una red en doble T se aplica al lazo de realimentación de un operacional, la ganancia del conjunto dependerá de la frecuencia de la se-

4. Amplificador selectivo para una frecuencia de 1 kHz. C1 y C2 deben ser de 8.000 pF, y C3 de 16 nF, todos con el 1% de tolerancia.



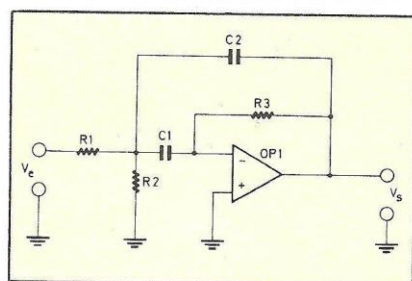
ñal. En el circuito de la figura 3 la ganancia es prácticamente la unidad para señales de todas las frecuencias, a excepción de la de resonancia, a la que, teóricamente, la ganancia se hace infinita.

En la práctica, la ganancia puede limitarse disponiendo una resistencia en paralelo con la red selectiva. Así, el circuito mostrado en la figura 4 tiene una ganancia de 40 dB a la frecuencia de 1 kHz, cayendo rápidamente su valor para frecuencias por encima y por debajo de la de resonancia.

**Otras redes**

También pueden construirse filtros pasabanda con otro tipo de red de realimentación entre la salida y la entrada de un operacional. Uno de ellos se muestra en la figura 5. Sin entrar en profundos estudios matemáticos del conjunto, puede verse que el circuito es una especie de combinación de un filtro paso-alto y otro paso-bajo.

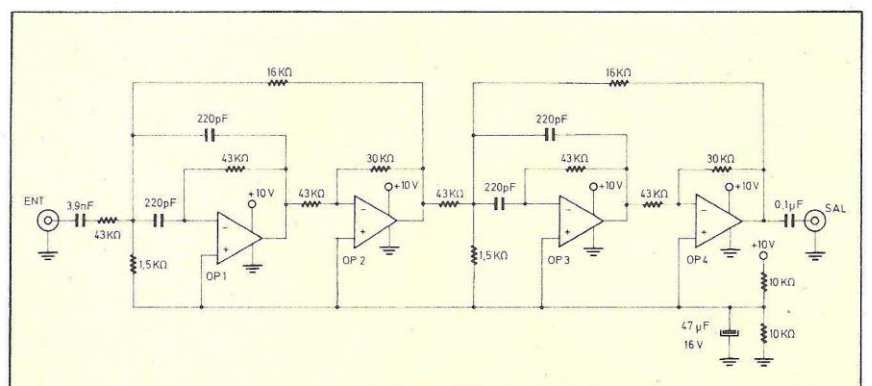
Para frecuencias de señal muy altas, el condensador C1 presente una débil impedancia, haciendo que C2 y R3 queden en paralelo, y el circuito actúa como un filtro paso-bajo. Para frecuencias muy bajas, la impedancia del condensador C2 es elevada y



5. Filtro pasabanda.

no tiene efecto en el circuito, haciendo que C1, R3 y el operacional actúen como un filtro paso-alto.

6. Filtro pasabanda de realimentación positiva. Los operacionales OP1 a OP4 forman parte de un LM324.



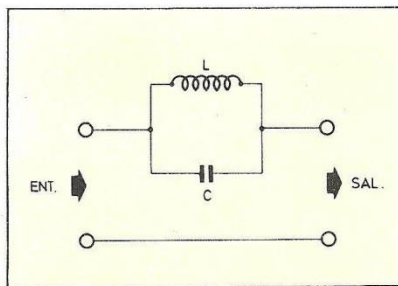
Existirá una gama de frecuencias intermedia en la que el conjunto actúa como amplificador, habiéndose eliminado todas las señales de frecuencias altas y bajas. El circuito se comporta, por tanto, como un filtro pasabanda.

Si el circuito se modifica ligeramente, y se disponen dos de ellos, uno a continuación del otro (en cascada), pueden construirse filtros muy selectivos, como el mostrado en la figura 6, cuya frecuencia central es de 100 kHz, la ganancia es de 24 dB y el factor Q adopta un valor de 70.

**Circuitos pasivos**

El circuito más simple para rechazar una banda de frecuencias es un circuito resonante paralelo, formado por una bobina y un condensador conectados, como su propio nombre indica, en paralelo. A la frecuencia de resonancia, la impedancia de dicho circuito se hace teóricamente infinita, no permitiendo el paso de las señales a su través.

El uso de bobinas es muy engorroso, por lo que se tiende al empleo de otros circuitos que no tengan necesidad de utilizarlas. Así, se llega a la red en doble T, que tiene unas propiedades similares al circuito resonante paralelo, y de la que ya se habla en otro lugar.



1. Filtro con circuito resonante.

Existen una gama de frecuencias intermedias en la que la impedancia de C1 es pequeña comparada con R1, y la de C2 es grande frente a R2. En tal gama, la ganancia del conjunto viene determinada,

aproximadamente, por el cociente entre ambas capacidades ( $|G| \approx C1/C2$ ).

Para frecuencias muy bajas, la impedancia de C2 se hace tan grande que la ganancia del circuito crece mucho. Para frecuencias muy altas, la impedancia de C1 se hace tan pequeña que la ganancia crece igualmente. Por tanto, el conjunto rechaza las señales cuyas frecuencias caigan entre dos valores,  $f_1$  y  $f_2$ , dados por:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi R1 C1}; \quad f_2 = \frac{1}{2\pi R2 C2}$$

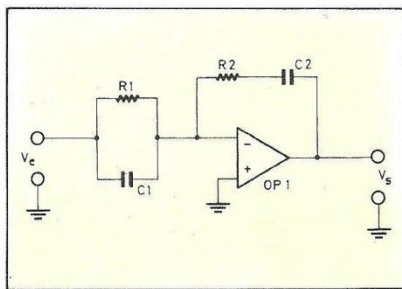
Otro circuito muy corrientemente empleado utiliza una red en doble T

**Operaciones**

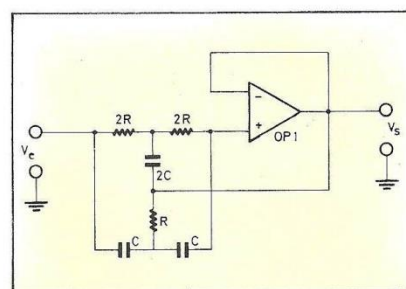
La utilización de amplificadores operacionales como parte integrante de redes activas de características peculiares está cada vez más extendida. Uno de los circuitos más sencillo es el mostrado en la figura 2.

Se trata de un circuito amplificador que incorpora condensadores en la red de entrada y en la de realimenta-

2. Filtro pasabanda.



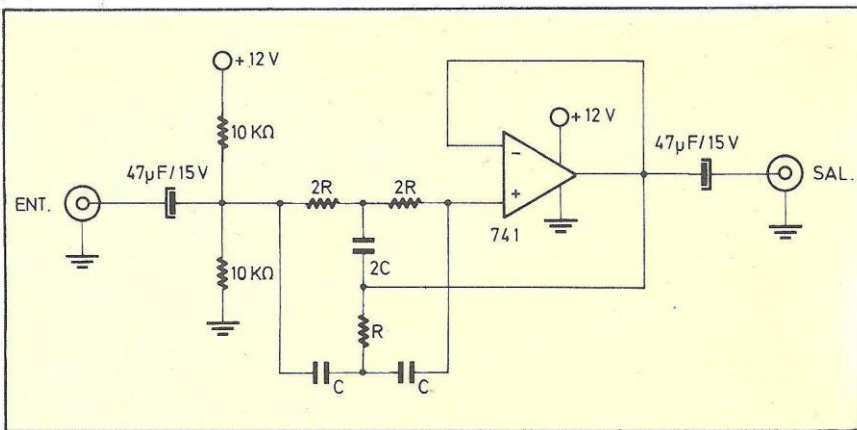
3. Filtro con red en doble T.



en su lazo de realimentación, tal como muestra la figura 3. Para frecuencias distintas de la de resonancia de la red, la ganancia del conjunto es aproximadamente la unidad (0 dB).

En cambio, a la frecuencia de resonancia no existe transferencia de energía entre la entrada y la salida de la red en doble T; esto es, entre la entrada del circuito ( $V_e$ ) y la entrada positiva de OP1. Dado que la salida de OP1 está también conectada a la red, el único valor de  $V_s$  que cumple las condiciones antedichas es  $V_s = 0$ , con lo que la ganancia se hace cero.

La amplitud de la banda rechazada con este último circuito es mucho más estrecha que con el anterior, con lo que el circuito es altamente selectivo. En la figura 4 se da un circuito práctico. Con los valores  $R = 10 \text{ k}\Omega$  y  $C = 8 \text{ nF}$ , la frecuencia central de la banda rechazada es de 1 kHz, mientras que con  $R = 160 \text{ k}\Omega$  y  $C = 10 \text{ nF}$  la frecuencia central es de 50 Hz.

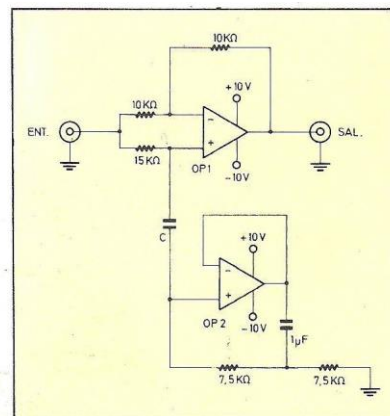


4. Filtro de rechazo de banda práctico.

como girador, o circuito que es capaz de simular una inductancia con ayuda de un condensador. Su funcionamiento se describe en otro lugar.

Con los valores mostrados en la figura 5, y haciendo  $C = 0,15 \mu\text{F}$ , la frecuencia central de la banda rechazada es de 50 Hz, mientras que si se adopta un valor  $C = 390 \text{ pF}$ , dicha frecuencia pasa a ser de 1 kHz.

5. Filtro de rechazo de banda con girador.



**Otros circuitos**

En la figura 5 se muestra otro circuito muy utilizado también, y en el que se hace uso de un operacional