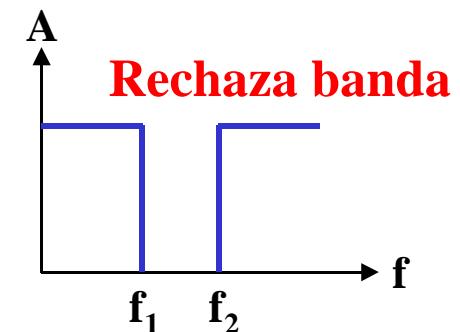
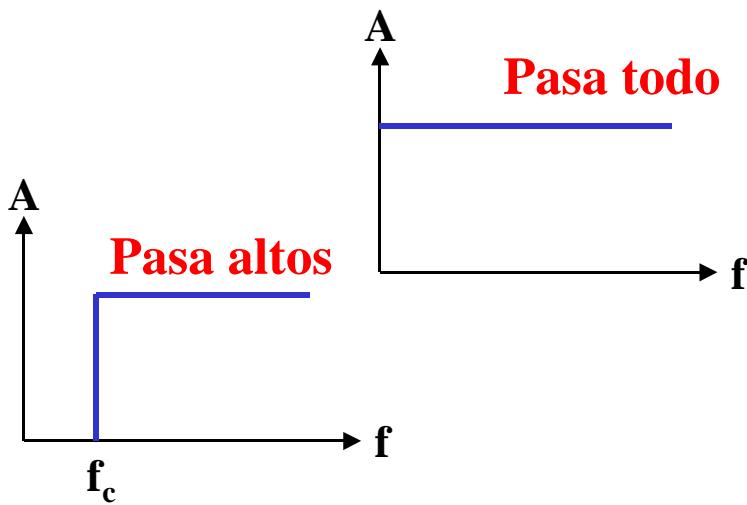
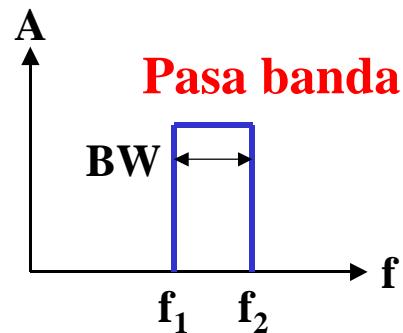
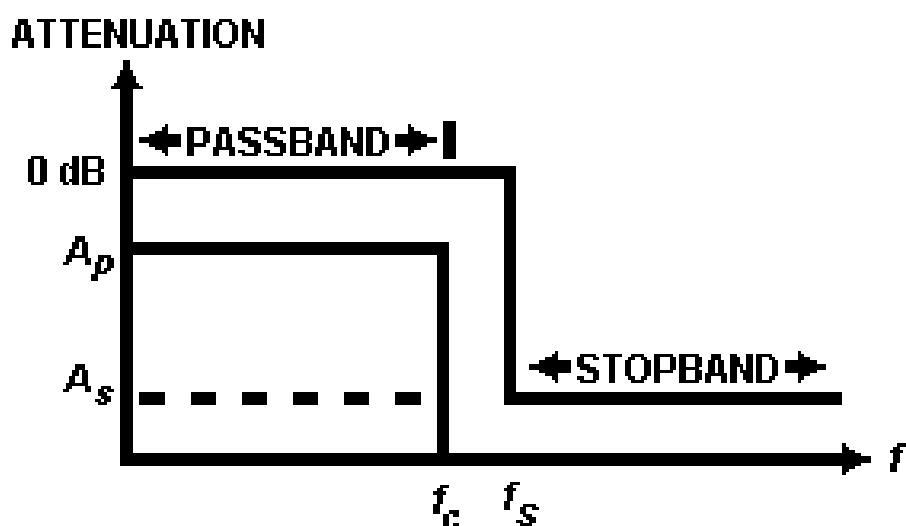


**Respuesta ideal de los filtros**



## Respuesta real

- La respuesta ideal no existe (corte abrupto).
- Los filtros reales tienen una respuesta aproximada.
- La atenuación en un filtro ideal es  $\infty$  en la banda de no paso y cero dB en la de paso.

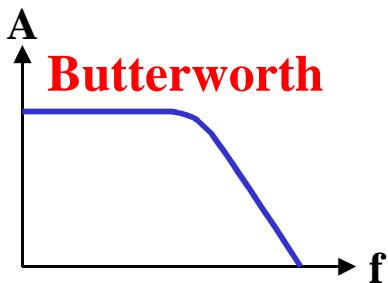


# Orden del filtro

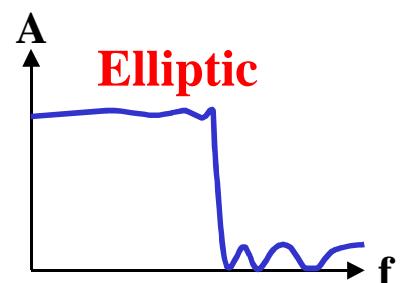
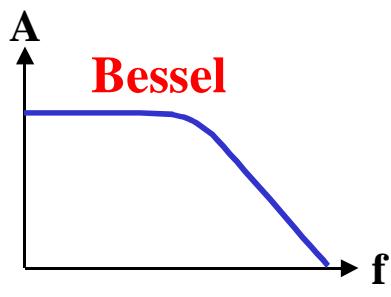
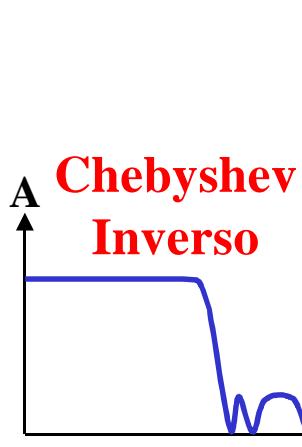
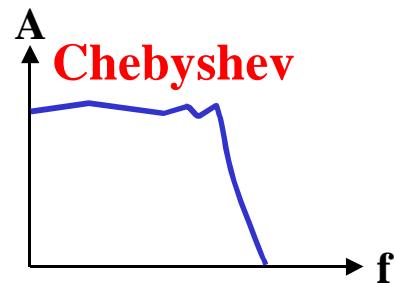
- En un tipo LC, el orden es igual al número de inductancias y capacitores en el filtro.
- En un tipo RC, el orden es igual al número de capacitores en el filtro.
- En un tipo activo, el orden es aproximadamente igual al número de capacitores en el filtro.

## Aproximaciones para filtros

- En un tipo LC, el orden es igual al número de inductancias y capacitores en el filtro. En un activo al número de RC (polos)  $\approx \#$  capacitores.
- Butterworth (max. rta. plana): pendiente =  $20n$  dB/decada donde n es el orden del filtro.
- Chebyshev (respuesta de igual rizado): el número de rizos es de  $n/2$ .
- Inverse Chebyshev (rizado en la stopband).
- Elliptic (transición optimizada)
- Bessel (corrimiento linear en fase)

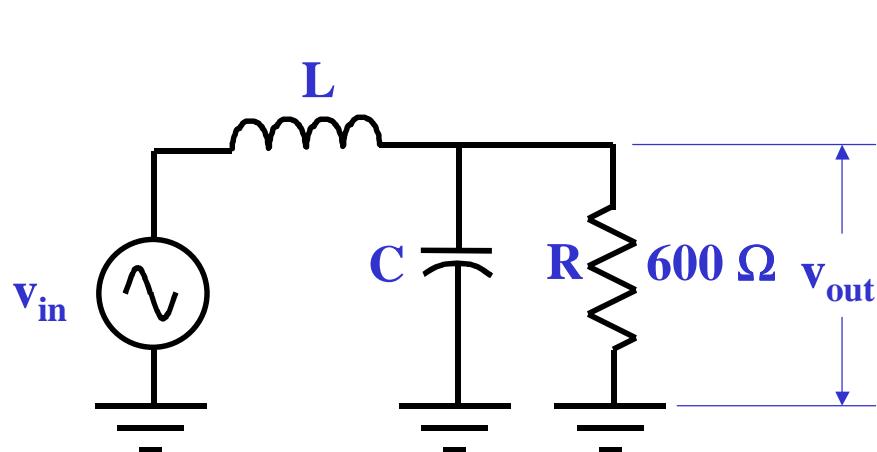


Filtros  
pasa bajos  
respuesta  
real



Nota: Los filtros monotónicos no tienen ripple en la stopband.

## Filtro LC pasa bajos de segundo orden

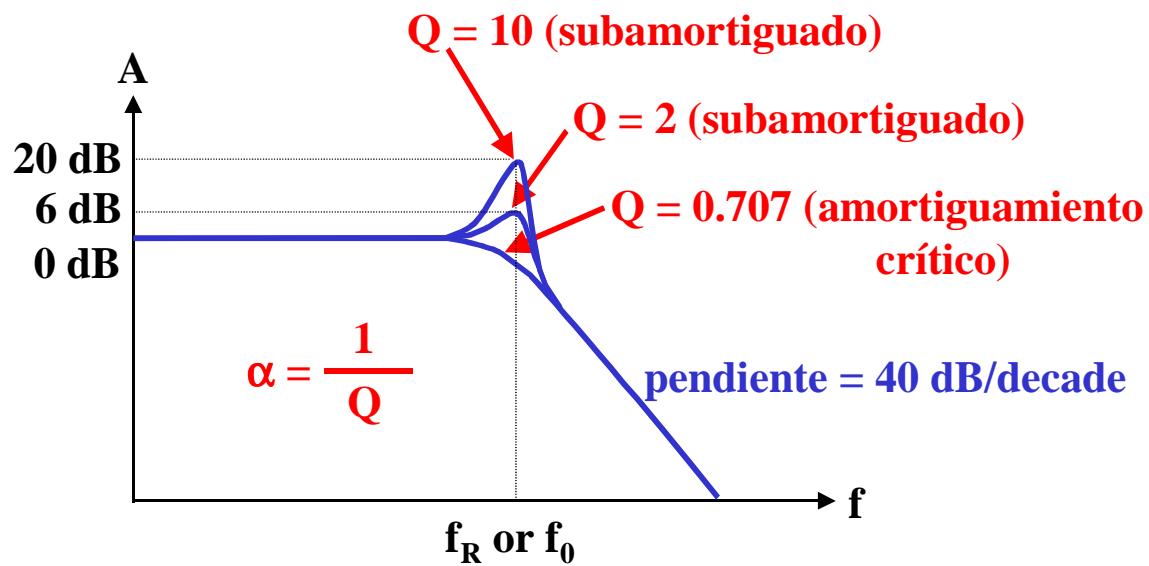


$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

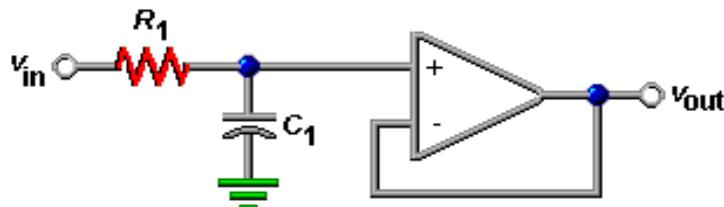
$$Q = \frac{R}{X_L}$$

L	C	f <sub>R</sub>	Q
9.55 mH	2.65 μF	1 kHz	10
47.7 mH	531 nF	1 kHz	2
135 mH	187 nF	1 kHz	0.707

# Efecto del Q en la respuesta de segundo-orden

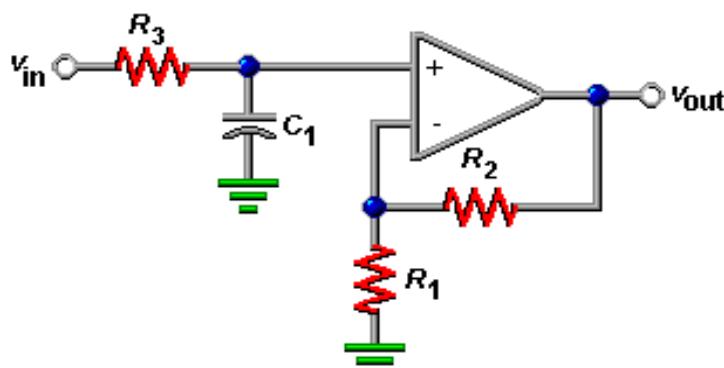


- $\alpha$  es el factor de amortiguamiento.
- La respuesta Butterworth posee amortiguamiento crítico.
- La respuesta Bessel es sobreamortiguada ( $Q = 0.577$ ).



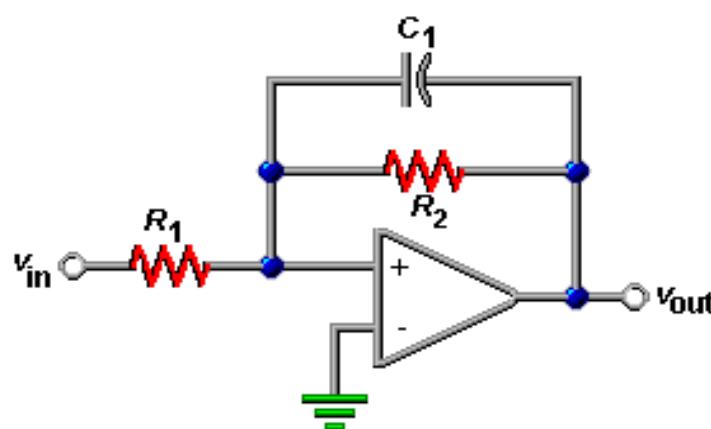
$$A_V = 1$$

$$f_C = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$



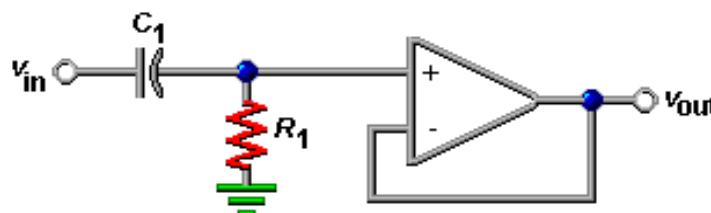
$$A_V = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$f_C = \frac{1}{2\pi R_3 C_1}$$



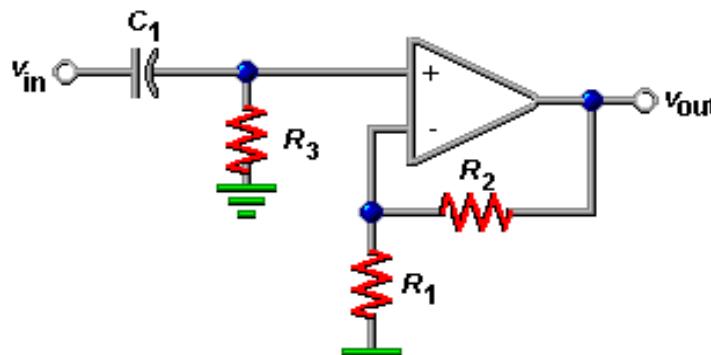
$$A_V = \frac{-R_2}{R_1}$$

$$f_C = \frac{1}{2\pi R_2 C_1}$$



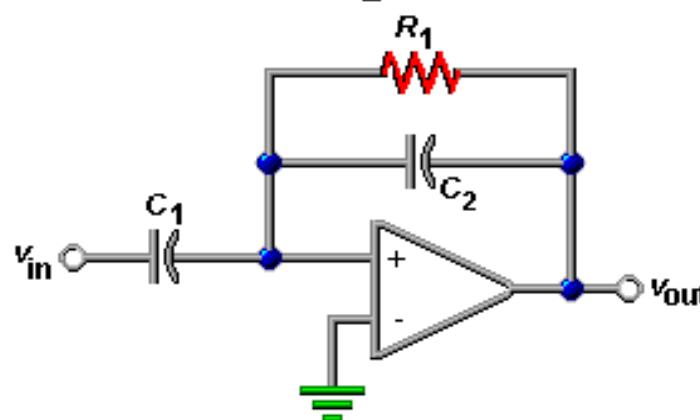
$$A_v = 1$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$



$$A_v = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

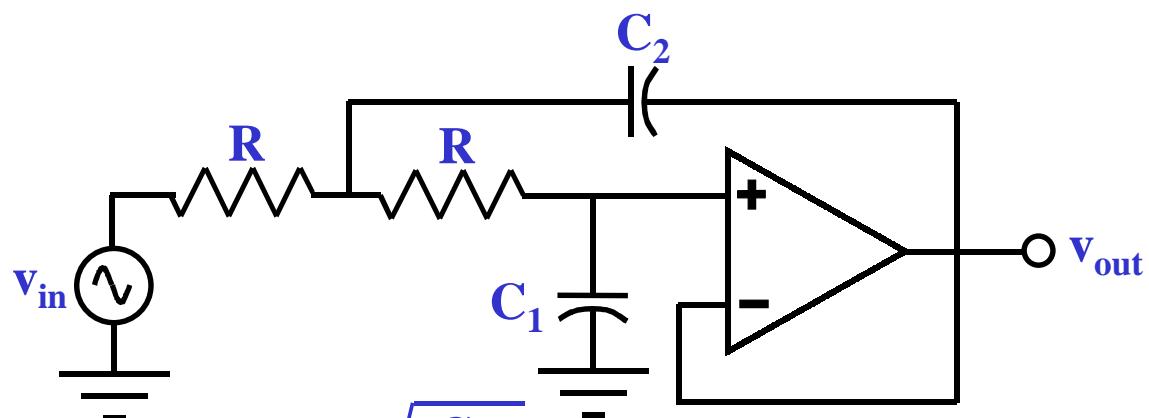
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_3 C_1}$$



$$A_v = \frac{C_1}{C_2}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_2}$$

## Filtro pasa bajos de 2º orden Sallen-Key



$$Q = 0.5 \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

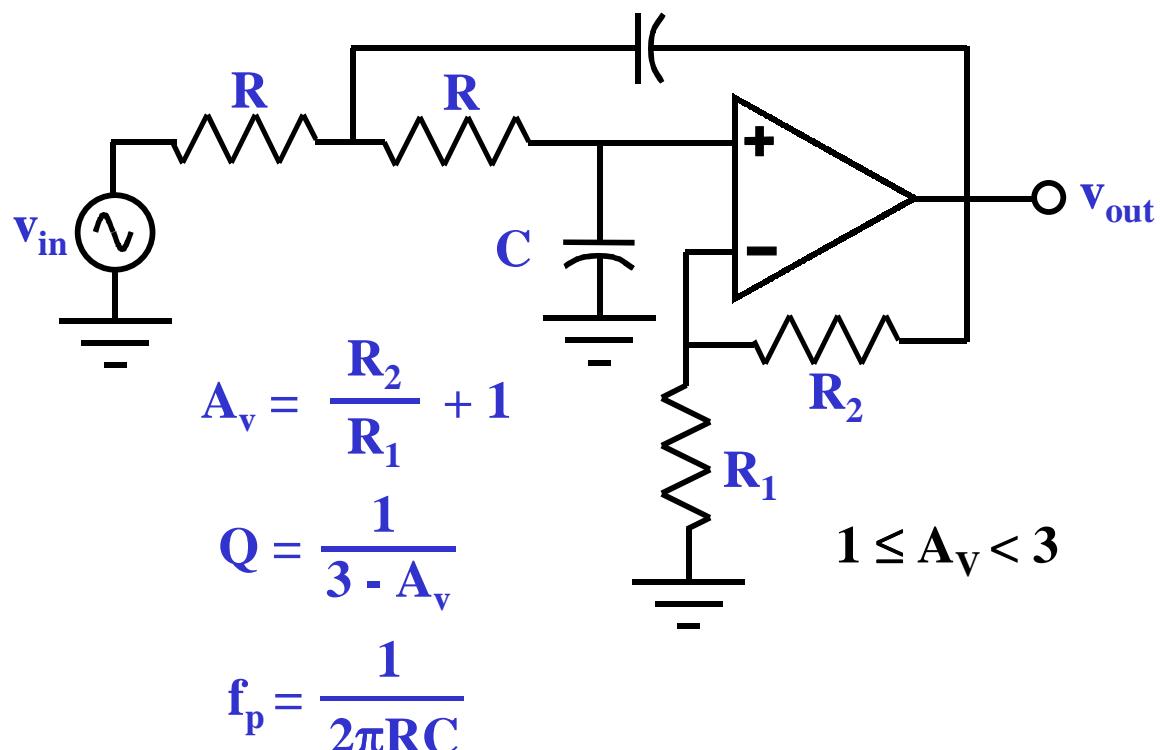
$$A_v = 1$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi R \sqrt{C_1 C_2}} = \text{frecuencia del polo}$$

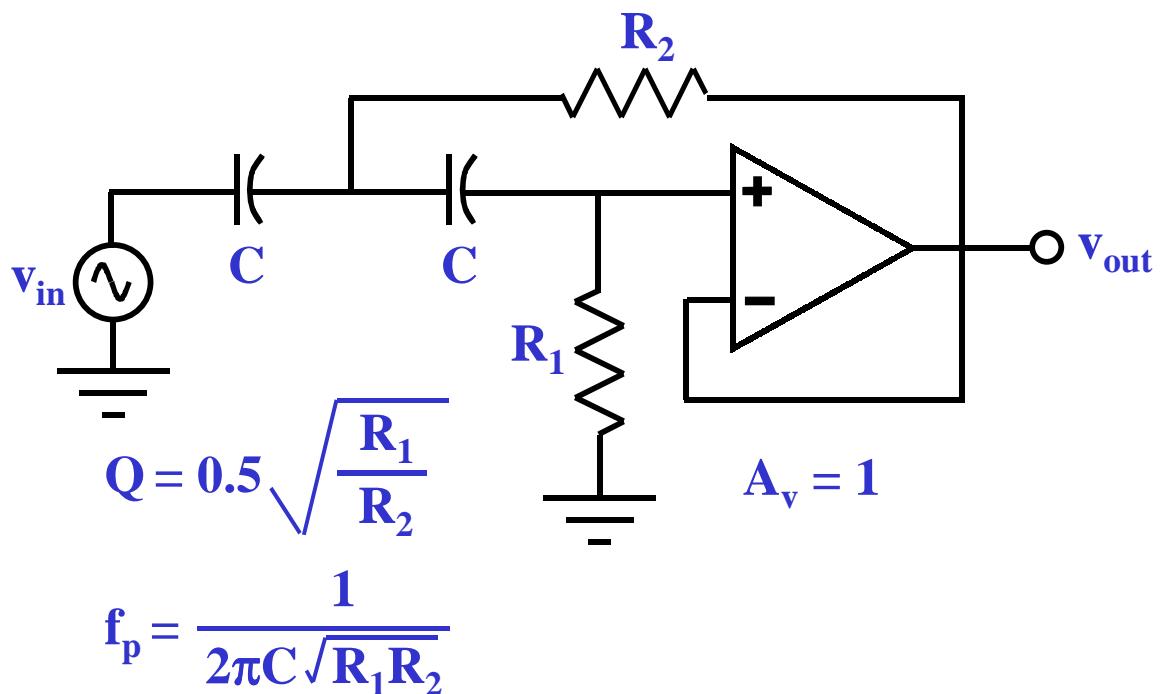
# Respuestas de segundo orden

- Butterworth:  $Q = 0.707$ ;  $K_c = 1$
- Bessel:  $Q = 0.577$ ;  $K_c = 0.786$
- Frequencia de corte:  $f_c = K_c f_p$
- Respuesta con pico:  $Q > 0.707$ 
  - \*  $f_0 = K_0 f_p$  (frecuencia del pico)
  - \*  $f_c = K_c f_p$  (frecuencia de corte)
  - \*  $f_{3\text{dB}} = K_3 f_p$

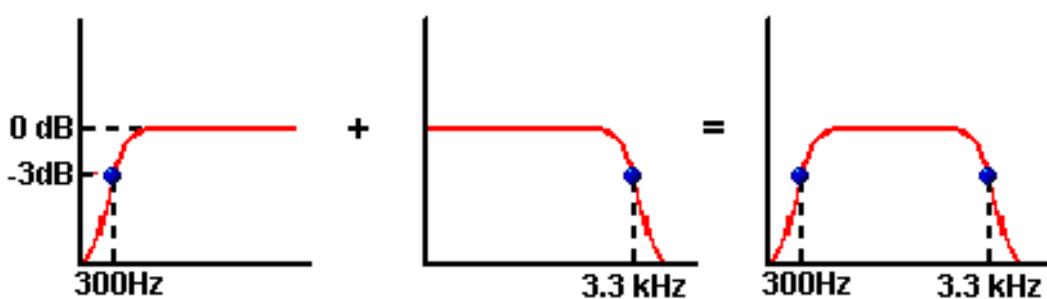
- Filtros de mayor orden
- Filtro Sallen-Key componentes iguales



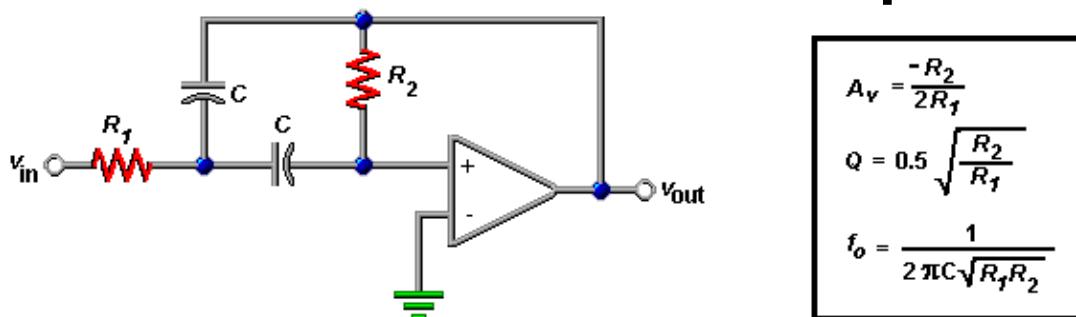
## Filtro pasa altos de 2º orden, Sallen-Key



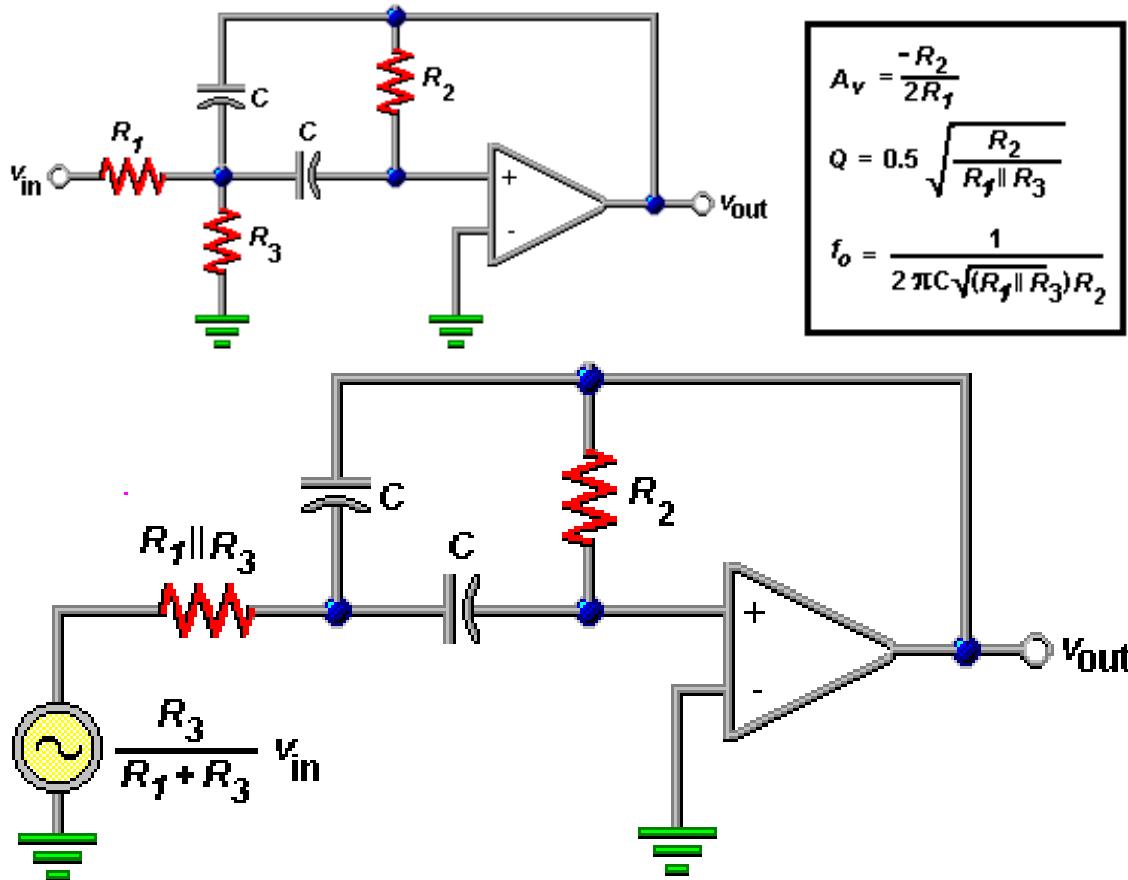
## Filtros pasa banda



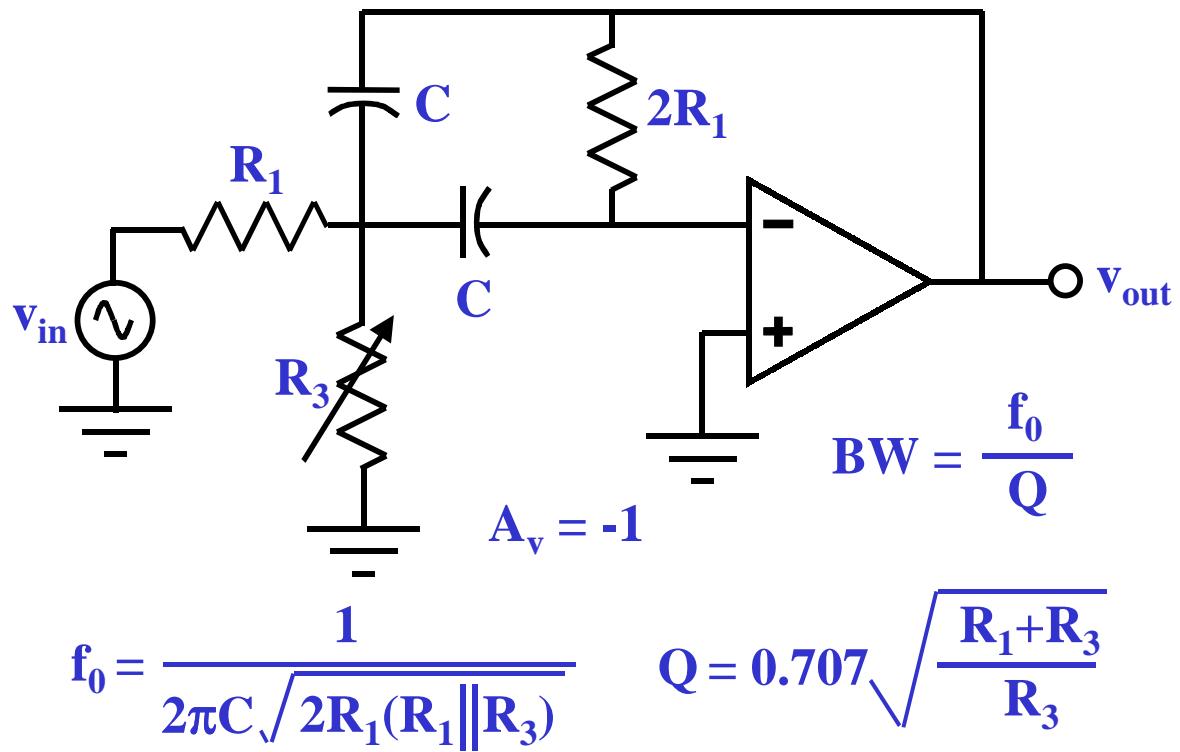
## Filtro de realimentación múltiple



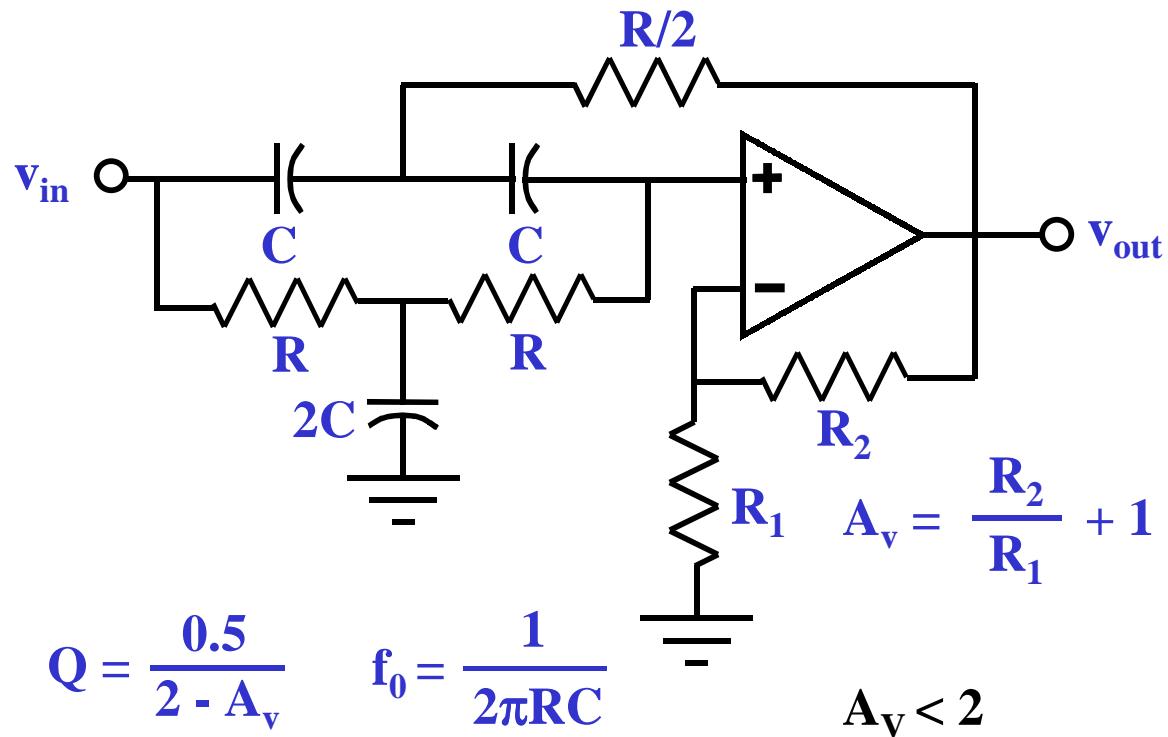
## Realimentación múltiple de impedancia incrementada



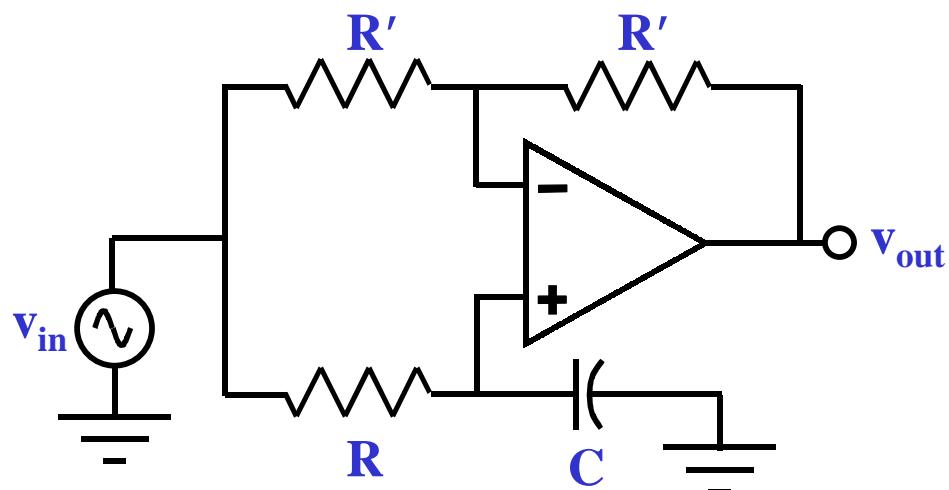
Realimentación múltiple, sintonizable y BW constante



## Filtro notch de 2º orden, Sallen-Key

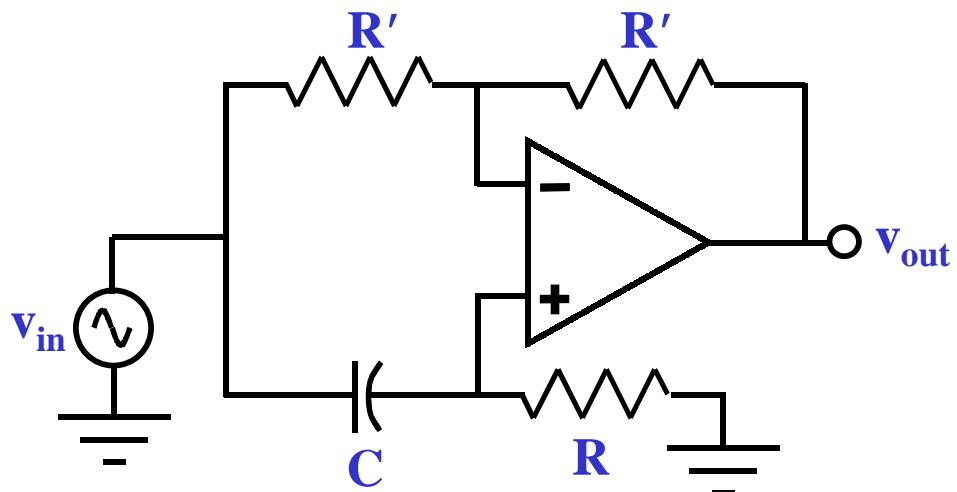


## Filtro pasa todo de atraso, 1º orden



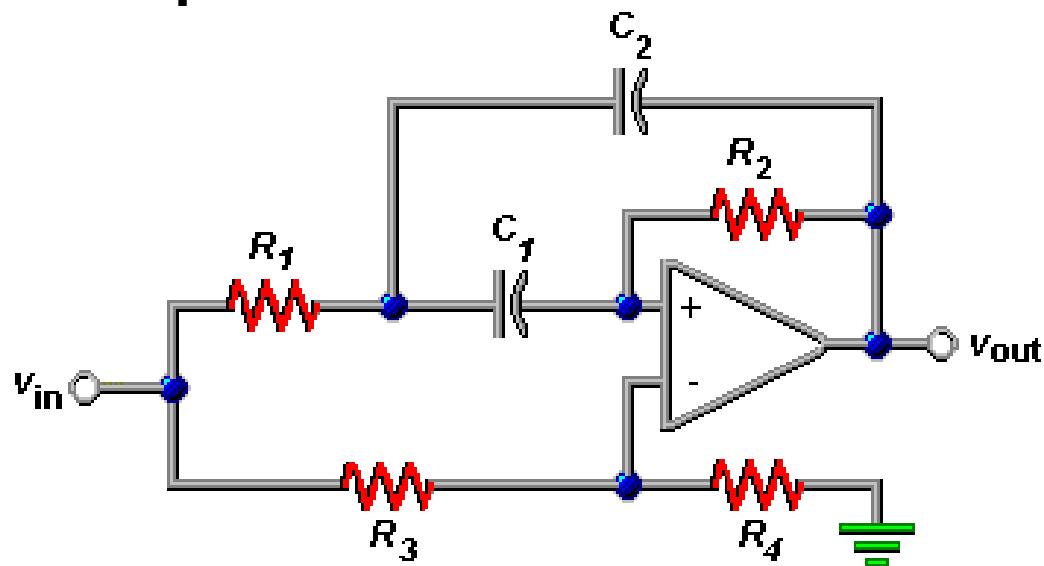
$$A_v = 1 \quad f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad \phi = -2 \arctan \frac{f}{f_0}$$

## Filtro pasa todo de adelanto, 1º orden



$$A_v = -1 \quad f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad \phi = 2 \arctan \frac{f_0}{f}$$

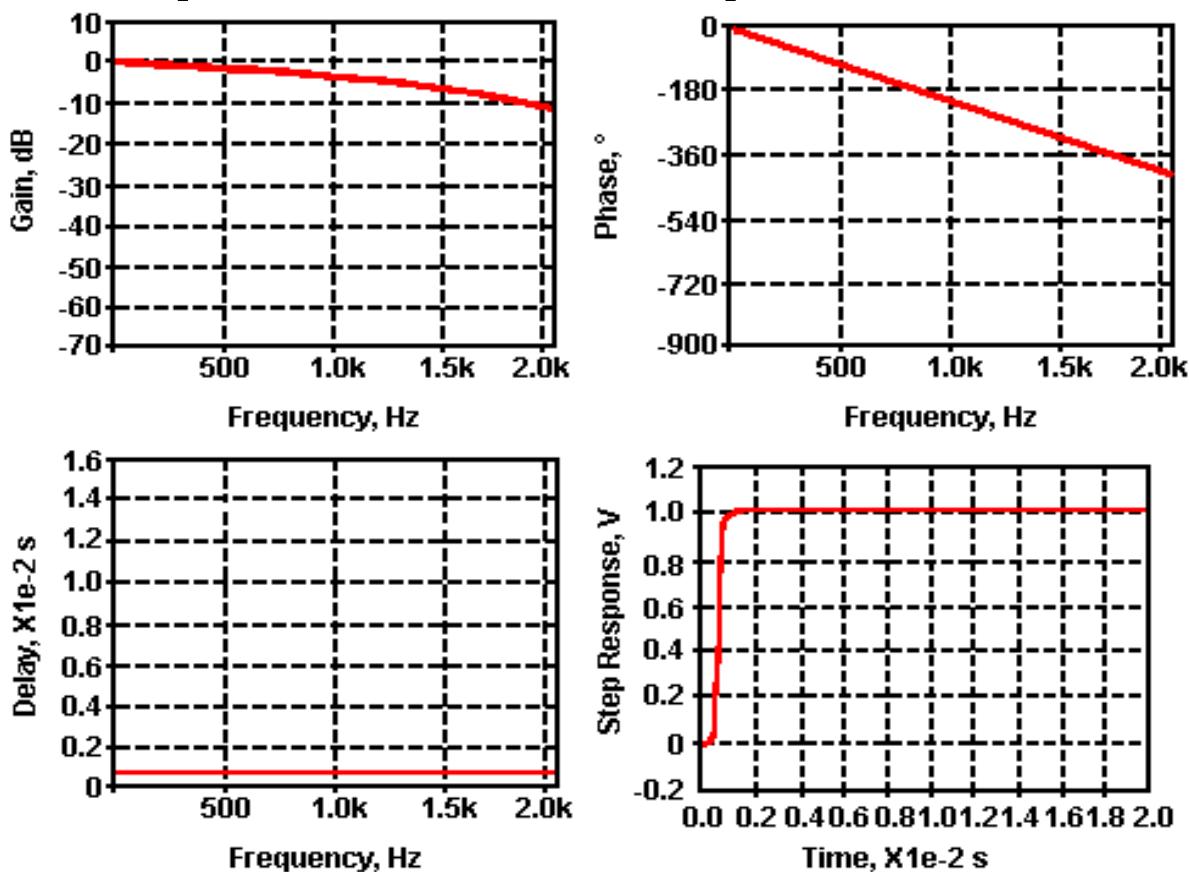
## Filtro pasa-todo 2º orden



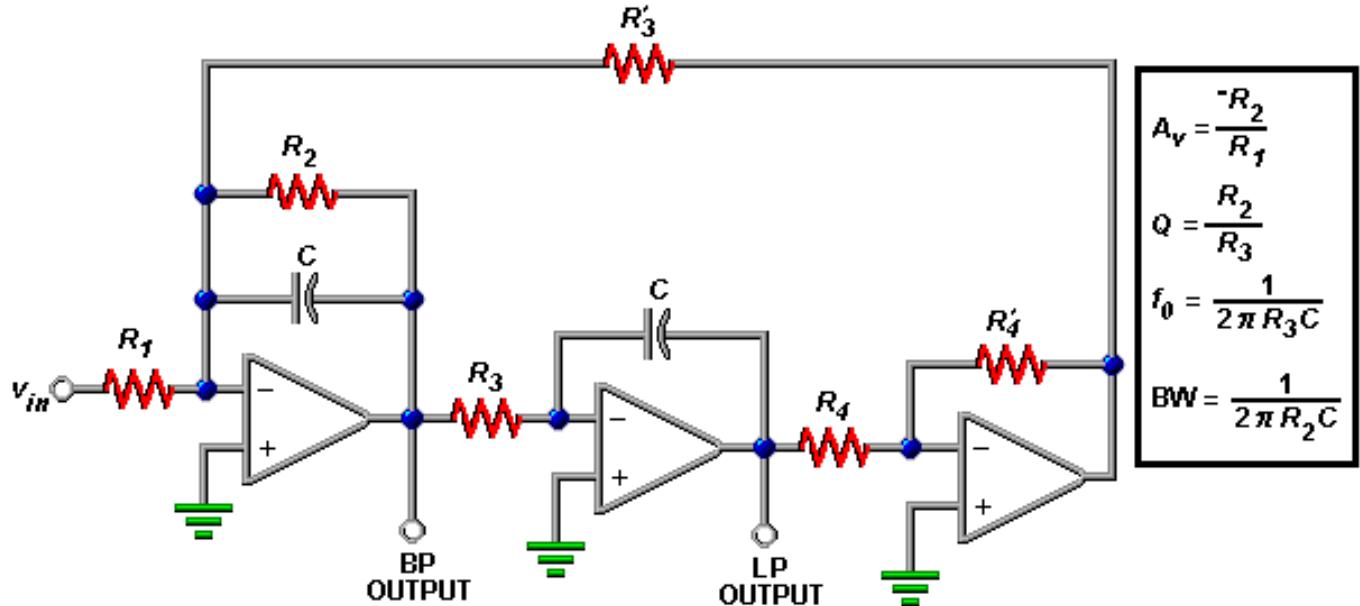
# Corrimiento lineal de fase

- Señales digitales sin distorsión
- Retardo constante para todas las frecuencias de la banda pasante
- Bessel cumple los requerimientos con un corte poco abrupto
- Se puede utilizar una forma No-Bessel seguido de un filtro pasa todo para corregir el desfasaje

## Respuesta Bessel para n=10



# Filtro Bicuadratico



# Filtro en Variable de estado

