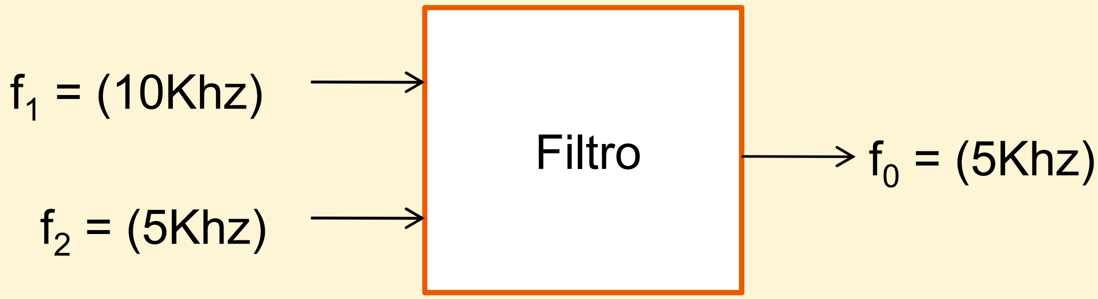
Introducción

- En los sistemas eléctricos y electrónicos, se desea manejar información la cual debe estar dentro de ciertas frecuencias.
- Pero, ciertos grupos de frecuencias se deben permitir pasar y las demás eliminar.
- Esta importante función es realizada por los **filtros**.
- Se denomina FILTRO a los sistemas electrónicos, que presentan características selectivas de frecuencias.
- Básicamente significa que la atenuación en ellos es variable con la frecuencia, lo cual permite discriminar las señales que pasarán libremente a través del filtro, las cuales quedarán atenuadas.

FILTROS

- Un filtro es un circuito eléctrico cuya función es modificar o manipular en general, el espectro en frecuencias de una señal de entrada de acuerdo a determinadas especificaciones.

- Son Redes de dos puertos que funcionan en el dominio de la frecuencia, cuya finalidad se centra en el paso o rechazo de una señal de entrada en un intervalo especifico de frecuencias, según las especificaciones de diseño.



Se denomina espectro de una señal a su descomposición en una escala de amplitudes respecto de la frecuencia, y se hace por medio de un análisis matemático (Series de Fourier), o poder observarlas por medio de un analizador de espectro.
El osciloscopio es un instrumento que muestra una forma de onda en función del tiempo, el analizador lo hace en función de la frecuencia.

FILTROS: CLASIFICACIÓN

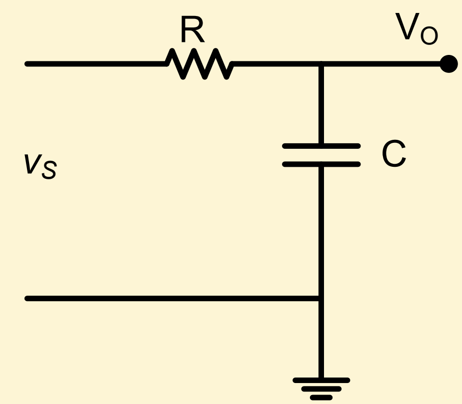
- Según si la magnitud a filtrar es o no eléctrica(corriente o tensión): *filtro eléctrico*. Existen también *filtros mecánicos*, *filtros acústicos*, *filtros ópticos*, etc.
- Según su comportamiento: *filtros lineales* y *filtros no lineales*
- Según el tipo de señal: *filtros analógicos* y *filtros digitales*. En los filtros analógicos la señal puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo, mientras que en los digitales la señal toma sólo valores discretos.
- Según la Ganancia: *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 bobinas e inductores y capacitores. Dado que las bobinas 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.
- Según la porción del espectro que dejan pasar: *filtros pasa bajo, pasa alto, pasa banda y rechaza banda*

En este capítulo se verán los *filtros eléctricos*, *analógicos*, *lineales y activos*.

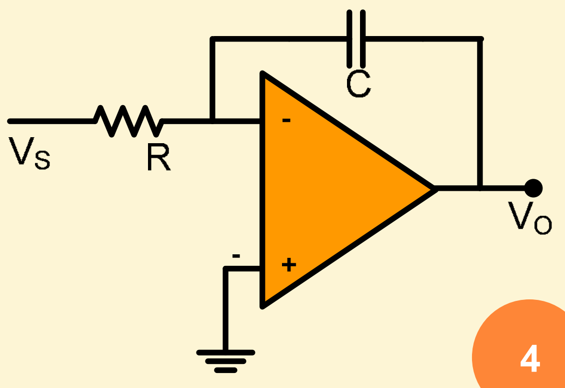
Objetivo: diseñar, analizar un filtro activo que satisfaga los requerimientos de un problema dado.

FILTROS PASIVOS

- Los filtros pasivos son circuitos selectores de frecuencias construidos sólo con elementos pasivos (resistencias, condensadores e inductancias).
- Este hecho hace que sean incapaces de amplificar señales, por lo que atenuan prácticamente las señales en todo su rango de operación (salvo excepciones en torno a la frecuencia de resonancia)



- Los filtros activos son dispositivos que no sólo son capaces de impedir o permitir el paso de señales a determinados valores o rangos de frecuencias, sino también de amplificarlas. Para que esto sea posible, hay que agregar elementos activos como los amplificadores operacionales



Comparación entre Filtros Activos y pasivos

Ventajas de los filtros activos respecto de los pasivos

- Permiten amplificar en la banda pasante.
- Pueden presentar una impedancia de entrada muy alta y una impedancia de salida baja.
- No son necesarias las bobinas para presentar ciertas respuestas.
- Facilitan el diseño por etapas en cascada.
- Aplicación para bajas frecuencia

Desventejas de los filtros activosrespecto de los pasivos

- Requieren de fuente de alimentación.
- Los valores de tensión de salida quedan limitados por los niveles de alimentación del amplificador operacional.
- El Ancho de Banda de los A.O. limita la respuesta en frecuencia.

Los **Filtros pasivos** son especialmente apropiados para aplicaciones de

- Media y alta Potencia.
- Alta frecuencia.

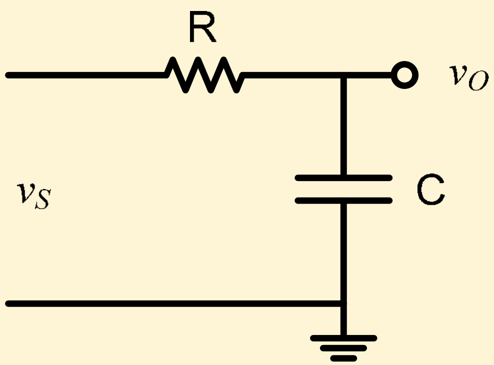
Los **Filtros activos** son especialmente apropiados para aplicaciones de

- Baja Potencia.
- Media y baja Frecuencia.

El estudio de los filtros implica:

- Diseño de un filtro determinado: estudio de configuraciones y criterios de diseño.
- Determinación de las característica del filtro: Estudio de la respuesta en frecuencia del filtro, o sea el trazado de diagrama de Bode de amplitud y fase

FILTRO PASA BAJOS PASIVO



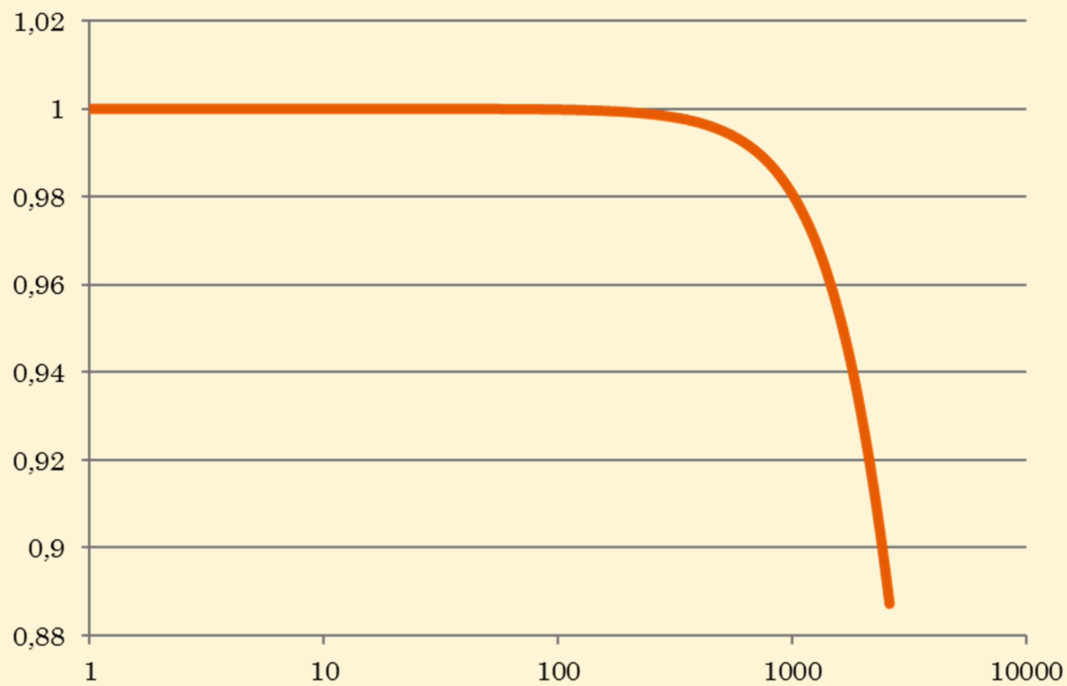
$$v_o = v_S \cdot \frac{1/jwC}{R + 1/jwC}$$

$$\frac{v_o}{v_S} = \frac{1}{1 + jwCR}$$

$$\left|\frac{v_o}{v_S}\right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

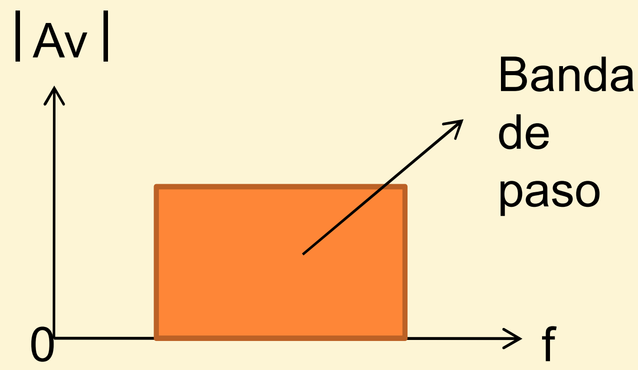
$$\measuredangle\left(\frac{v_o}{v_S}\right) = -tg^{-1}\omega CR$$

Ejemplo:
R= 2K, C=100nF



Respuesta en frecuencia de un Filtro Activo ideal

Es la representación grafica de la ganancia de tensión del filtro (Av) en función de la frecuencia (f).



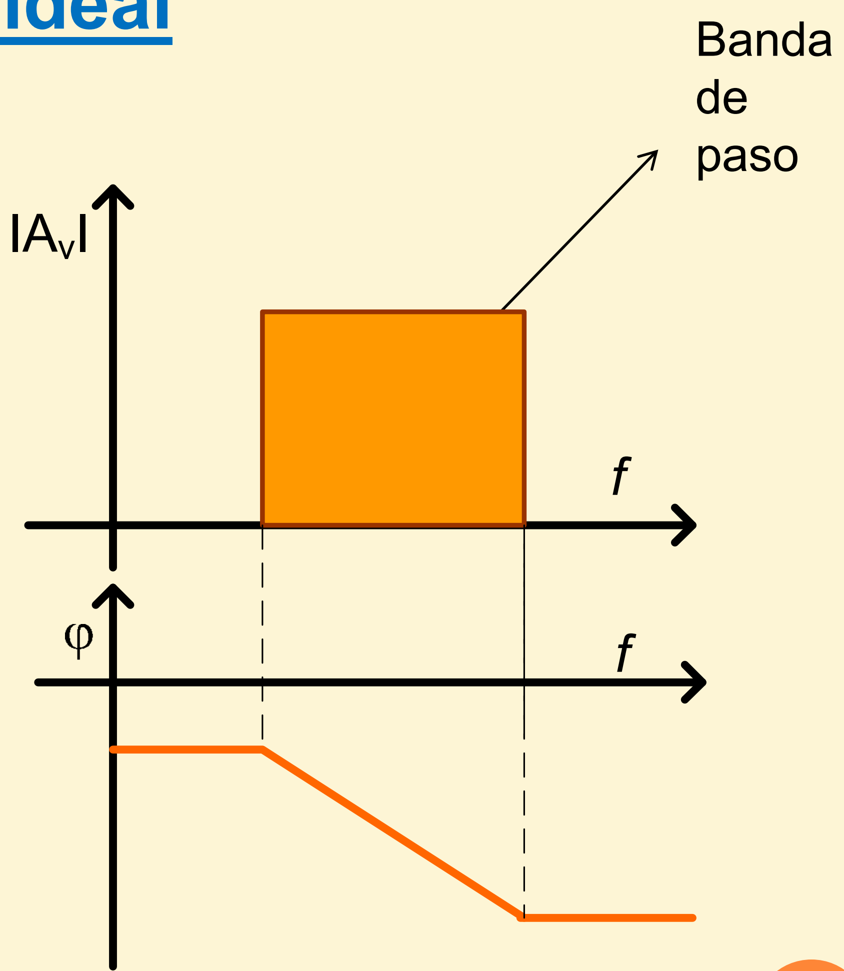
Se llama **Banda de paso** al intervalo de frecuencias que el filtro deja pasar con atenuación inferior a -3dB

Se llama **frecuencia de corte *f_C*** al valor de frecuencia para el cual la Av se reduce en 3dB con respecto a la ganancia de la banda de paso.

Como Av puede tener valores muy grandes para alguna frecuencias y muy pequeño para otras, se utiliza el dB.
Recordar: 1dB = 20 Log Av, donde la Av = V_o/V_S

Filtro ideal

Características



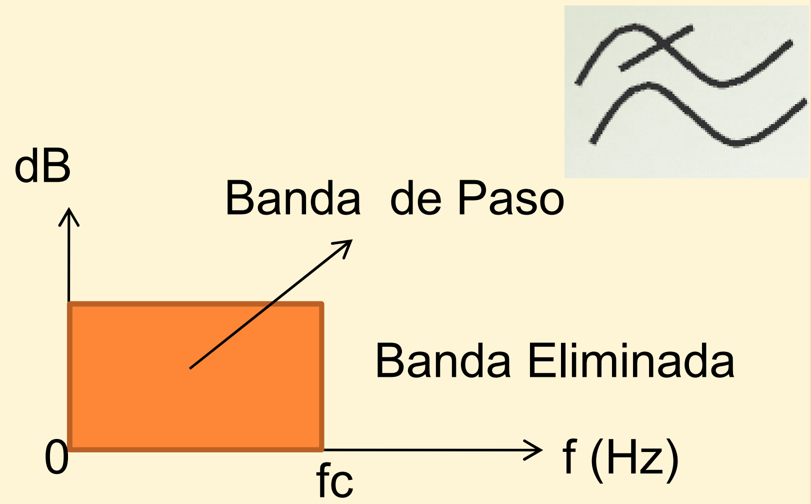
1.Magnitud constante de la función de transferencia en la banda de paso.

2. Frecuencia de corte abrupta, es decir atenuación infinita.

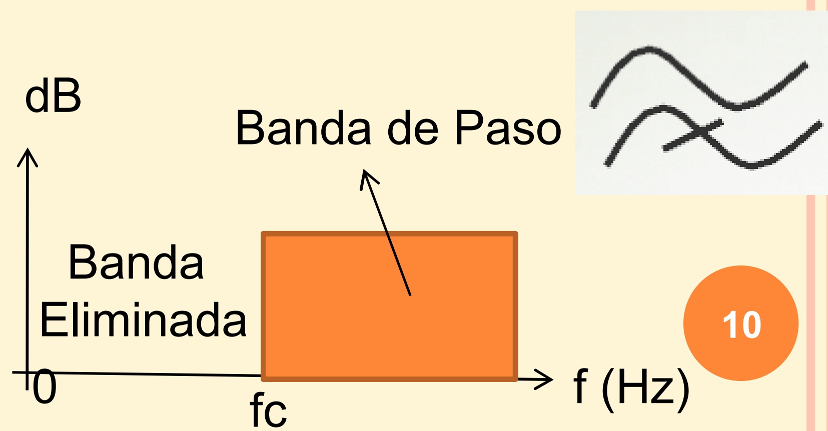
3.En la zona de paso la Fase varia en forma Lineal respecto a la frecuencia

Tipos de Filtros Activos: Según su respuesta en frecuencia, existen cuatro tipos de filtros

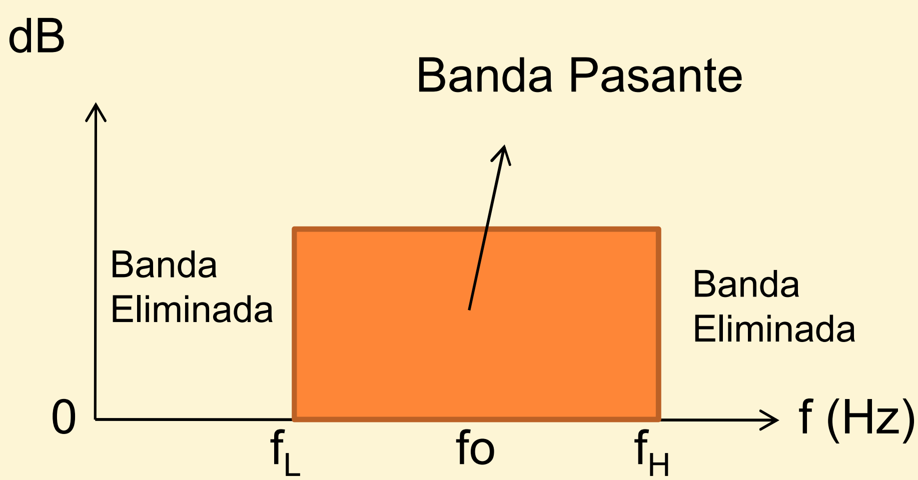
Filtro Paso Bajo ideal:
Permite el paso de señales cuyas frecuencias estén comprendidas desde 0 hasta una frecuencia de corte fc y rechaza todas las frecuencias por encima de dicha fc.



Filtro Paso Alto ideal :
Permite el paso de señales cuyas frecuencias estén comprendidas por encima de una frecuencia de corte fc y rechaza todas aquellas que estén entre 0 y dicha frecuencia de corte.

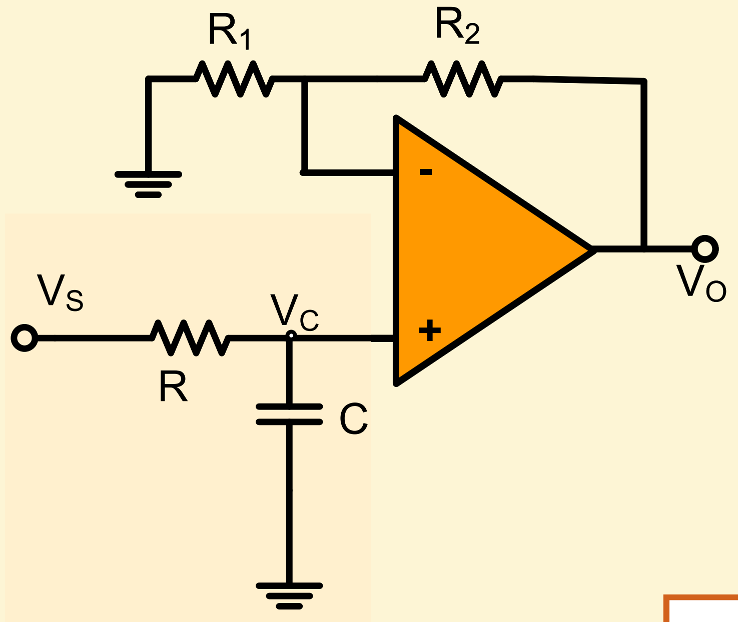


Filtro Paso Banda ideal:
Permite el paso de señales cuyas frecuencias estén comprendidas por encima de una frecuencia de corte inferior fc_L y por debajo de una frecuencia de corte superior fc_H, rechazando las frecuencia fuera de este rango.



fc_L Frecuencia corte inferior
fc_H Frecuencia corte superior
fo Frecuencia central de operación

FILTRO PASA BAJOS NO INVERSOR



$$v_C = \frac{1/jwC}{R + 1/jwC} v_S = \frac{1}{1 + jwCR} v_S$$

$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_C$$

$$A_V = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{1 + jwCR}$$

Como: $A_o = 1 + \dfrac{R_2}{R_1}$ $\Rightarrow$ $A_V = \dfrac{A_O}{1 + jwCR}$

$$|A_V| = \frac{A_o}{\sqrt{1 + w^2 C^2 R^2}} = \frac{A_o}{\sqrt{1 + \left(\frac{w}{w_c}\right)^2}}$$

$$\varphi = -\tan g^{-1} wCR$$

FILTRO PASA BAJOS NO INVERSOR

$$|A_V| = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{\sqrt{1+w^2C^2R^2}}$$

$$\varphi = -\tan g^{-1} wCR$$

$$Para \quad w=0 \quad |Av| = 1+\frac{R_2}{R_1} = A_O$$

$$Av|dB| = 20\log A_O \wedge \quad \varphi = 0$$

$$|Av| = A_O \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{w}{w_C}\right)^2}}$$

$$\varphi = -\tan g^{-1} \frac{w}{w_C}$$

$$Para \quad w = w_c = \frac{1}{CR} \quad \Rightarrow |Av| = \frac{A_O}{\sqrt{2}}$$

$$Av|dB| = 20\log A_O - 3 \quad \wedge \quad \varphi = -\frac{\pi}{4}$$

Para ***w=1/CR*** la ganancia cae 3dB (en veces cae a un 70%) ⇨ que determina la ***frecuencia de corte*** w_C ⇨ ***Punto de media potencia***

FILTRO PASA BAJOS NO INVERSOR

$$|Av| = A_O \frac{1}{\sqrt{1+\left({w}/{w_C} \right)^2}}$$

$$\varphi = -\tan g^{-1} \, {w}/{w_C}$$

$$Para \quad w >> w_c \quad \Rightarrow |Av| \cong A_O \frac{w_c}{w}$$

$$Cálculo\ de\ f_T$$

$$A_O \frac{w_c}{w} = 1 \Rightarrow w_T = \frac{A_O}{R.C} = A_O.w_C$$

$$\varphi = -\frac{\pi}{2}$$

$$Para\ w >> w_C$$

$$|A_V| = 20\log 0 = -\infty$$

$$\wedge \quad \varphi = -\frac{\pi}{2}$$

$$Para\ f_T$$

$$Av = 20\log 1 = 0$$

$$\varphi = -\tan g^{-1} \, {w}/{w_C} = -\tan g^{-1} \infty = -\frac{\pi}{2}$$

FILTRO PASA BAJOS NO INVERSOR

Cálculo de la pendiente de la curva *Av* vs *frecuencia*:

$$|Av| = A_O \frac{1}{\sqrt{1 + \left(w/w_C \right)^2}}$$

Si: $$w \rangle w_C \;\therefore\quad |Av| \cong \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\frac{w_C}{w}$$

Para una frecuencia w_1, la ganancia de tensión en dB es:

$$\because\; Av_1 |dB| = 20\log\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + 20\log w_C - 20\log w_1$$

El intervalo entre dos frecuencias cuya razón es 10 se llama "*década*". Así, dadas ω_1 y ω_2, siendo y $\omega_2 = 10\omega_1$, el intervalo entre ellas es una década.

Para una frecuencia w_2, la ganancia de tensión en dB es:

$$\because\; Av_1 |dB| = 20\log\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + 20\log w_C - 20\log w_2$$

FILTRO PASA BAJOS INVERSOR

Como $\omega_2 = 10\omega_1$, reemplazando:

$$\because \; Av_2|dB| = 20\log\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + 20\log w_c - 20\log w_1 - 20\log 10$$

$$\because \; Av_2|dB| = 20\log\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + 20\log w_c - 20\log w_1 - 20$$

La diferencia entre las ganancias A_{v1} y A_{v2} es:

$$\because \; Av_2|dB| - Av_1|dB| = -20$$

- La pendiente de la recta asintótica para un circuito de primer orden, cuando $\omega >> \omega_C$, es de *–20dB/década*.
- La asíntota interseca la línea de 0dB en $\omega = \omega_T$ (*frecuencia de ganancia unitaria*).

FILTRO PASA BAJOS NO INVERSOR

Cálculo de la pendiente de la curva *Av* vs *frecuencia*:

$$w \rangle w_C \;\therefore\quad |Av| \simeq \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{w_C}{w}$$

Para una frecuencia w_1, la ganancia de tensión en dB es:

$$\because\; Av_1 |dB| = 20\log\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + 20\log w_C - 20\log w_1$$

El intervalo entre dos frecuencias cuya razón es 2 se llama "*OCTAVA*". Así, dadas ω_1 y ω_2, siendo $\omega_2 = 2\omega_1$, el intervalo entre ellas es <u>una octava</u>.

Para una frecuencia w_2, la ganancia de tensión en dB es:

$$\because\; Av_1 |dB| = 20\log\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + 20\log w_C - 20\log w_2$$

FILTRO PASA BAJOS NO INVERSOR

Como $\omega_2 = 2\omega_1$, reemplazando :

$$\because\ Av_2\left|dB\right| = 20\log\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + 20\log w_c - 20\log w_1 - 20\log 2$$

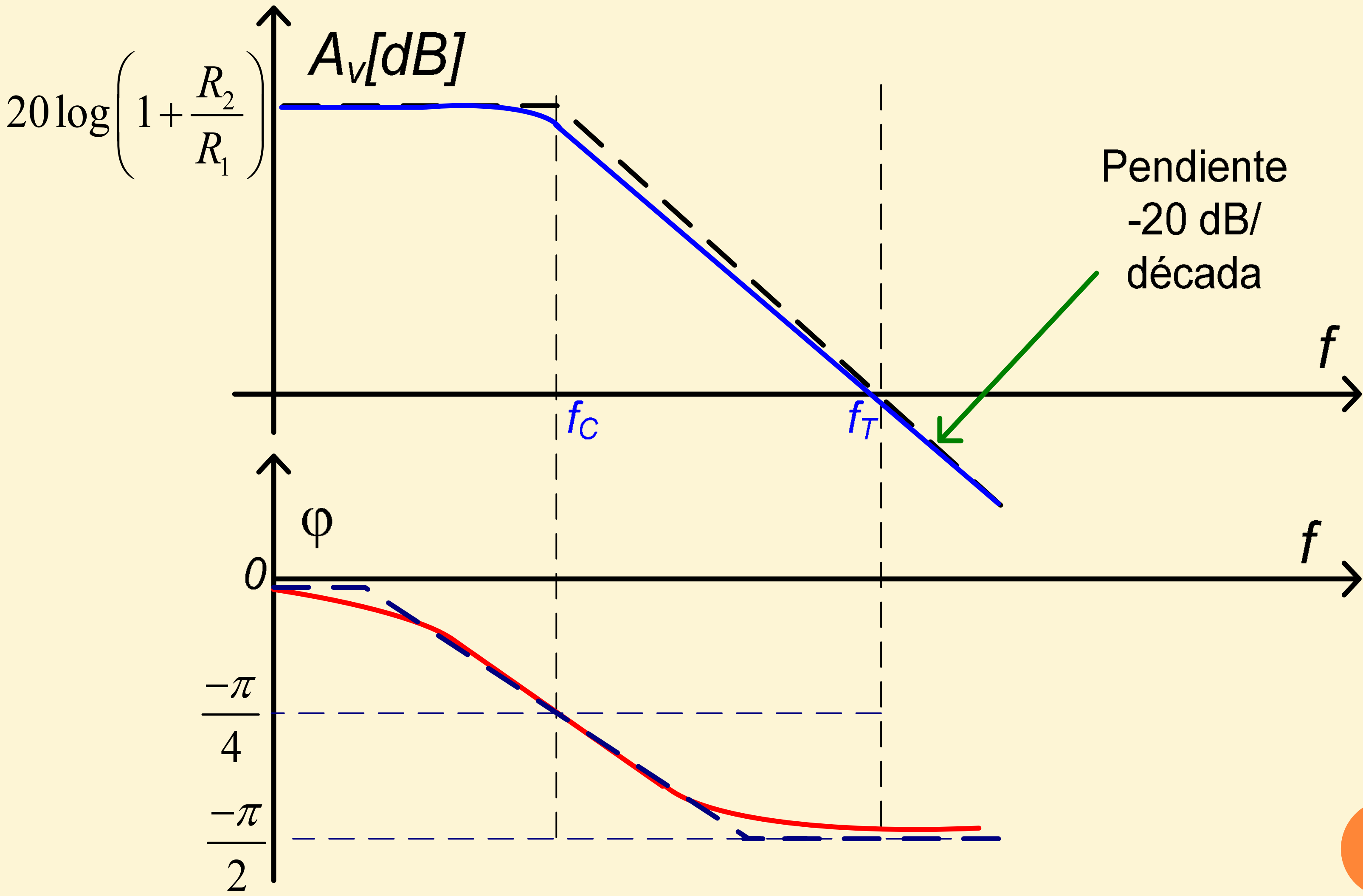
$$\because\ Av_2\left|dB\right| = 20\log\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + 20\log w_c - 20\log w_1 - 6$$

La diferencia entre las ganancias A_{v1} y A_{v2} es:

$$\because\ Av_2\left|dB\right| - Av_1\left|dB\right| = -6$$

⇨la pendiente cae -6dB en una Octava

FILTRO PASA BAJOS NO INVERSOR



Pasos para diseñar un filtro Pasa Bajo

1. Establecer el valor de la ganancia A_v en la zona plana.
2. Establecer el valor de la frecuencia de corte fc
3. Adoptar el valor de C . Criterio práctico: $\frac{10^{-5}}{f_C} \leq C \leq \frac{10^{-4}}{f_C}$
4. Calcular el valor de la resistencia que conforma el filtro.

$$R = \frac{1}{2 . \pi . C . f_C}$$

5. Calcular el/los valores de la/las resistencias que determinan la ganancia. Considerar las sig condiciones: valor de ganancia en zona plana, valores necesarios para que el AOp real se comporte como ideal, compensaciones de offset
6. Simular
7. Ajustar la frecuencia de corte por medio de R
8. Ajustar la ganancia por medio de R_1 o R_2.

EJEMPLO: DISEÑO DE UN FILTRO PASA BAJOS

1. *Diseñe un filtro que permita el paso de frecuencias inferiores a 1 KHz. El mismo debe amplificar las frec. bajas como mínimo 6 veces.*

2. Entonces: fc=1KHz. Se adopta el valor de C:

$$\boxed{\frac{10^{-5}}{1000} \leq C \leq \frac{10^{-4}}{1000} \Rightarrow 10^{-8} \leq C \leq 10^{-7}} \Rightarrow \boxed{C = 1.10^{-7} F = 0{,}1 \mu F}$$

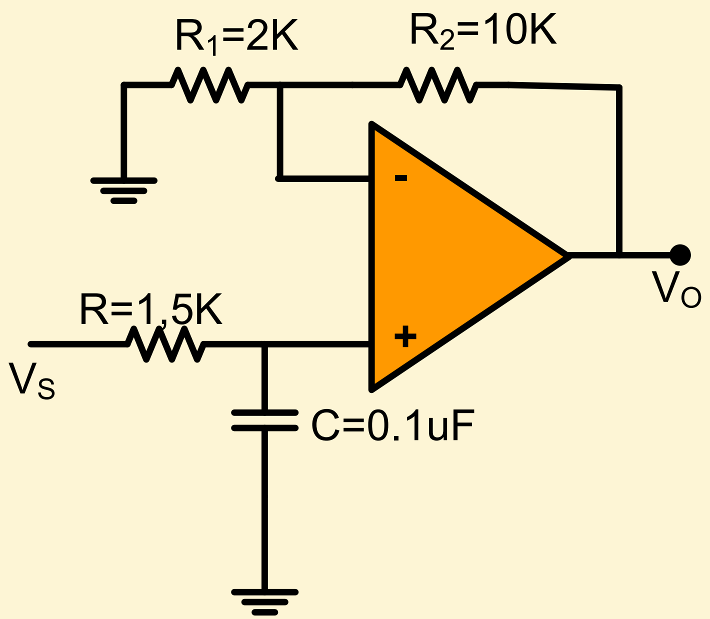
3. Se calcula el valor de la resistencia R (conforma el filtro).

$$\boxed{R = \frac{1}{2.\pi.C.f_C} \cong 1500\Omega}$$

4. Se calcula los valores de la/las resistencias que determinan la ganancia

$$\boxed{|Av| = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 6 \Rightarrow R_2 = 5R_1} \Rightarrow \boxed{Si R_1 = 2K\Omega \therefore R_2 = 10K\Omega}$$

FILTRO PASA BAJOS. EJEMPLO



$$|A_V| = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{\sqrt{1+w^2C^2R^2}}$$

$$\varphi = -\tan g^{-1} wCR$$

Para minimizar los efectos de la tensión OFFSET, de entrada se ha impuesto la condición.

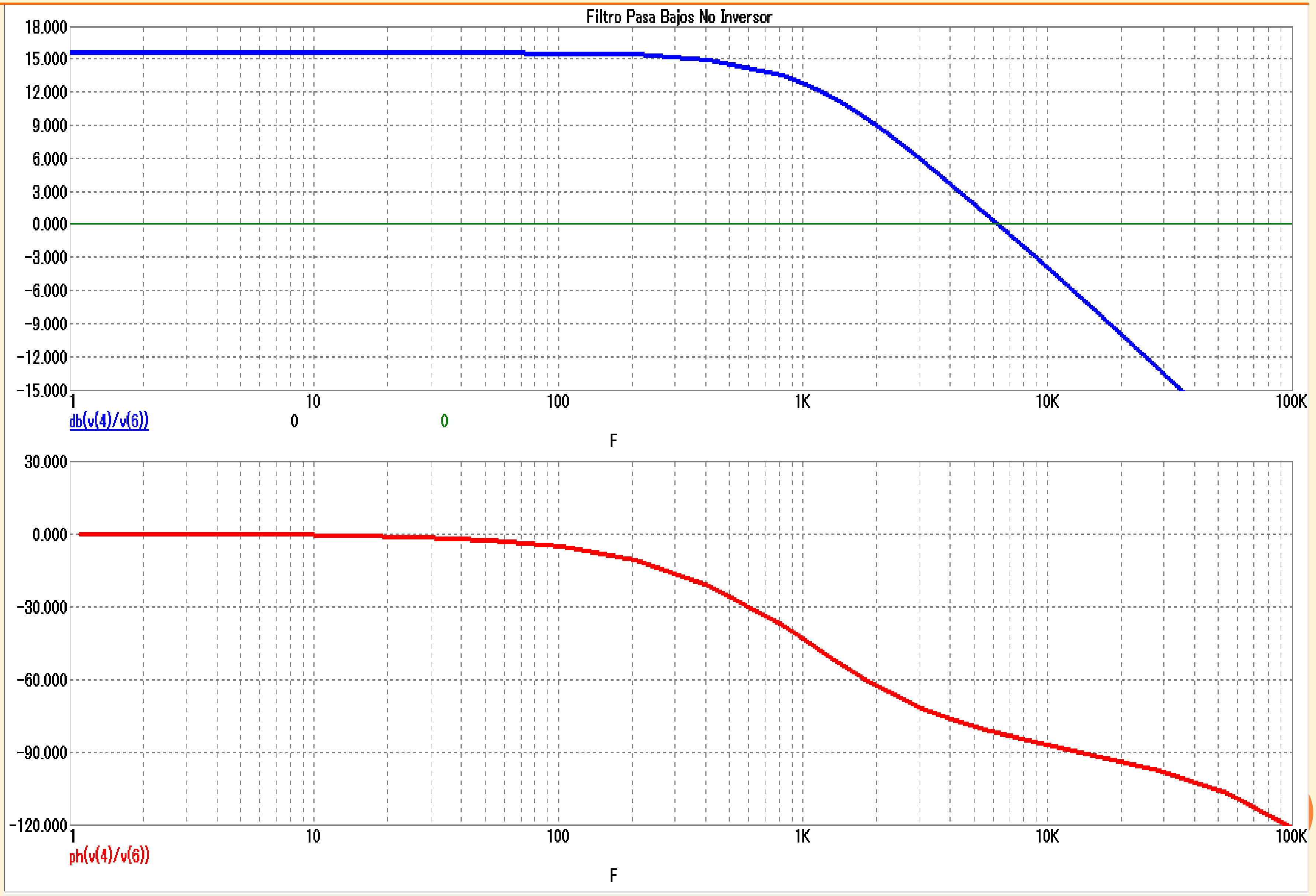
$$R = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

$$\tau_C = \frac{1}{w_C} = C.R = 0{,}00015s \quad \Rightarrow \quad f_C = \frac{1}{2.\pi.C.R} \approx 1061{,}6\,Hz$$

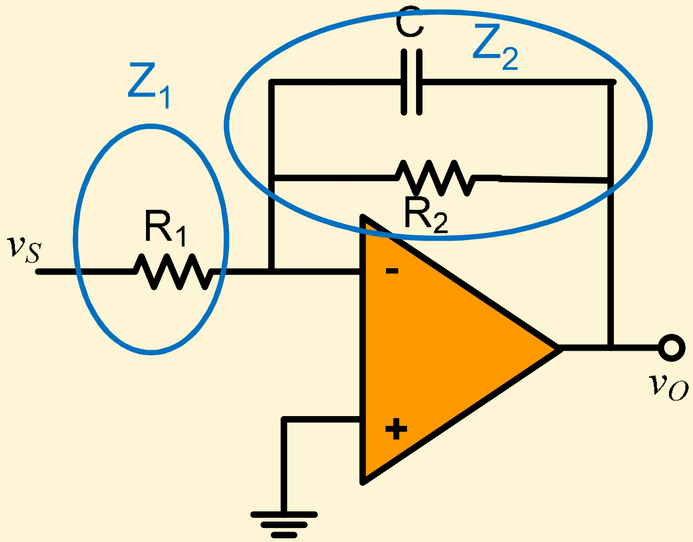
$$A_V = 20\log\left(1 + {R_2}/{R_1}\right) = 20.\log(6) = 15{,}56\,dB$$

Ver simulación

FILTRO PASA BAJOS. EJEMPLO



FILTRO PASA BAJOS INVERSOR



$$Av = \frac{v_O}{v_S} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{1}{R_1 . Y_2}$$

$$Y_2 = \frac{1}{R_2} + jwC = \frac{1}{R_2}(1 + jwCR_2)$$

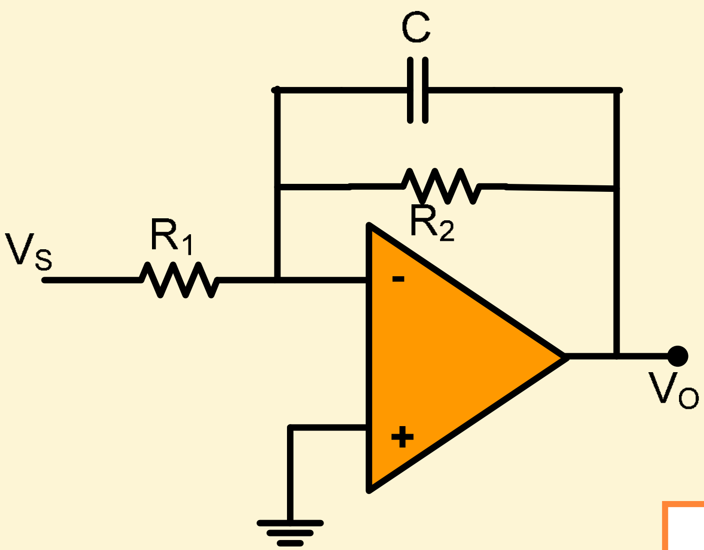
$$Av = \frac{v_O}{v_S} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{(1 + jwCR_2)}$$

Como para ω=0:

$$|A_v| = \frac{R_2}{R_1} = A_o$$

$$A_v = -\frac{A_o}{1 + j\omega CR_2}$$

FILTRO PASA BAJOS INVERSOR



$$Av = \frac{v_O}{v_S} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{1}{R_1.Y_2}$$

$$Y_2 = \frac{1}{R_2} + jwC$$

$$|Y_2| = \frac{1}{R_2}\sqrt{1 + w^2C^2R_2{}^2}$$

$$\varphi_{Y_2} = \tan^{-1} wCR_2$$

$$|Av| = \frac{R_2}{R_1}\frac{1}{\sqrt{1 + w^2C^2R_2{}^2}} = \frac{A_o}{\sqrt{1 + w^2C^2R_2{}^2}}$$

$$\varphi = -\pi - \tan g^{-1} w.C.R_2$$

Volver a fase

FILTRO PASA BAJOS INVERSOR

$$|Av| = \frac{R_2}{R_1}\frac{1}{\sqrt{1 + w^2C^2R_2^{\,2}}}$$

$$Para \quad w = 0 \quad |Av| = \frac{R_2}{R_1} = A_0$$

$$Av|dB| = 20\log\frac{R_2}{R_1}$$

$$Para \quad w = \frac{1}{CR_2} \quad \Rightarrow |Av| = \frac{R_2}{R_1}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$Av|dB| = 20\log\frac{R_2}{R_1} - 3$$

$$w = \frac{1}{CR_2} = w_c = 2\pi f_c$$

$$|Av| = \frac{R_2}{R_1}\frac{1}{\sqrt{1 + \left(w/w_C\right)^2}}$$

$$|Av| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \left(w/w_C\right)^2}}$$

En un diagrama de Bode de magnitud, la frecuencia para la cual ***la magnitud cae –3dB respecto de la que corresponde a la zona plana (ω=0)***, se conoce como "***frecuencia de corte***" del circuito. ⇨ **Punto de media potencia**

FILTRO PASA BAJOS INVERSOR

$$|Av| = \frac{R_2}{R_1}\frac{1}{\sqrt{1+(wCR_2)^2}}$$

$$|Av| = \frac{R_2}{R_1}\frac{1}{\sqrt{1+\left(w/w_C\right)^2}}$$

$$Para \quad w=\infty \quad \Rightarrow |Av| = 0$$

$$Av|dB| = -\infty$$

$$Para \quad w=\frac{1}{CR_1} \quad \Rightarrow |Av| = 1$$

$$Av|dB| = 0$$

$$Para \quad w=\frac{1}{CR_1} = w_T = \frac{1}{2\pi f_T}$$

En un diagrama de Bode de magnitud, la frecuencia para la cual ***la magnitud vale cero dB***, se conoce como "***frecuencia de ganancia unitaria***"

FILTRO PASA BAJOS INVERSOR

$$|Av| = \frac{R_2}{R_1}\frac{1}{\sqrt{1+\left(w/w_C\right)^2}}$$

Cálculo de la pendiente de la curva *Av* vs *frecuencia*:

Si: $w \rangle w_C \therefore \quad |Av| \cong \frac{R_2}{R_1}\frac{w_C}{w}$

Para una frecuencia w_1, la ganancia de tensión en dB es:

$$\because \; Av_1 |dB| = 20\log\frac{R_2}{R_1} + 20\log w_C - 20\log w_1$$

El intervalo entre dos frecuencias cuya razón es 10 se llama "*década*". Así, dadas ω_1 y ω_2, siendo y $\omega_2 = 10\omega_1$, el intervalo entre ellas es una década.

Para una frecuencia w_2, la ganancia de tensión en dB es:

$$\because \; Av_1 |dB| = 20\log\frac{R_2}{R_1} + 20\log w_C - 20\log w_2$$

Como $\omega_2 = 10\omega_1$, reemplazando:

$$\because\ Av_2|dB| = 20\log\frac{R_2}{R_1} + 20\log w_c - 20\log w_1 - 20\log 10$$

$$\because\ Av_2|dB| = 20\log\frac{R_2}{R_1} + 20\log w_c - 20\log w_1 - 20$$

La diferencia entre las ganancias A_{v1} y A_{v2} es:

$$\because\ Av_2|dB| - Av_1|dB| = -20$$

- La pendiente de la recta asintótica para un circuito de primer orden, cuando $\omega \gg \omega_C$, es de *–20dB/década*.
- La asíntota interseca la línea de 0dB en $\omega = \omega_T$ (*frecuencia de ganancia unitaria*).

FILTRO PASA BAJOS INVERSOR

Cálculo de la pendiente de la curva *Av* vs *frecuencia*:

$$w \rangle w_C \ \therefore \quad |Av| \cong \frac{R_2}{R_1}\frac{w_C}{w}$$

Para una frecuencia w_1, la ganancia de tensión en dB es:

$$\because \ Av_1 |dB| = 20\log\frac{R_2}{R_1} + 20\log w_C - 20\log w_1$$

El intervalo entre dos frecuencias cuya razón es 2 se llama "*OCTAVA*". Así, dadas ω_1 y ω_2, siendo $\omega_2 = 2\omega_1$, el intervalo entre ellas es una octava.

Para una frecuencia w_2, la ganancia de tensión en dB es:

$$\because \ Av_1 |dB| = 20\log\frac{R_2}{R_1} + 20\log w_C - 20\log w_2$$

Como $\omega_2 = 2\omega_1$, reemplazando :

$$\because \; Av_2 |dB| = 20 \log \frac{R_2}{R_1} + 20 \log w_c - 20 \log w_1 - 20 \log 2$$

$$\because \; Av_2 |dB| = 20 \log \frac{R_2}{R_1} + 20 \log w_c - 20 \log w_1 - 6$$

La diferencia entre las ganancias A_{v1} y A_{v2} es:

$$\because \; Av_2 |dB| - Av_1 |dB| = -6$$

⇨la pendiente cae -6dB en una Octava

DIAGRAMA DE BODE DE UN FILTRO PB

$$Av\left|dB\right| = 20\log\left(\frac{R_2}{R_1}\frac{1}{\sqrt{1+w^2C^2R_2^{\,2}}}\right) = 20\log\frac{R_2}{R_1} - 10\log\left(1+w^2C^2R_2^{\,2}\right)$$

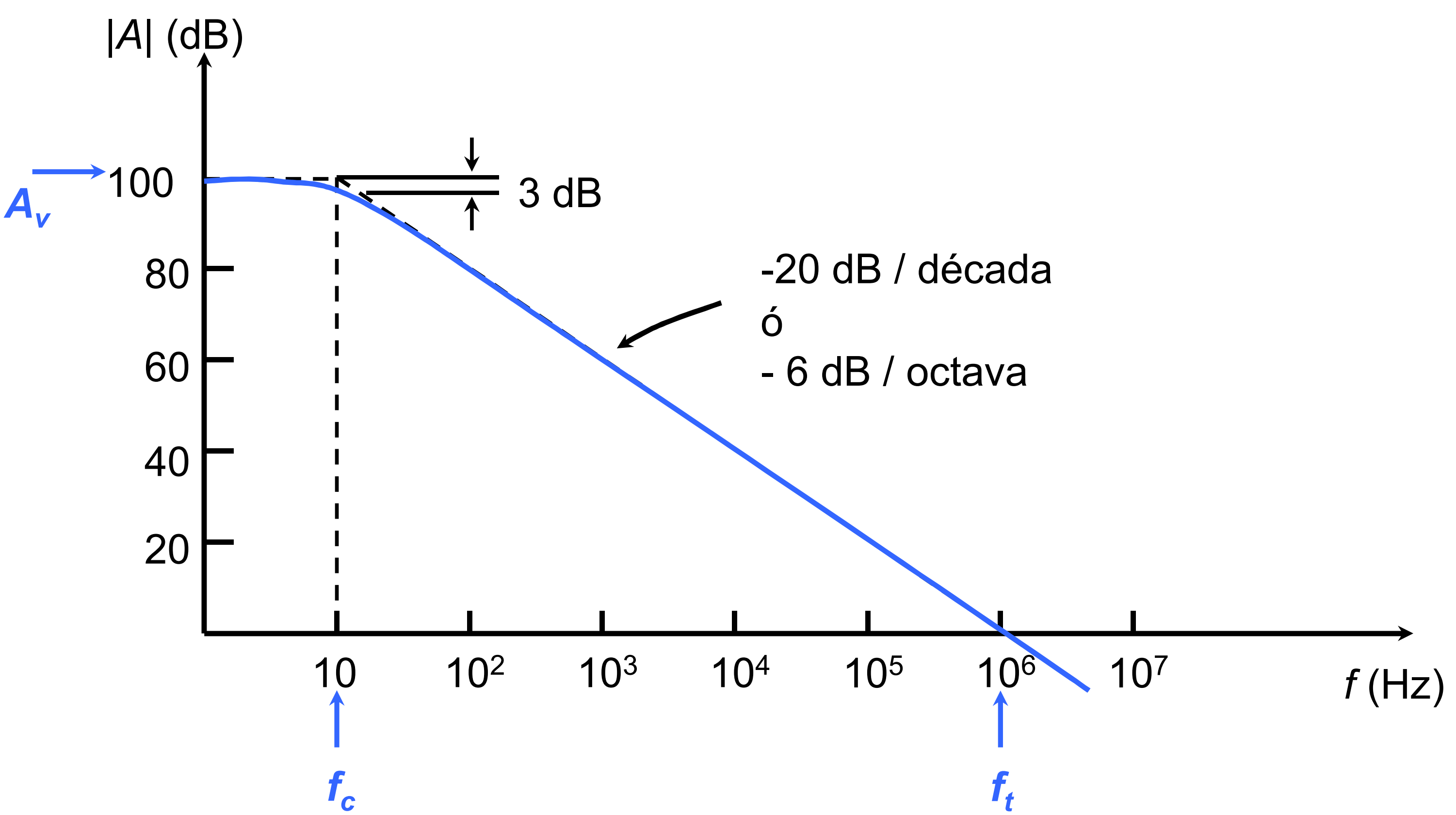


DIAGRAMA DE BODE DE UN FILTRO PB

Análisis de la diferencia de fase

Ir a calculo de ganancia

$$\varphi = -\pi - \tan g^{-1} w.C.R_2$$

$$w = 0 \Rightarrow \varphi = -\pi$$

$$Para \quad w = w_C = \frac{1}{CR_2} \quad \Rightarrow \varphi = -\frac{5}{4}\pi$$

$$Para \quad w = \infty \quad \Rightarrow \varphi = -\frac{3\pi}{2}$$

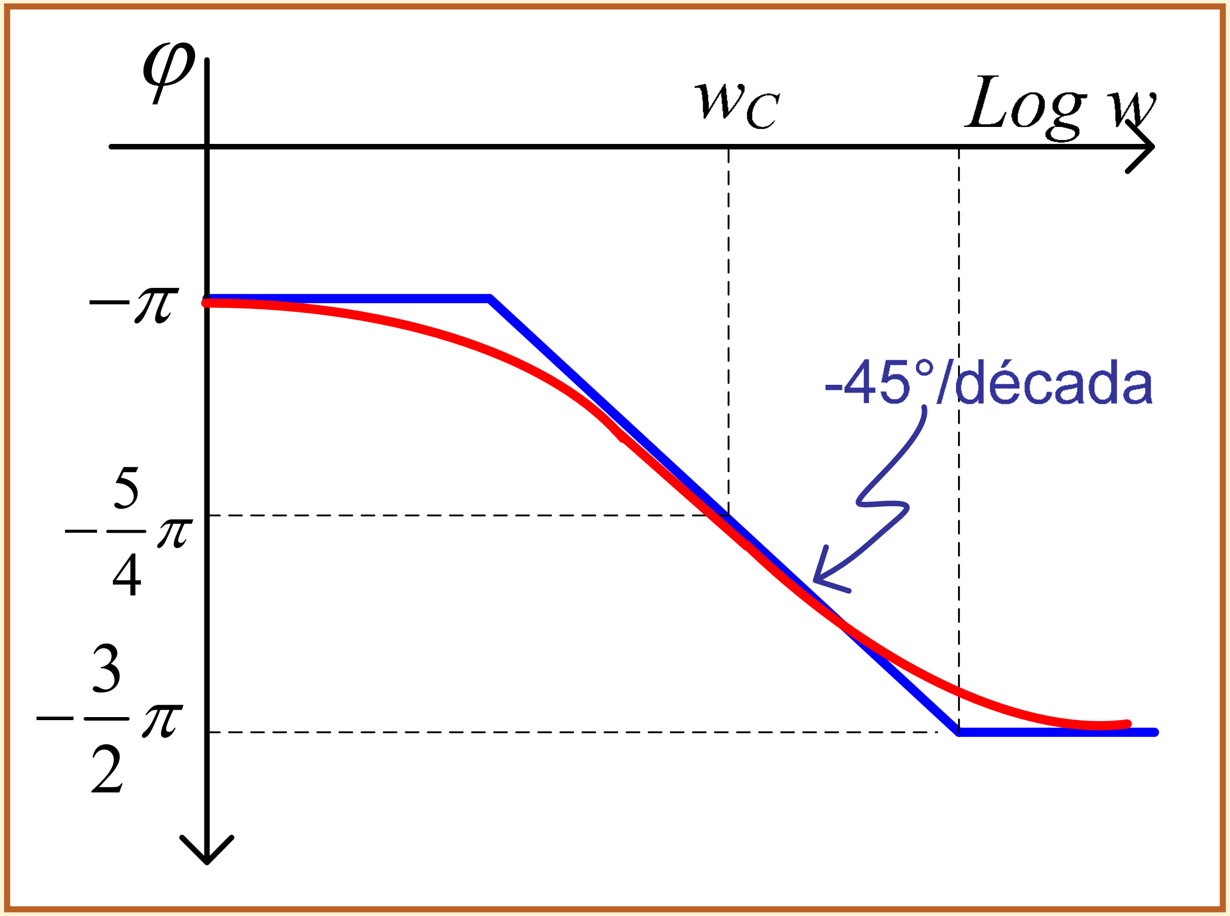
$$Para \quad w = w_T = \frac{1}{CR_1} \Rightarrow \varphi = -\pi - \tan g^{-1}\frac{R_2}{R_1}$$

En general:

$$\varphi = -\pi - \tan g^{-1} \frac{w}{w_C}$$

DIAGRAMA DE BODE DE UN FILTRO PB

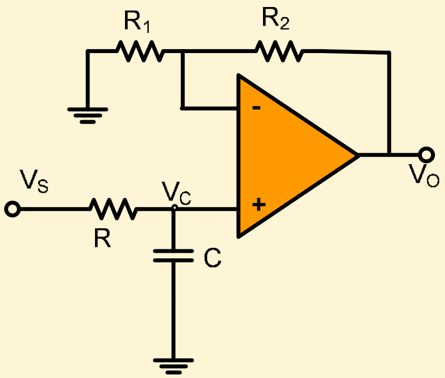
$$\varphi = -\pi - \tan g^{-1} w.C.R_2 = -\pi - \tan g^{-1} \frac{w}{w_C}$$



RESUMEN FILTRO PB INVERSOR Y NO INVERSOR

TEMA 4

Filtro Pasa bajo no inversor



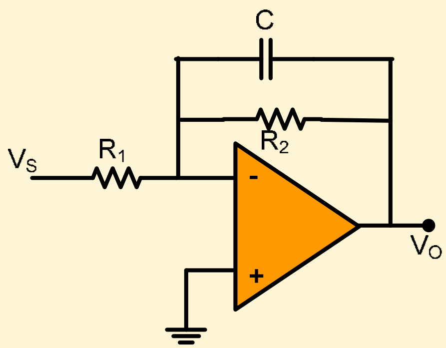
$$|A_V| = \frac{A_o}{\sqrt{1+w^2C^2R^2}}$$

$$\varphi = -\tan g^{-1} wCR$$

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

$$w_C = \frac{1}{CR}$$

Filtro Pasa bajo inversor



$$|Av| = \frac{A_o}{\sqrt{1+w^2C^2R_2^{\,2}}}$$

$$\varphi = -\pi - \tan g^{-1} w.C.R_2$$

$$A_o = \frac{R_2}{R_1}$$

$$w_C = \frac{1}{CR_2}$$

FILTROS REALES VS IDEALES

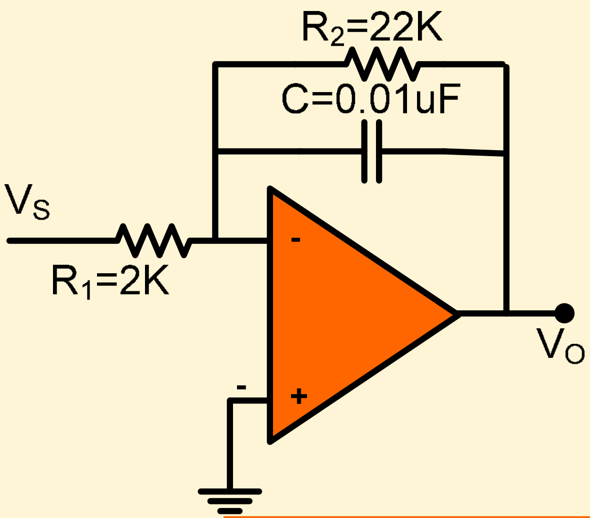
En comparación con el filtro ideal, los filtros reales adolecen de los siguientes defectos:

- La transición entre la banda que se quiere dejar pasar y la que se quiere eliminar no es abrupta, sino que tiene una determinada pendiente que depende del número de orden del filtro.
- La respuesta en fase no es lineal, esto aumenta la distorsión de la señal significativamente.

➢ La ganancia y la fase de un filtro puede ser optimizada para satisfacer uno de los siguientes tres criterios:

- Una respuesta máxima plana en la banda de paso.
- Una transición rápida entre la banda de la señal deseada y la no deseada.
- Una respuesta de fase lineal.

FILTRO PASA BAJOS- EJEMPLO



$$|Av| = \frac{R_2}{R_1}\frac{1}{\sqrt{1+w^2C^2R_2^{\ 2}}}$$

$$\varphi = -\pi + \tan g^{-1} w.C.R_2$$

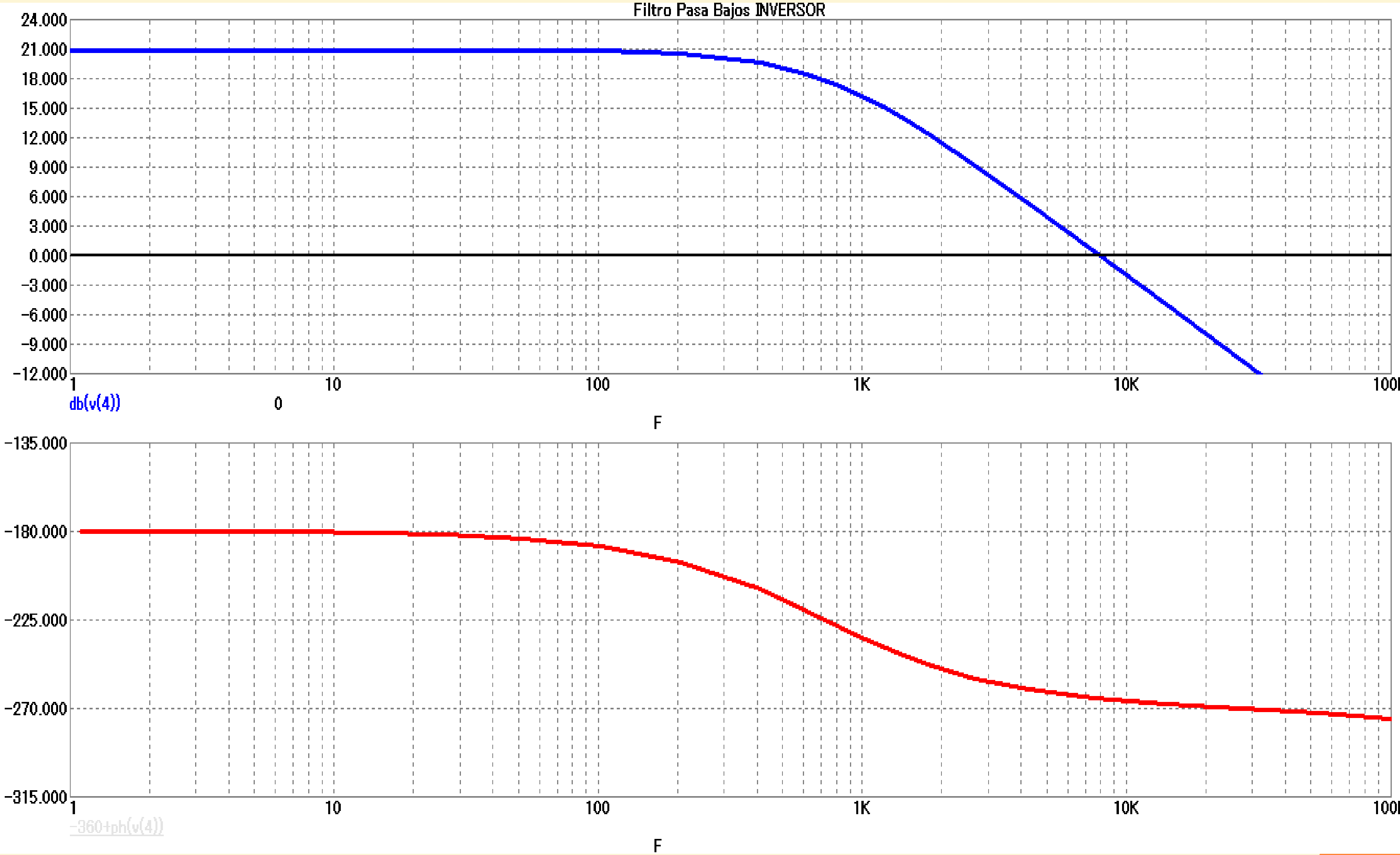
$$C.R_1 = 0{,}00002s \quad \Rightarrow \quad f_T = \frac{1}{2.\pi.C.R_1} = 7961Hz$$

$$C.R_2 = 0{,}00022s \quad \Rightarrow \quad f_C = \frac{1}{2.\pi.C.R_2} = 723{,}8Hz$$

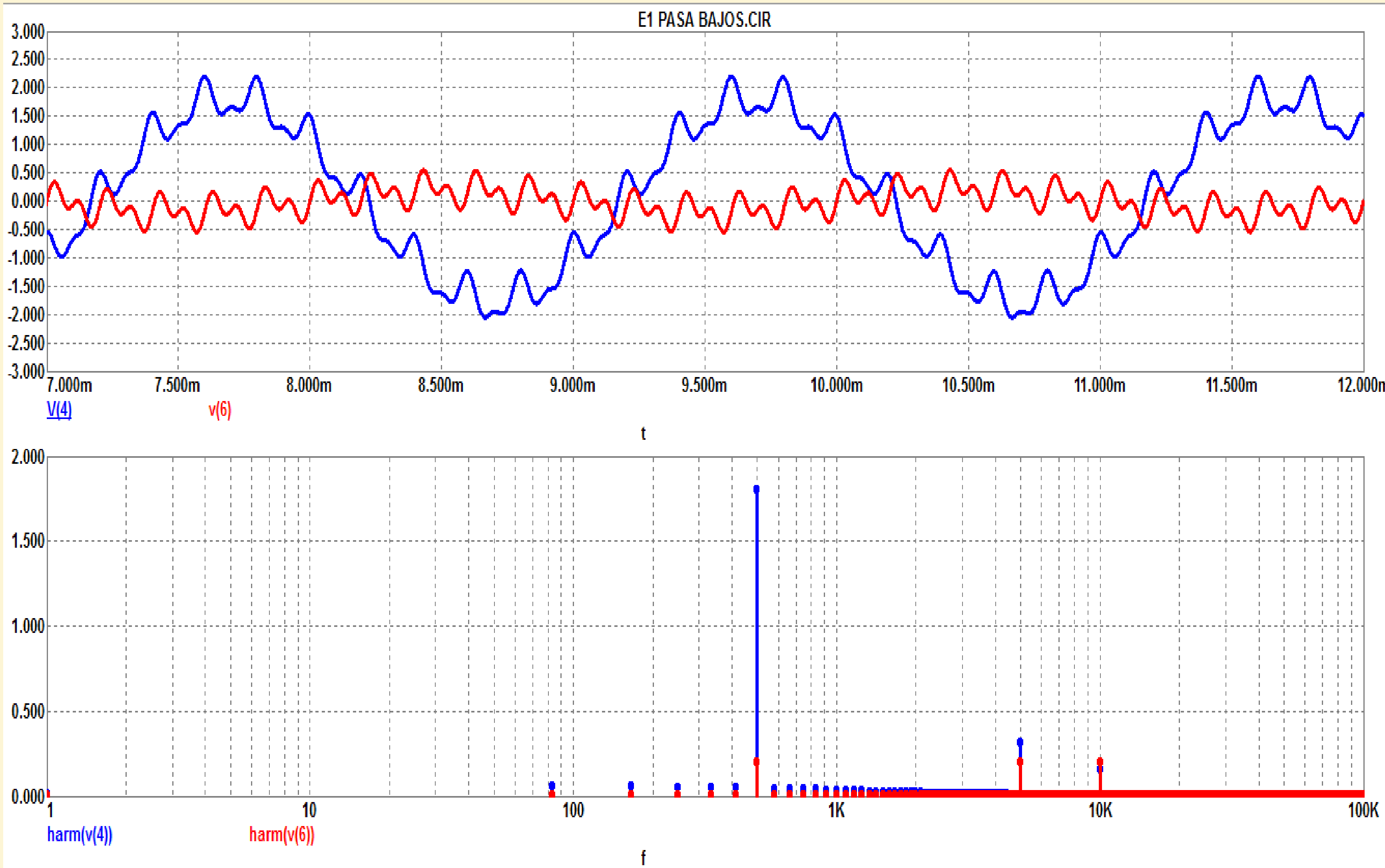
$$A_V = 20\log\left(R_2/R_1\right) = 20.\log(11) = 21$$

Ver simulación

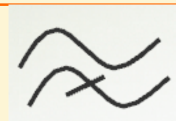
FILTRO PASA BAJOS- EJEMPLO



FILTRO PASA BAJOS- EJEMPLO

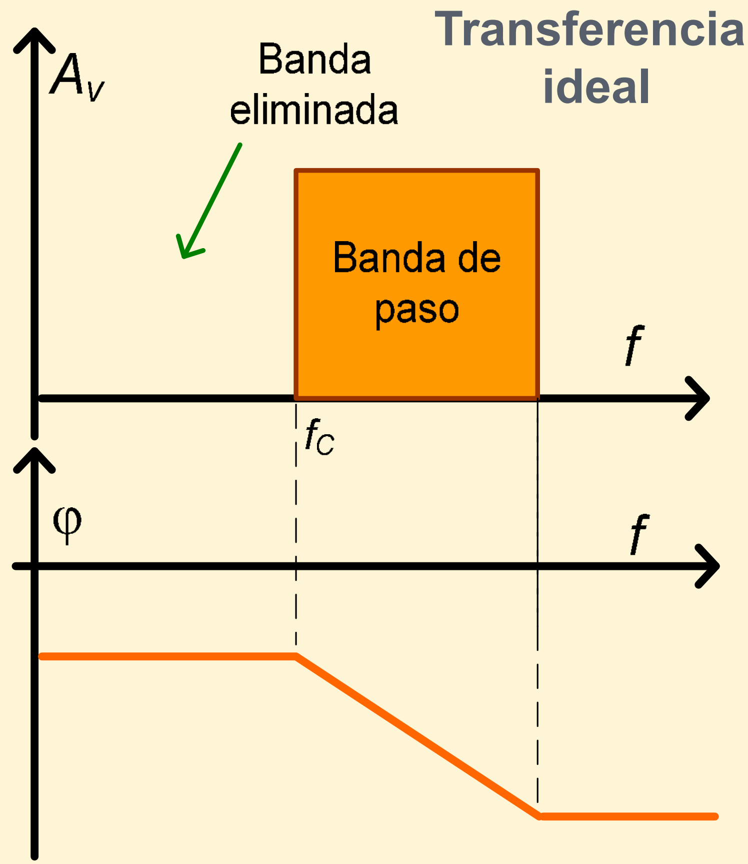


FILTRO PASA ALTOS IDEAL

Símbolo: 

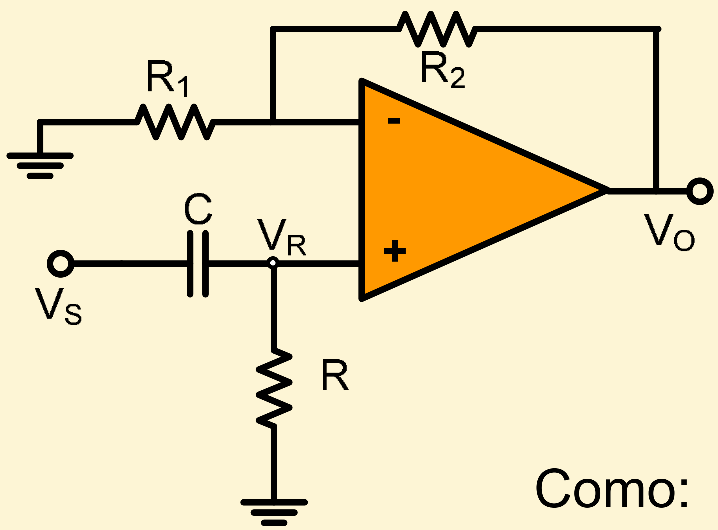
Filtro Paso Alto ideal :
Permite el paso de señales cuyas frecuencias estén comprendidas por encima de una frecuencia de corte fc y rechaza todas aquellas que estén entre 0 y dicha frecuencia de corte.

Observar:
- Respuesta plana en la banda de paso.
- Transición abrupta entre la banda de paso y la no deseada.
- Una respuesta de fase lineal.



Los filtros ideales no existen, debido a imposibilidades prácticas. El objetivo del diseñador es realizar un filtro cuyas características se aproximen a las ideales.

FILTRO PASA ALTOS NO INVERSOR



$$v_O = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)v_R \quad \wedge v_R = \frac{R}{R+{}^{1}\!/\!{}_{jwC}}v_S$$

$$A_V = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{jwCR}{1+jwCR} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{1+\frac{1}{jwCR}}$$

Como: $A_o = 1+\frac{R_2}{R_1}$ $\Rightarrow$ $A_V = A_O\frac{1}{1-{}^{j}\!/\!{}_{wCR}}$

En forma polar:

$$|A_V| = A_O\frac{1}{\sqrt{1+{}^{1}\!/\!{}_{w^2C^2R^2}}} \quad \wedge \quad \varphi = \tan g^{-1}\frac{1}{wCR}$$

Frecuencia de corte

$$w_c = \frac{1}{C.R}$$

$\Rightarrow$

$$|A_V| = A_O\frac{1}{\sqrt{1+\left({}^{w_C}\!/\!{}_{w}\right)^2}} \quad \wedge \quad \varphi = \tan g^{-1}\frac{w_C}{w}$$

FILTRO PASA ALTOS NO INVERSOR

$$|A_V| = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{w^2C^2R^2}}} \quad \wedge \quad \varphi = \tan g^{-1}\frac{1}{wCR}$$

$$Para \quad w=0 \quad |Av|=0$$

$$Av|dB| = -\infty \quad \wedge \quad \varphi = \frac{\pi}{2}$$

$$Para\ w >> w_C$$

$$|A_V| = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = |A_o| \quad \wedge \quad \varphi = 0$$

$$Para \quad w = w_c = \frac{1}{CR} \quad \Rightarrow |Av| = \frac{A_O}{\sqrt{2}}$$

$$Av|dB| = 20\log A_O - 3 \quad \wedge \quad \varphi = \frac{\pi}{4}$$

$$|Av| = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{w_C}{w}\right)^2}}$$

$$\varphi = \tan g^{-1}\frac{w_C}{w}$$

Para ***w=1/CR*** la ganancia cae 3dB (en veces cae un 70%)⇨ ***punto de media potencia*** que determina la frecuencia de corte w_C

FILTRO PASA ALTOS NO INVERSOR

$$\text{Para } w >> w_c \qquad |Av| = A_O \frac{w}{w_C}$$

$$\text{Cálculo de } f_T$$

$$|Av| = A_O \frac{w}{w_C} = 1$$

$$\Rightarrow w_T = {R_1}\Big/{R.C.(R_1 + R_2)} = \frac{w_C}{A_O}$$

$$|Av| = A_O \frac{1}{\sqrt{1 + \left({w_C}/{w}\right)^2}}$$

$$\varphi = \tan g^{-1} \frac{w_C}{w}$$

$$\text{Para } f_T$$

$$Av = 20 \log 1 = 0$$

$$\varphi = \tan g^{-1} {w_C}/{w} = \tan g^{-1} \infty = \frac{\pi}{2}$$

FILTRO PASA ALTOS NO INVERSOR

Cálculo de la pendiente de la curva A_v vs *frecuencia*:

$$Para \quad w \ll w_c \quad \Rightarrow \quad |Av| = A_o.\frac{w}{w_c} \quad \Rightarrow \quad Av|dB| = 20\log\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + 20\log w - 20\log w_c$$

Para una frecuencia w_2, 10 veces mayor que w, la ganancia de tensión en dB es:

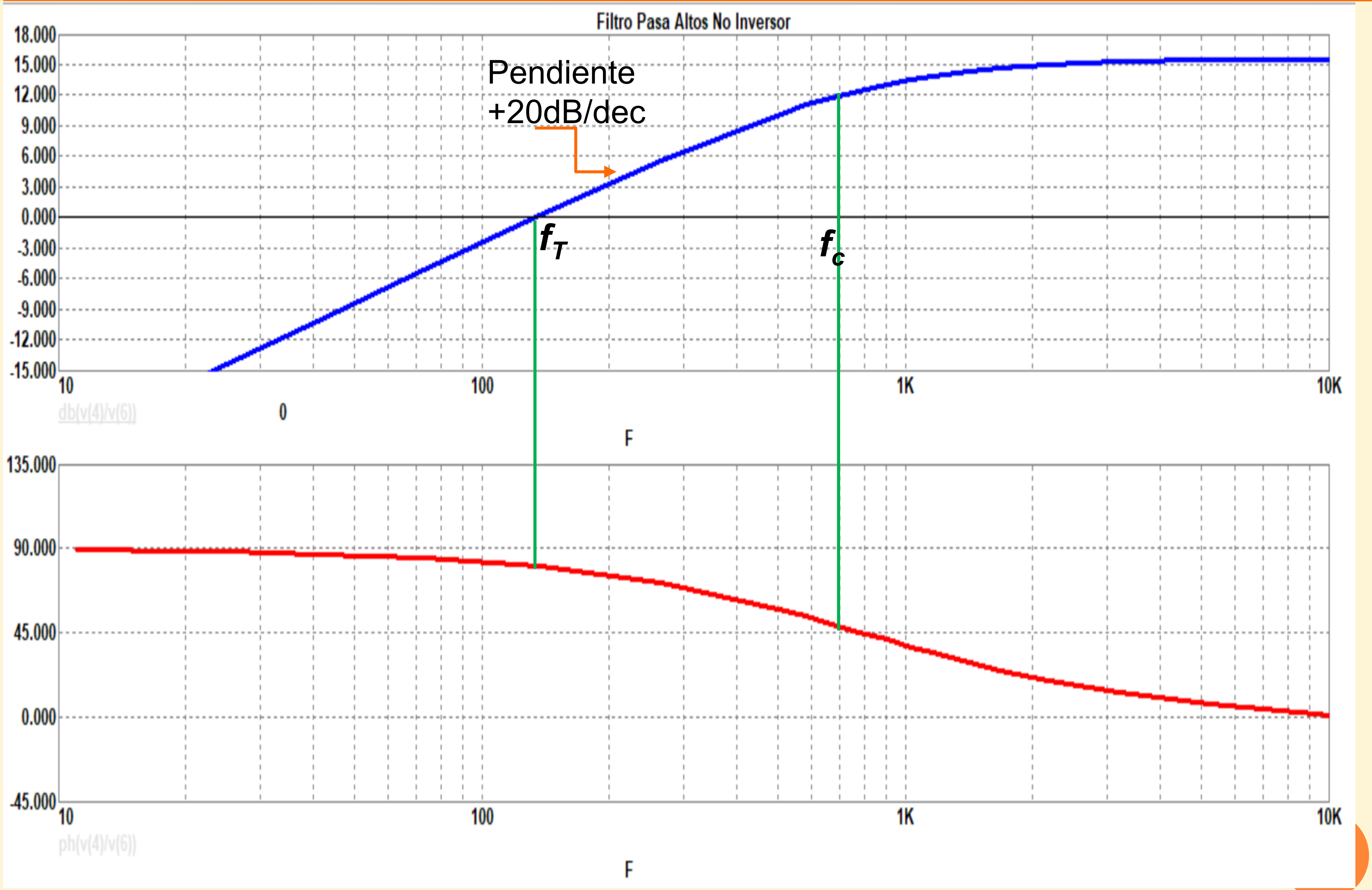
$$Av_2|dB| = 20\log\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + 20\log 10.w - 20\log w_c = 20\log\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + \left(20\log w + 20\right) - 20\log w_c$$

La diferencia entre las ganancias Av1 y Av2 es:

$$\because \; Av_2|dB| - Av_1|dB| = +20dB$$

•La pendiente de la recta asintótica para un circuito de primer orden, cuando $\omega \ll \omega_C$, es de *+20dB/década.*

FILTRO PASA ALTOS NO INVERSOR



FILTRO PASA ALTOS. DISEÑO

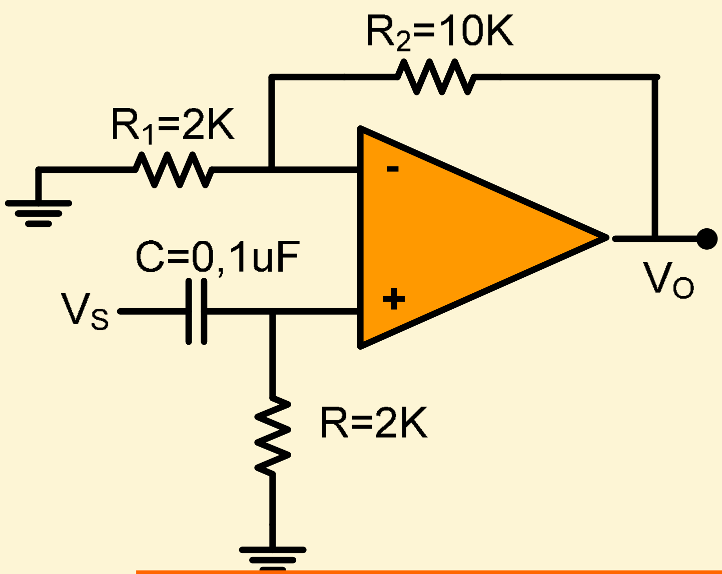
Pasos para diseñar un filtro Pasa Altos no inversor

1. Establecer el valor de la ganancia en la zona plana. $A_V = \left(1 + R_2 / R_1\right)$
2. Establecer el valor de la frecuencia de corte fc
3. Adoptar el valor de C . Criterio práctico: $\frac{10^{-5}}{f_C} \leq C \leq \frac{10^{-4}}{f_C}$
4. Calcular el valor de la resistencia que conforma el filtro.

$$R = \frac{1}{2 . \pi . C . f_C}$$

5. Calcular el/los valores de la/las resistencias que determinan la ganancia. Considerar las sig condiciones: valor de ganancia en zona plana, valores necesarios para que el AOp real se comporte como ideal, compensaciones de offset
6. Simular
7. Ajustar la frecuencia de corte por medio de R
8. Ajustar la ganancia por medio de R_1 o R_2.

FILTRO PASA ALTOS NO INVERSOR-EJEMPLO



$$|A_V| = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{w^2C^2R^2}}} \quad \wedge \quad \varphi = -\tan g^{-1}\frac{1}{wCR}$$

$$C.R = 0{,}0002\,s \quad \Rightarrow \quad f_C = \frac{1}{2.\pi.C.R} = 796{,}2\,Hz$$

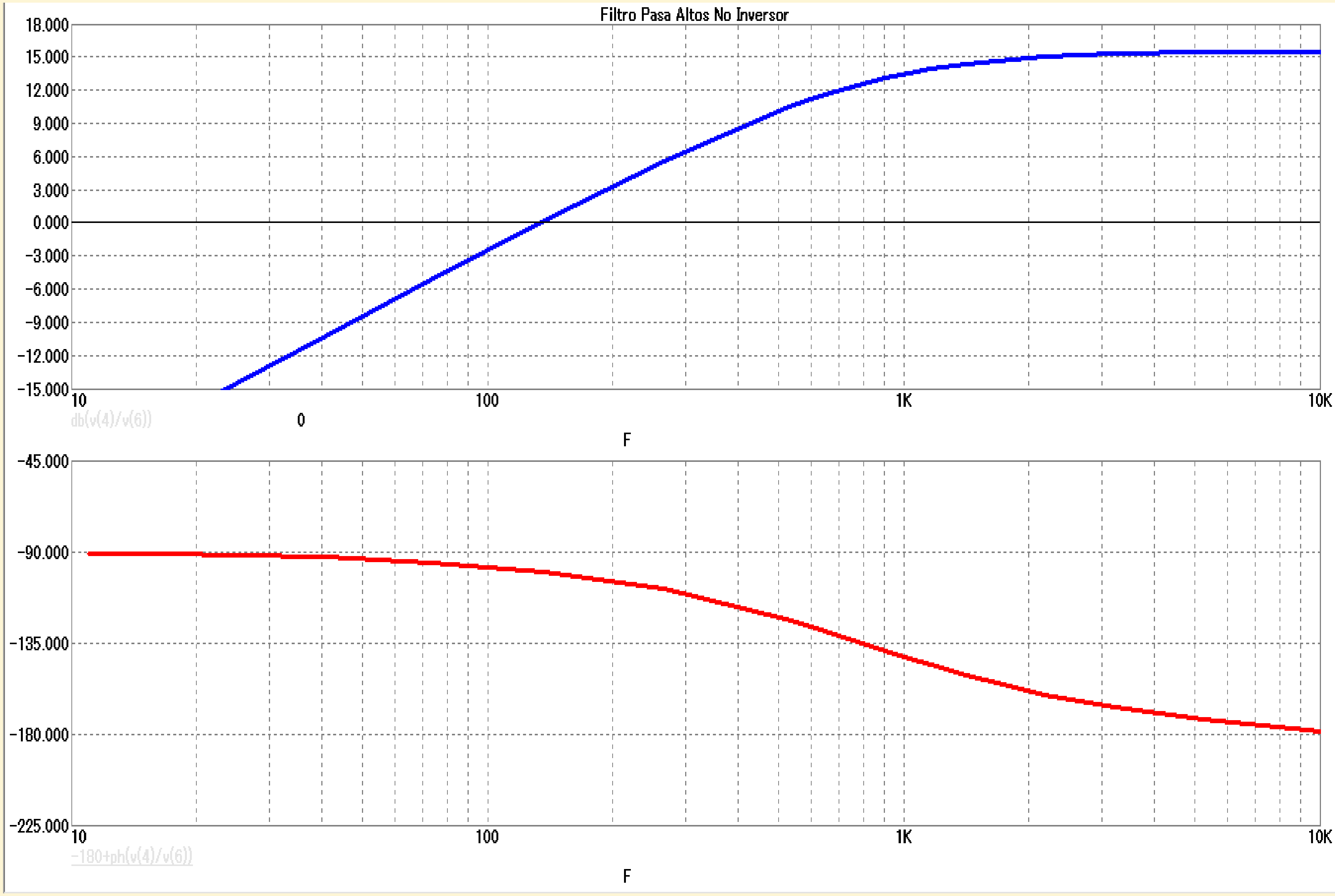
$$f_T = \frac{1}{2.\pi.C.R.A_o} = 132{,}6\,Hz$$

$$A_o = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 6$$

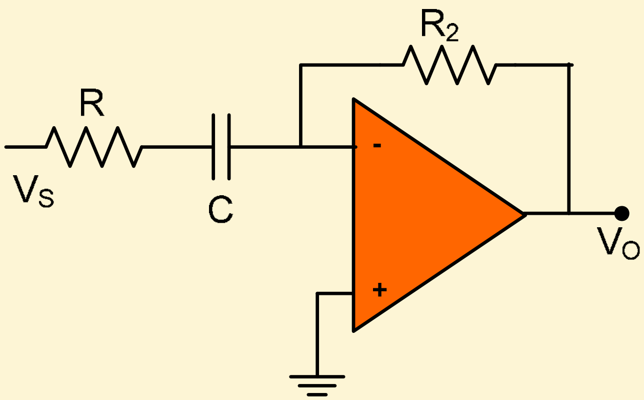
$$A_V = 20\log(A_o) = 15{,}56\,dB$$

VER SIMULACIÓN

FILTRO PASA ALTOS NO INVERSOR-EJEMPLO



FILTRO PASA ALTOS INVERSOR



$$Av = \frac{v_O}{v_S} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

$$Av = -\frac{R_2}{R} \cdot jwCR \Big/ (1 + jwC\ R)$$

Como: $$A_O = -\frac{R_2}{R}$$

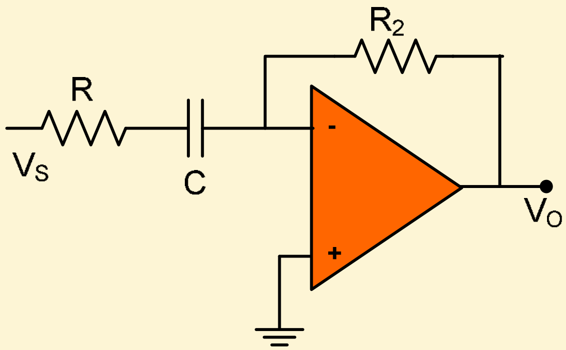
$$Av = -\frac{A_0 . jwCR}{(1 + jwCR)} = -\frac{A_0}{\frac{1}{jwCR} + 1}$$

$$Av = -\frac{A_0}{1 - j\frac{1}{wCR}}$$

$$Si\ Frecuencia\ de\ corte: \quad w_c = \frac{1}{C.R}$$

$$Av = -\frac{A_0}{1 - j\frac{1}{wCR}} = -\frac{A_0}{1 - j\frac{w_C}{w}}$$

FILTRO PASA ALTOS INVERSOR



$$Av = -\frac{A_0}{1 - j\frac{1}{wCR}} = -\frac{A_0}{1 - j\frac{w_C}{w}}$$

$$\varphi = -\pi - \tan g^{-1} - \frac{1}{w.C.R} = -\pi + \tan g^{-1}\frac{1}{w.C.R}$$

$$\varphi = -\pi + \tan g^{-1}\frac{wc}{w}$$

$$\text{Frecuencia de corte} \quad w_c = \frac{1}{C.R}$$

$$|Av| = \frac{A_O}{\sqrt{1 + \left(w_c/w\right)^2}}$$

$$\varphi = -\pi + \tan g^{-1}\frac{1}{w.C.R} = -\pi + \tan g^{-1}\frac{wc}{w}$$

En dB:

$$Av|dB| = 20\log\frac{R_2}{R} - 10\log\left(1 + \left(w_C/w\right)^2\right)$$

FILTRO PASA ALTOS INVERSOR

$$Para \quad w=0 \quad |Av|=0$$

$$Av|dB|=-\infty \quad \wedge \quad \varphi=-\frac{\pi}{2}$$

$$|Av| = \frac{A_O}{\sqrt{1+\frac{1}{w^2C^2R^2}}}$$

$$\varphi = -\pi + \tan g^{-1}\frac{1}{w.C.R}$$

$$Para \quad w=w_c=\frac{1}{CR} \quad \Rightarrow |Av|=\frac{1}{\sqrt{2}}.\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$Av|dB|=20\log\frac{R_2}{R_1}-3 \quad \wedge \quad \varphi=-\frac{3\pi}{4}$$

$$|Av| = \frac{R_2}{R}\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{w_C}{w}\right)^2}}$$

$$\varphi = -\pi + \tan g^{-1}\frac{w_C}{w}$$

Para w=1/CR la ganancia cae 3dB ⇨ punto de media potencia que determina la frecuencia de corte w_C

FILTRO PASA ALTOS INVERSOR 1

$$|Av| = \frac{R_2}{R}\frac{1}{\sqrt{1+\left({w_C}/{w}\right)^2}}$$

$$\varphi = -\pi + \tan g^{-1}\frac{w_C}{w}$$

Para $w \ll w_C$

$$|A_V| = \frac{R_2}{R} = A_o \quad \wedge \quad \varphi = -\pi$$

Para $w \ll w_c \quad \Rightarrow \quad |Av| = \frac{R_2}{R}\cdot\frac{w}{w_c}$

Cálculo de f_T

$$w_T = w_c\frac{R}{R_2} = \frac{w_c}{A_O}$$

FILTRO PASA ALTOS INVERSOR

Cálculo de la pendiente de la curva A_v vs *frecuencia*:

$$Para \quad w << w_c \quad \Rightarrow \quad |Av| = \frac{R_2}{R}.\frac{w}{w_c} \quad \Rightarrow \quad Av|dB| = 20\log\frac{R_2}{R} + 20\log w - 20\log w_c$$

Para una frecuencia w_2, 10 veces mayor que w, la ganancia de tensión en dB es:

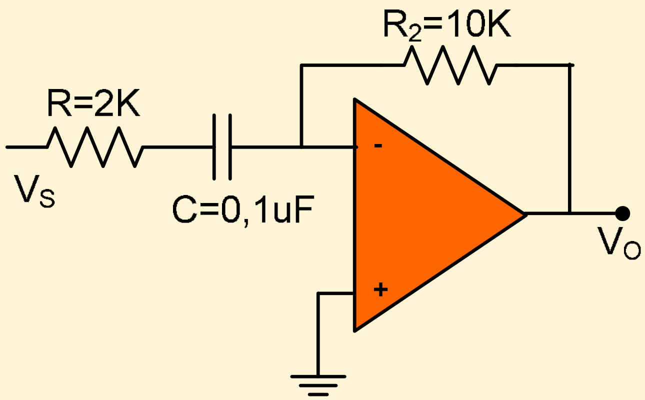
$$Av_2|dB| = 20\log\frac{R_2}{R_1} + 20\log 10.w - 20\log w_c = 20\log\frac{R_2}{R} + (20\log w + 20) - 20\log w_c$$

La diferencia entre las ganancias A_{v1} y A_{v2} es:

$$\because \; Av_2|dB| - Av_1|dB| = +20\,dB$$

- La pendiente de la recta asintótica para un circuito de primer orden, cuando $\omega << \omega_C$, es de *+20dB/década.*

FILTRO PASA ALTOS INVERSOR - EJEMPLO



$$\left| Av \right| = \frac{R_2}{R} \frac{1}{\sqrt{1 + \left({w_C}/{w} \right)^2}}$$

$$\varphi = -\pi + \tan g^{-1} \frac{w_C}{w}$$

$$C.R = 0{,}0002 s \quad \Rightarrow \quad f_C = \frac{1}{2.\pi.C.R} = 796{,}2 Hz$$

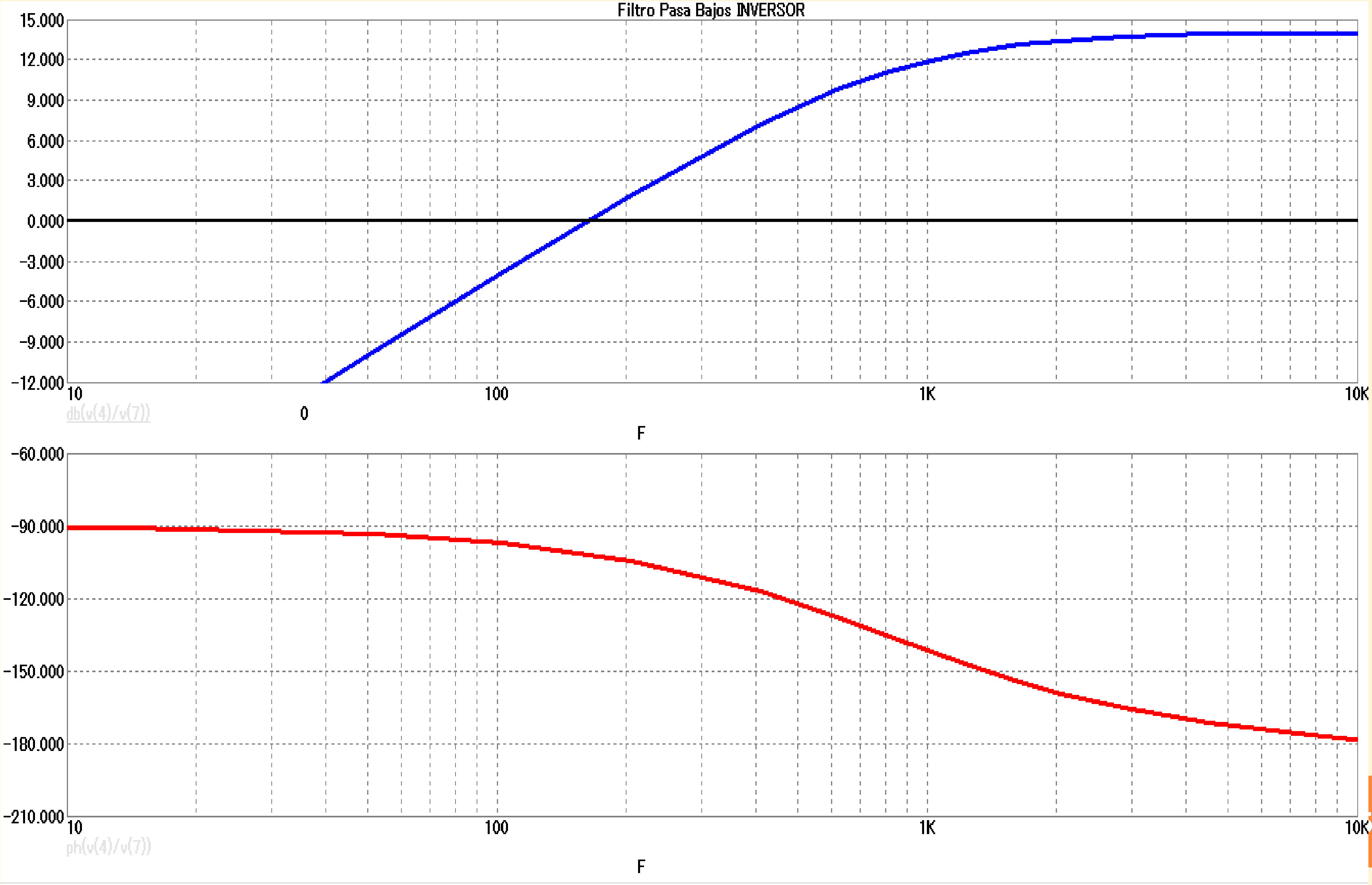
$$A_o = {R_2}/{R_1} = 5$$

$$f_T = \frac{1}{2.\pi.C.R.A_o} = 159.24 Hz$$

$$A_V = 20.\log\left(A_o\right) = 13{,}98 dB$$

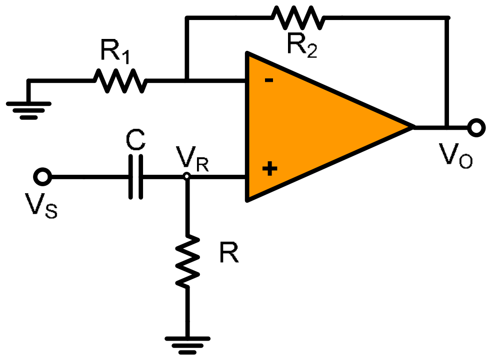
VER SIMULACIÓN

FILTRO PASA ALTOS INVERSOR -EJEMPLO



RESUMEN FILTRO PASA ALTOS

FILTRO PASA ALTO NO INVERSOR



$$|A_V| = \frac{A_O}{\sqrt{1 + \frac{1}{w^2C^2R^2}}}$$

$$\varphi = \tan g^{-1} \frac{1}{wCR}$$

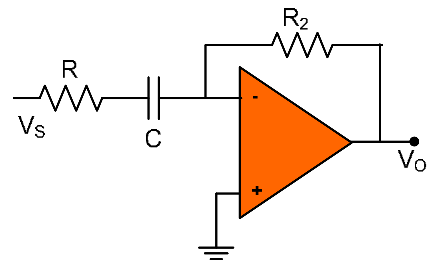
$$A_o = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$w_c = \frac{1}{C.R}$$

$$w_T = \frac{w_C}{A_O}$$

$$m = +20dB / decada$$

FILTRO PASA ALTO INVERSOR



$$|Av| = \frac{A_O}{\sqrt{1 + \frac{1}{w^2C^2R^2}}}$$

$$\varphi = -\pi + \tan g^{-1} \frac{1}{w.C.R}$$

$$A_o = -\frac{R_2}{R}$$

$$w_c = \frac{1}{C.R}$$

$$w_T = \frac{w_c}{A_O}$$

$$m = +20dB / decada$$

DIAGRAMA DE BODE- SÍNTESIS

- El diagrama de Bode es un tipo de representación gráfica de funciones complejas (ganancia y fase) dependientes de una variable real (la frecuencia angular o lineal).
- En un diagrama de Bode se representa por un lado el módulo de la función (Av(ω)) y por otro la fase (ϕ(ω))
- El eje de frecuencia se expresa en escala logarítmica.
- La ganancia se expresa en dB, ya que Av puede tener valores muy grandes para alguna frecuencias y muy pequeño para otras.
- Una ventaja adicional de las ganancias logarítmicas es que, cuando una ganancia resulta de la multiplicación de varias ganancias, la gráfica puede obtenerse a partir de la suma de las gráficas de cada una de las ganancias individuales.
- Recordar: 1dB = 20 Log Av, donde $Av = Vo/V_S$

DIAGRAMA DE BODE- REPASO

Pasos para dibujar un diagrama de Bode de un filtro dado

1. Determinar la expresión de la ganancia Av(ω) y de la fase(ϕ(ω) en forma polar.
2. Calcular el valor de la ganancia A_v en la zona plana, calculando para que rango de frecuencias ocurre.
3. Calcular el valor de la frecuencia de corte fc (la ganancia cae 3dB respecto a su valor en la zona plana)
4. Calcular el valor de la ganancia A_v en los siguientes puntos:

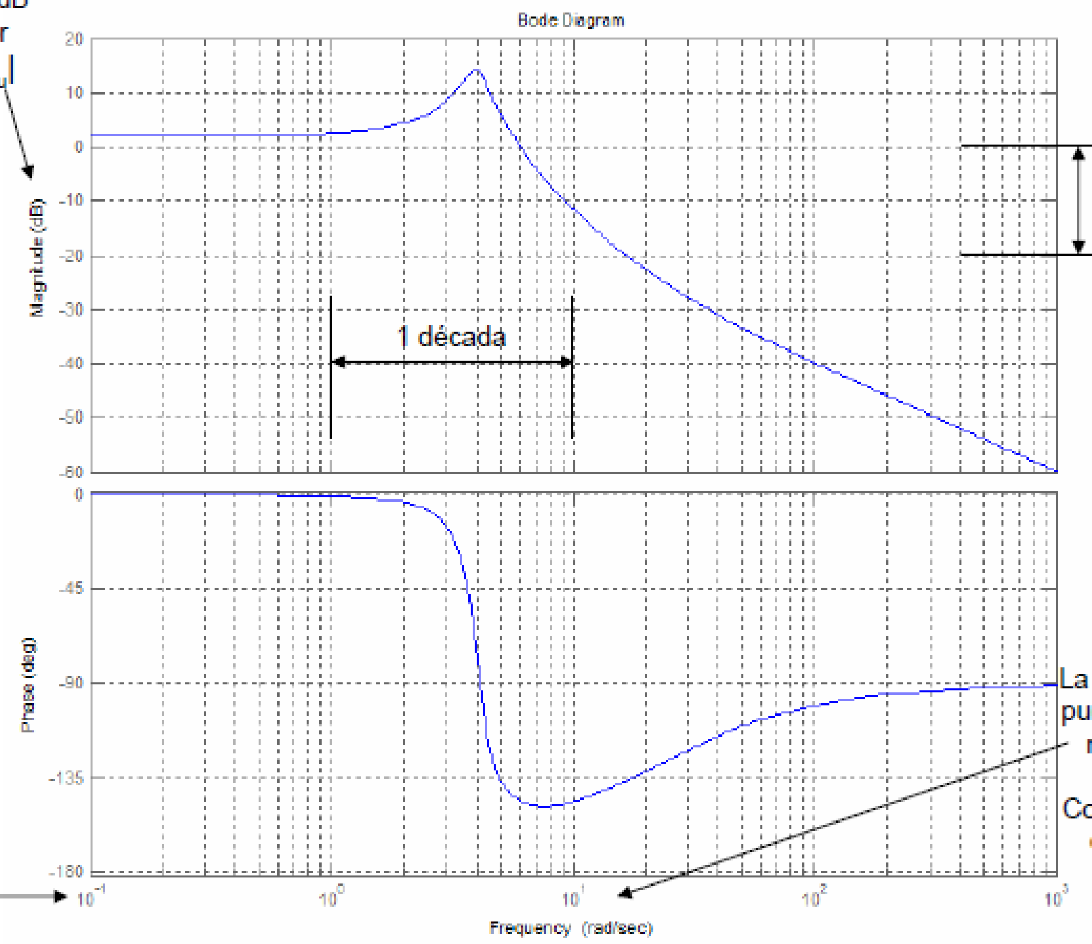
$$\boxed{Para \quad w=0 \quad \wedge w=\infty}$$

5. Verificar el valor de la pendiente (-20dB/década)
6. Dibujar los puntos encontrados y unir con una línea.
7. Repetir los pasos para dibujar la fase.

DIAGRAMA DE BODE

Anatomía de un Diagrama de Bode

La ganancia en dB
Viene dada por
$20 \cdot \log_{10}|A_y/A_u|$



Bajar/subir 20 dB equivale a dividir/multiplicar por 10

La escala de frecuencias pueden venir en Hz o en rads/seg (pulsación).

Como trabajamos con w emplearemos rads/s

Eje logarítmico de frecuencias

Décadas y Octavas

• Cuando dos frecuencias están separadas por una DÉCADA significa que una frecuencia es 10 veces la otra

•. Cuando dos frecuencias están separadas por una OCTAVA significa que una frecuencia es el doble que la otra.

• Dos frecuencias f1 y f2 están separadas n décadas cuando:

$$\log_{10}(f2/f1) = n$$

• Dos frecuencias f1 y f2 están separadas n octavas cuando:

$$\log_{2}(f2/f1) = n$$

1 Octava $\cong$ 0,3 Décadas

1 Década $\cong$ 3,3 Octavas