

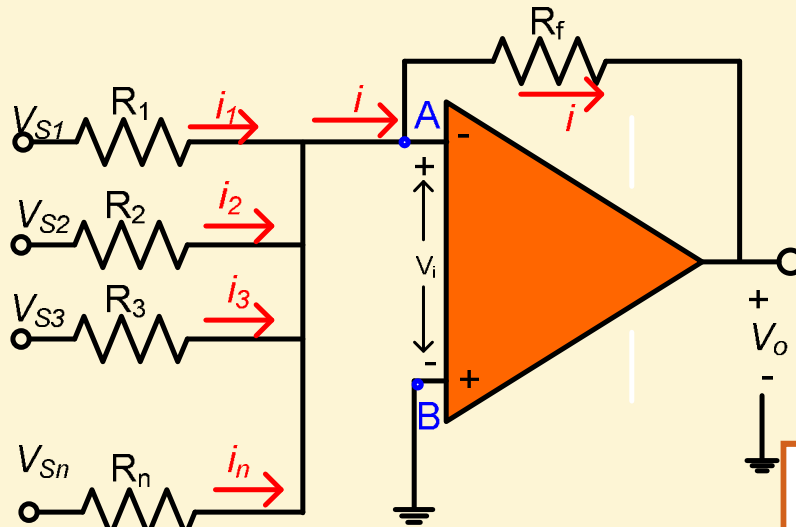
# **ELECTRONICA I**

## **CIRCUITOS TÍPICOS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES IDEALES.**

1

# SUMADOR (DE TENSIONES) INVERSOR

TEMA 3



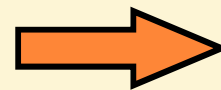
Al ser  $V_i = 0$

$$i = \frac{V_{S1}}{R_1} + \frac{V_{S2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{Sn}}{R_n}$$

Como  $V_o = -R_f \cdot i$

$$V_o = -\left( \frac{R_f}{R_1} \cdot V_{S1} + \frac{R_f}{R_2} \cdot V_{S2} + \dots + \frac{R_f}{R_n} \cdot V_{Sn} \right)$$

Si  $R_1 = R_2 = \dots = R$

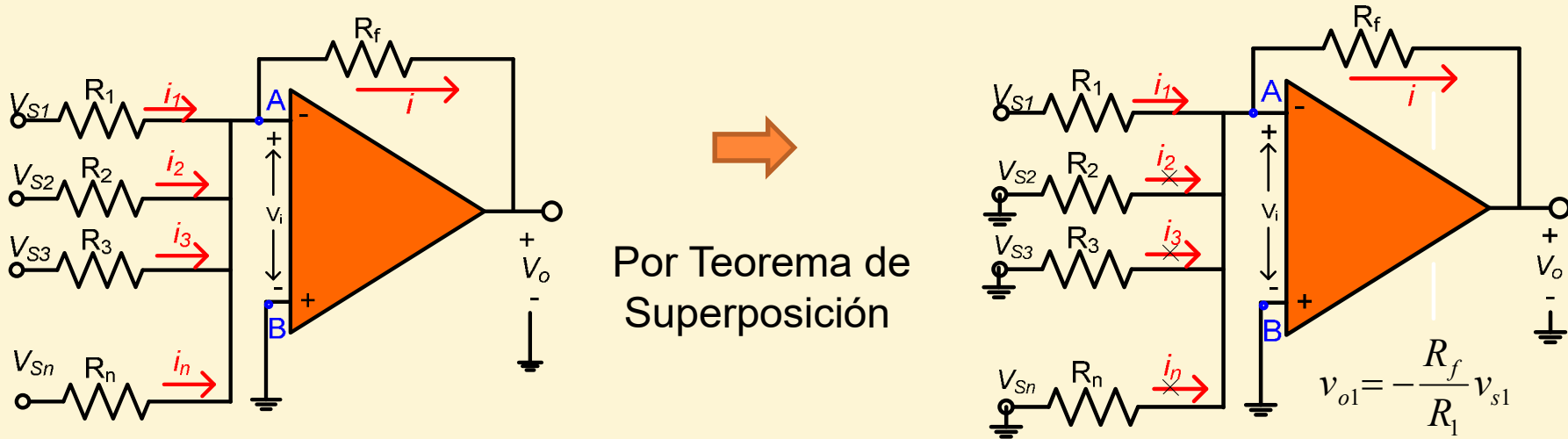


$$V_o = -\frac{R_f}{R} \cdot (V_{S1} + V_{S2} + \dots + V_{Sn})$$

Ver simulación

# SUMADOR (DE TENSIONES) INVERSOR

TEMA 3



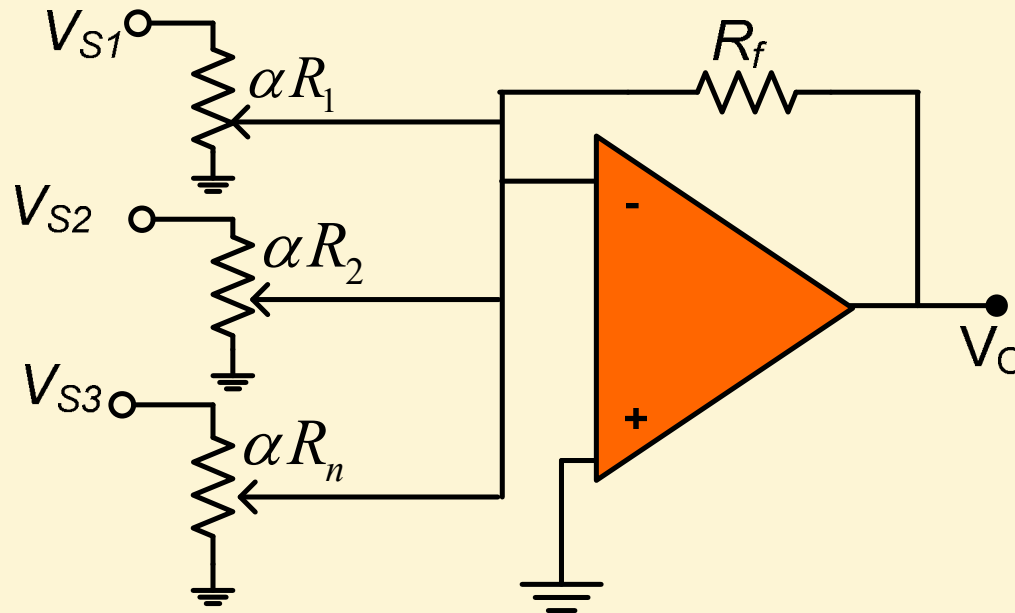
$$V_{o1} = -\frac{R_f}{R_1} \cdot V_{S1}$$

$$V_{o2} = \frac{R_f}{R_2} \cdot V_{S2} \quad V_{on} = \frac{R_f}{R_n} \cdot V_{Sn}$$

$$V_o = -\left( \frac{R_f}{R_1} \cdot V_{S1} + \frac{R_f}{R_2} \cdot V_{S2} + \dots + \frac{R_f}{R_n} \cdot V_{Sn} \right)$$

■  $V_o$  es la combinación lineal de las tensiones de entrada.

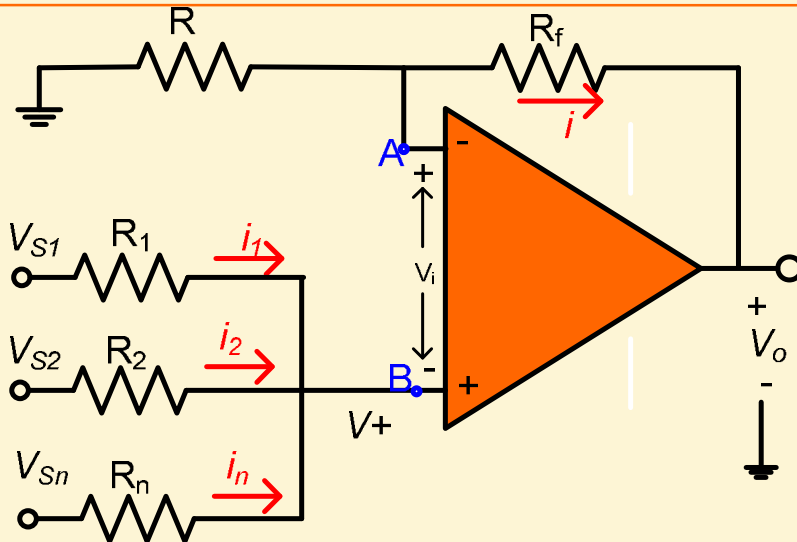
Mezclador de audio con volumen independiente por canal



$$V_o = - \left( \frac{R_f}{\alpha R_1} \cdot V_{S1} + \frac{R_f}{\alpha R_2} \cdot V_{S2} + \dots + \frac{R_f}{\alpha R_n} \cdot V_{Sn} \right)$$

# SUMADOR NO INVERSOR

## TEMA 3



La tensión de salida  $V_o$  es:

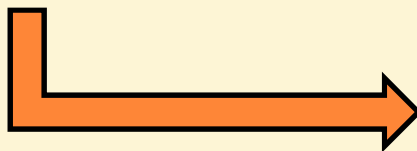
$$V_o = \left( 1 + \frac{R_f}{R} \right) \cdot V_+$$

Aplicando Millman,  $V_+$  será:

$$V_+ = \frac{\frac{V_{S1}}{R_1} + \frac{V_{S2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{Sn}}{R_n}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Si  $R_1 = R_2 = \dots = R$

$$V_+ = \frac{1}{n} \cdot (V_{S1} + V_{S2} + \dots + V_{Sn})$$

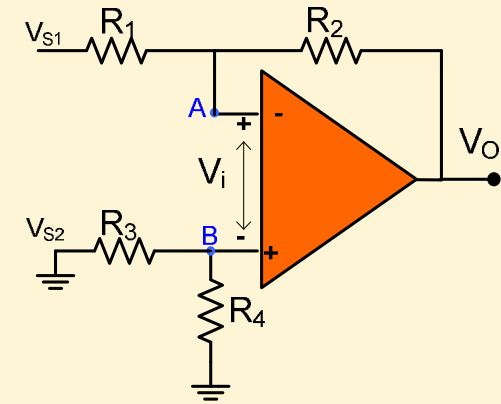
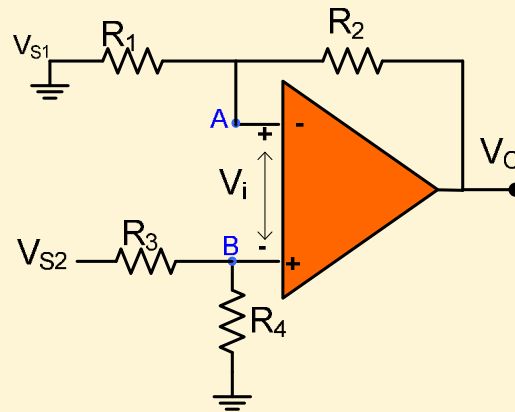
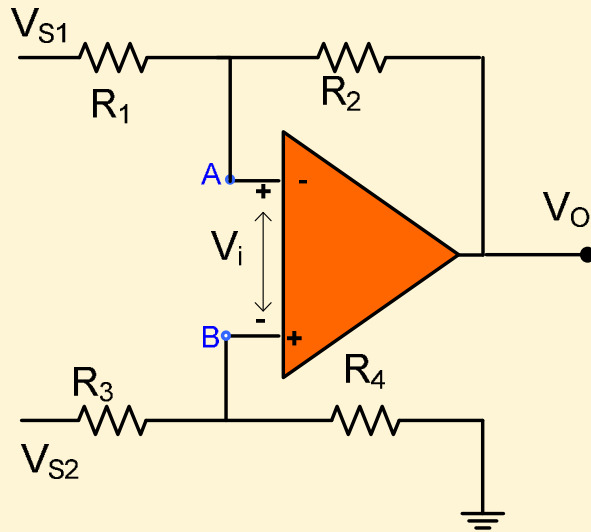


$$V_o = \frac{1}{n} \cdot \left( 1 + \frac{R_f}{R} \right) \cdot (V_{S1} + V_{S2} + \dots + V_{Sn})$$

# AMPLIF. DIFERENCIAL: RESTADOR

TEMA 3

Aplicando superposición:



$$V_{o2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \cdot V_{S2}$$

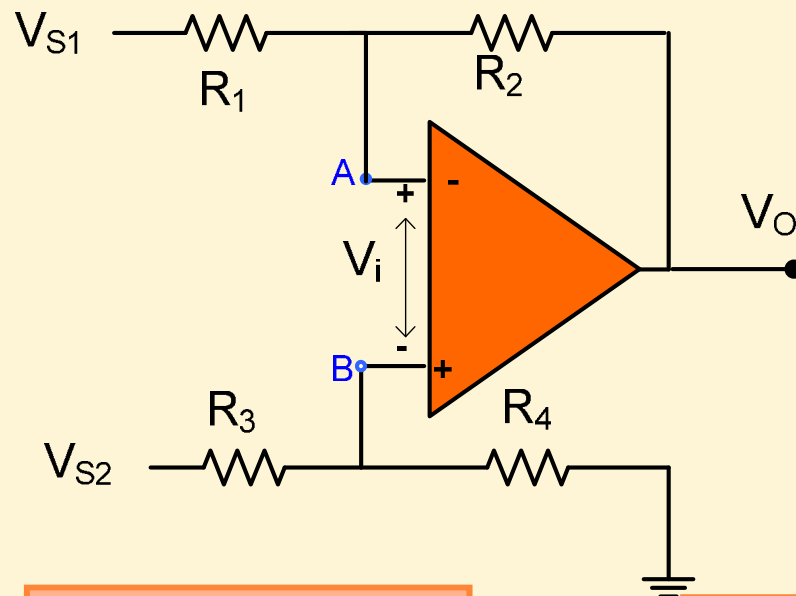
$$V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{S1}$$

$$V_o = V_{o1} + V_{o2}$$

$$V_o = V_{S2} \cdot \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - V_{S1} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

# AMPLIF. DIFERENCIAL: RESTADOR

TEMA 3



$$v_o(t) = k (v_{s1}(t) - v_{s2}(t))$$

$$V_o = V_{s2} \cdot \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_{s1} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Si  $R_2 = R_4$  y  $R_1 = R_3$

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_{s2} - V_{s1})$$

[Ver simulación](#)

**La tensión de salida es proporcional a la diferencia de las tensiones de entrada**

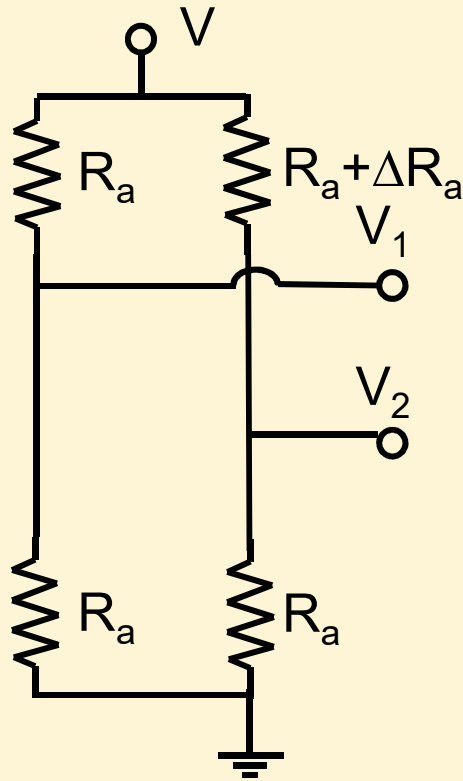
## PROBLEMAS

- Las impedancias de entrada vistas por  $V_{s1}$  y  $V_{s2}$  son distintas, por lo que el circuito presentará una carga distinta a cada una de las entradas.
- Para modificar la ganancia, se debe modificar las resistencias de a pares.
- Desapareamiento de las resistencias no permite el cumplimiento de la condición  $R_2/R_1 = R_4/R_3$ .

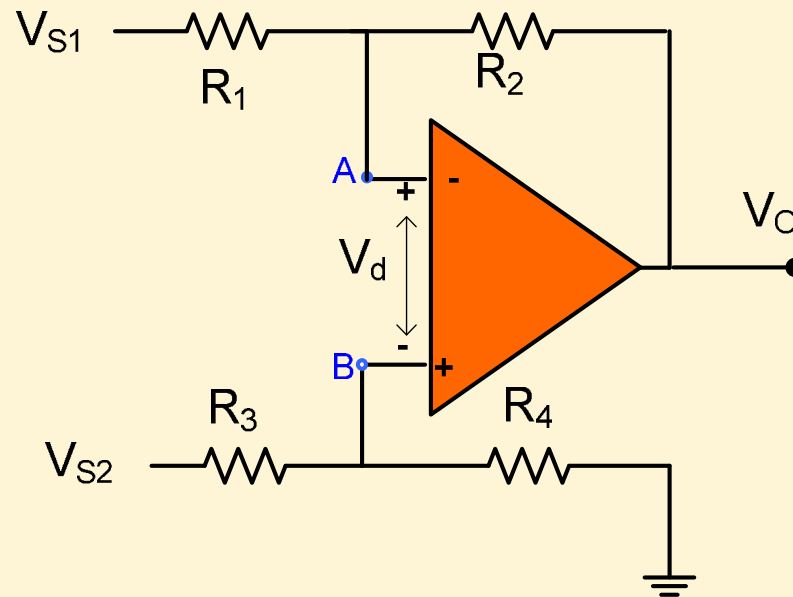
# AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

TEMA 3

Necesidad de amplificar con precisión señales de bajo nivel, inmersas en de ruido; proveniente de transductores,

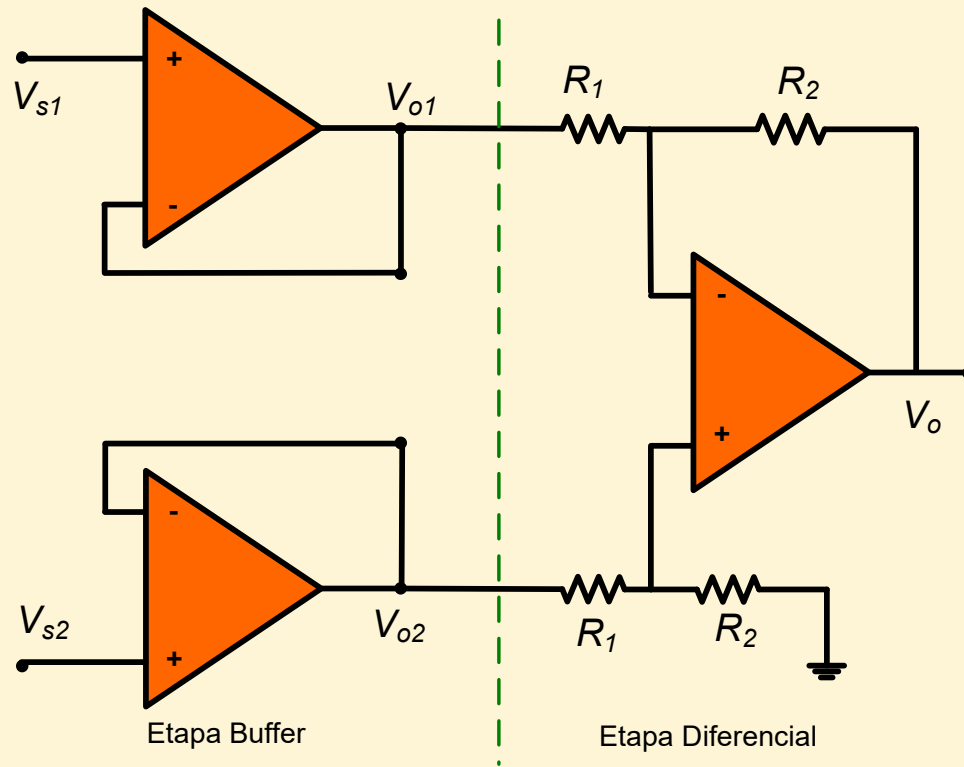


Problemas



$$V_o = (V_2 - V_1) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$



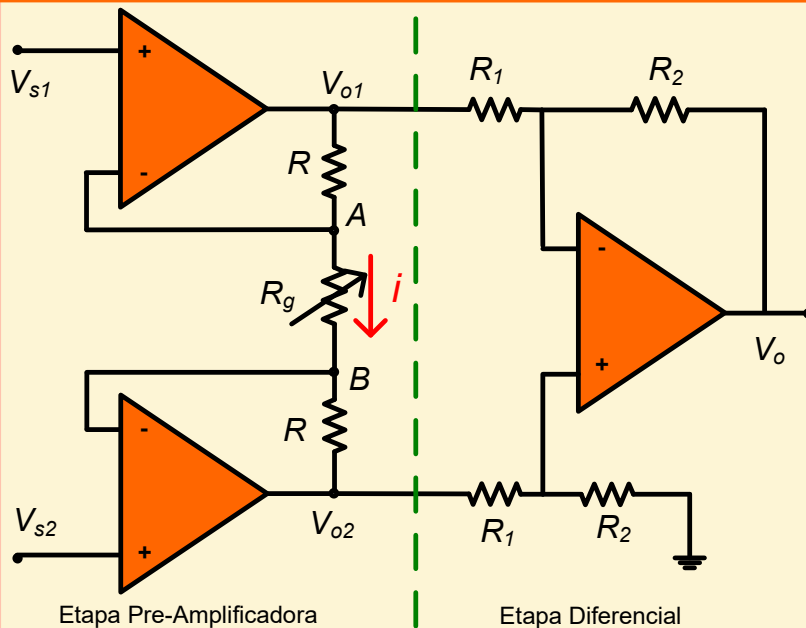


$$V_o = (V_2 - V_1) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

- Impedancia de entrada alta
- La ganancia depende de varias resistencias ( $R_1$  y  $R_2$ )

# AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

TEMA 3



- Amplificador diferencial con una impedancia de entrada extremadamente alta.
- Ganancia puede fijarse con precisión con una sola resistencia, sin modificar su  $Z_{in}$
- Su función principal es amplificar con precisión las señales de muy bajo nivel aplicadas a su entrada, eliminando además las posibles señales interferentes y de ruido que lleguen en modo común.

## Etapa pre-amplificación:

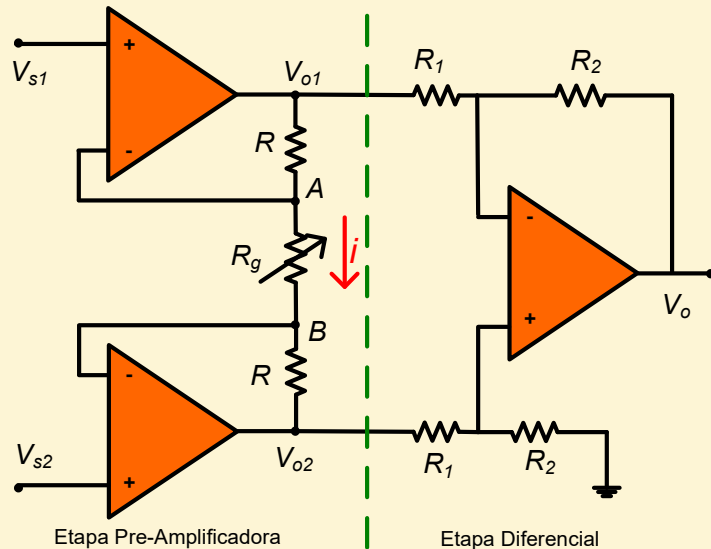
- Aumenta la impedancia de entrada del conjunto.

## Etapa Diferencial:

- Baja impedancia de salida
- Tiene ganancia en tensión  $>1$
- Ganancia en modo común cero

# AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

TEMA 3



$$1) v_A = v_{S1}$$
$$v_B = v_{S2}$$

$$2) v_{O1} = v_{S1} + v_R$$
$$v_{O2} = v_{S2} - v_R$$

$$3) i = \frac{v_{S1} - v_{S2}}{R_g} \Rightarrow v_R = i \cdot R = (v_{S1} - v_{S2}) \frac{R}{R_g}$$

$$4) v_O(t) = \frac{R_2}{R_1} [v_{O2}(t) - v_{O1}(t)]$$

$$v_O(t) = (v_{S2} - v_{S1}) \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot \left( 1 + 2 \cdot \frac{R}{R_g} \right)$$

Ver simulación

- Ajuste cómodo de la ganancia mediante potenciómetro  $R_g$ . Se puede ajustarse externamente sin modificar características de entrada.
- Elevada impedancia de entrada para ambas entradas.
- Rechazo al modo común (CMR) alto, tanto en continua como a las frecuencias a las que pueda aparecer ruido en modo común a la entrada.
- Tensión y corriente de offset bajas
- Necesidad de precisión y estabilidad de los resistores R

11

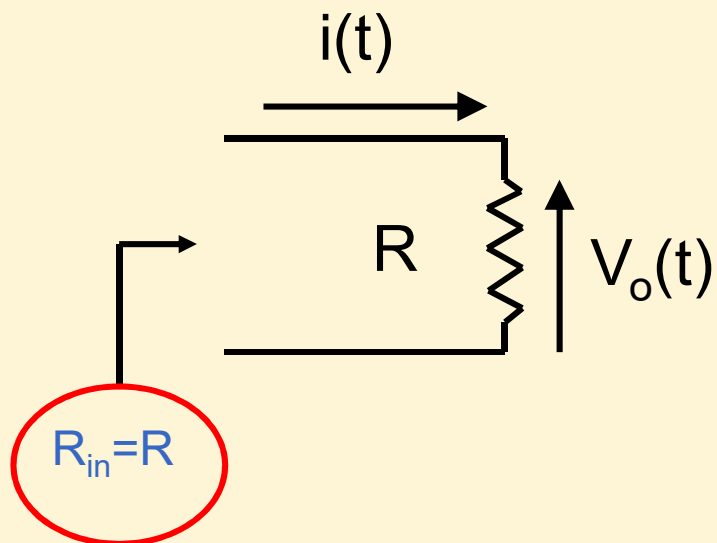
# CONVERTIDOR CORRIENTE- TENSIÓN

TEMA 3

Objetivo: obtener una tensión  $V_o(t)$  proporcional a una corriente

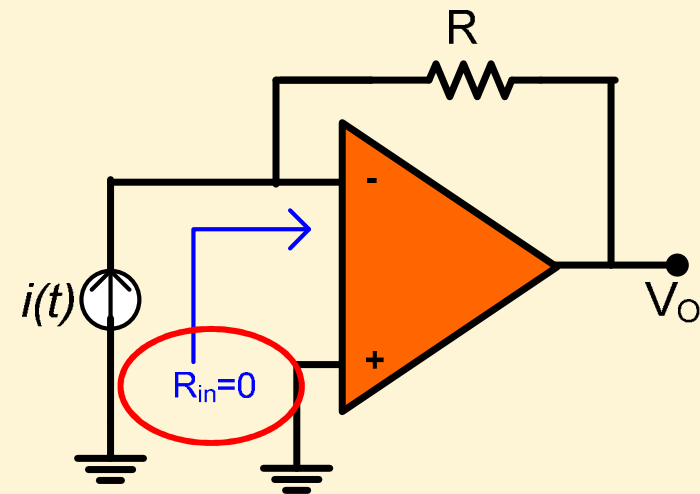
$i(t)$

Circuito simple



$$V_o(t) = i(t) \cdot R$$

Circuito mejorado



$$V_o(t) = -V_R(t) = -i(t) \cdot R$$

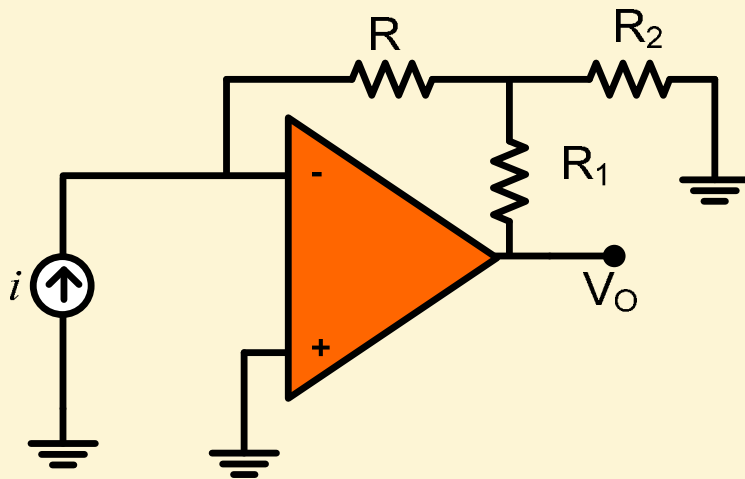
Amplificador de transimpedancia o transresistencia

12

# CONVERTIDOR CORRIENTE- TENSIÓN

TEMA 3

Alta sensibilidad respecto al conversor I/V básico



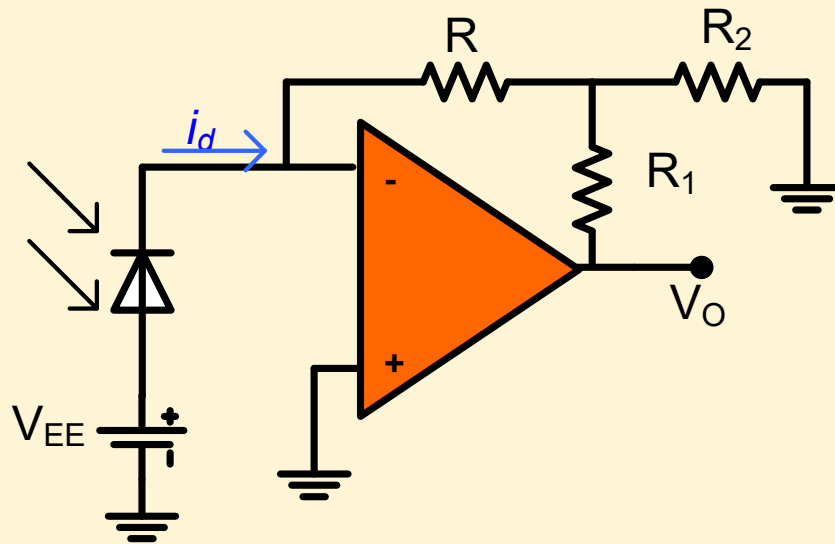
$$v_o = -iR \left[ 1 + \frac{R_1}{R} + \frac{R_1}{R_2} \right]$$

$$k = 1 + \frac{R_1}{R} + \frac{R_1}{R_2} > 1$$

$$v_o = -k \cdot R \cdot i$$

$K$  es el factor de multiplicación de la sensibilidad respecto al conversor I/V básico

Ejemplo: Circuito para medir corriente.



El fotodiodo produce una corriente que es directamente proporcional a la intensidad de la luz

$$v_O = -k \cdot R \cdot i_d$$

El conversor de corriente en tensión es un circuito muy útil en aplicaciones industriales, debido a la inmunidad al ruido electromagnético que presentan las señales de corriente en comparación con la influencia que aquél genera sobre estas últimas.

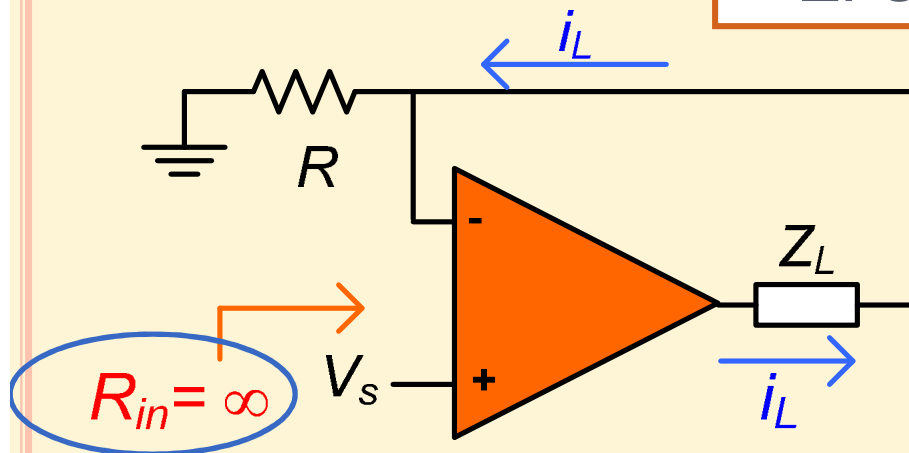
# CONVERTIDOR TENSIÓN-CORRIENTE

TEMA 3

Objetivo: obtener una corriente  $i(t)$  proporcional a una tensión  $V(t)$ .

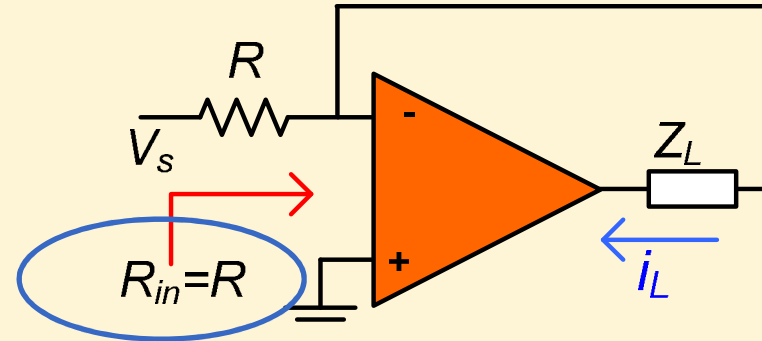
Ejemplo: carga remota

Z: Carga flotante



**Amplificador  
no inversor**

$$i_L(t) = \frac{V_s(t)}{R}$$



**Amplificador  
inversor**

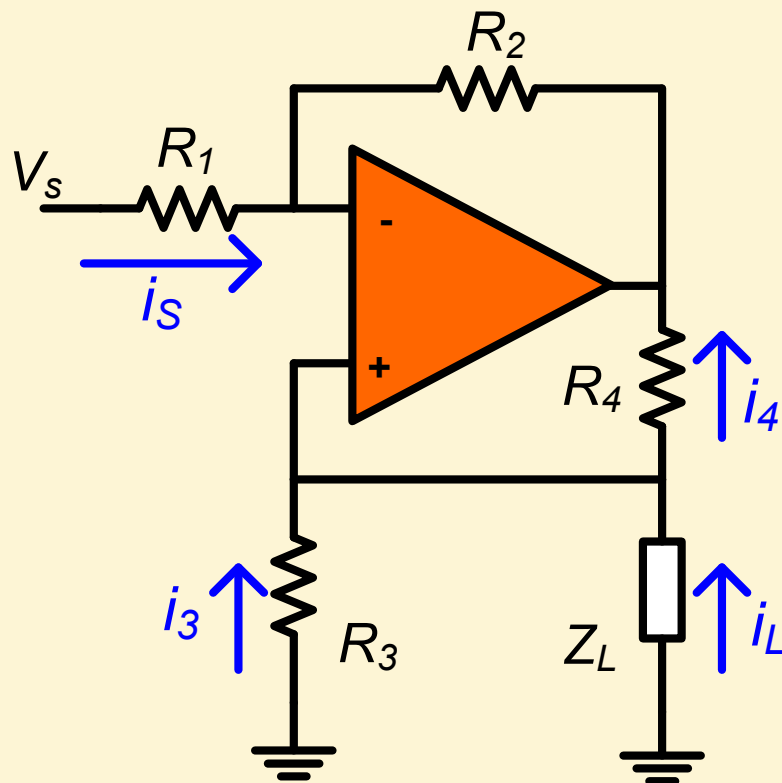
Si  $Z_L$  cambia por temperatura, envejecimiento, longitud del cable, etc, la corriente no cambia

# CONVERTIDOR TENSIÓN-CORRIENTE

TEMA 3

Objetivo: obtener una corriente  $i(t)$  proporcional a una tensión  $V(t)$ .

Carga no flotante



$$i_3 R_3 = i_L Z_L; \quad i_3 = i_L \frac{Z_L}{R_3}$$

$$i_4 = i_L + i_3; \quad i_4 = i_L \left( \frac{Z_L}{R_3} + 1 \right)$$

$$i_S R_2 = i_4 R_4; \quad i_4 = i_S \frac{R_2}{R_4}$$

$$i_S = i_L \left( \frac{Z_L}{R_3} + 1 \right) \cdot \frac{R_4}{R_2}$$

$$v_S = i_S R_1 - i_3 R_3$$

Siempre y cuando:  
 $-V_{CC} \leq V_o \leq +V_{CC}$

Si:  $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$

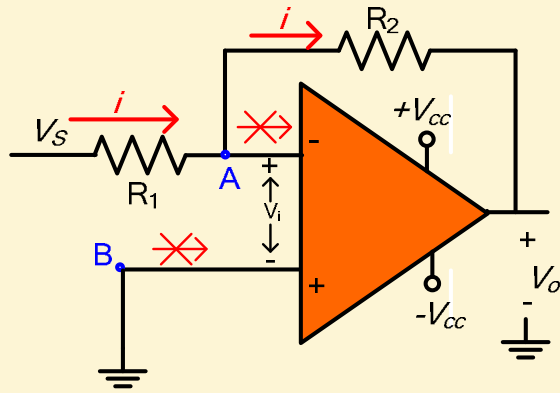
$$i_L = \frac{1}{R_3} v_S$$

16



# NIVELES DE TENSION DE SALIDA

## TEMA 3



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

Ejemplo :

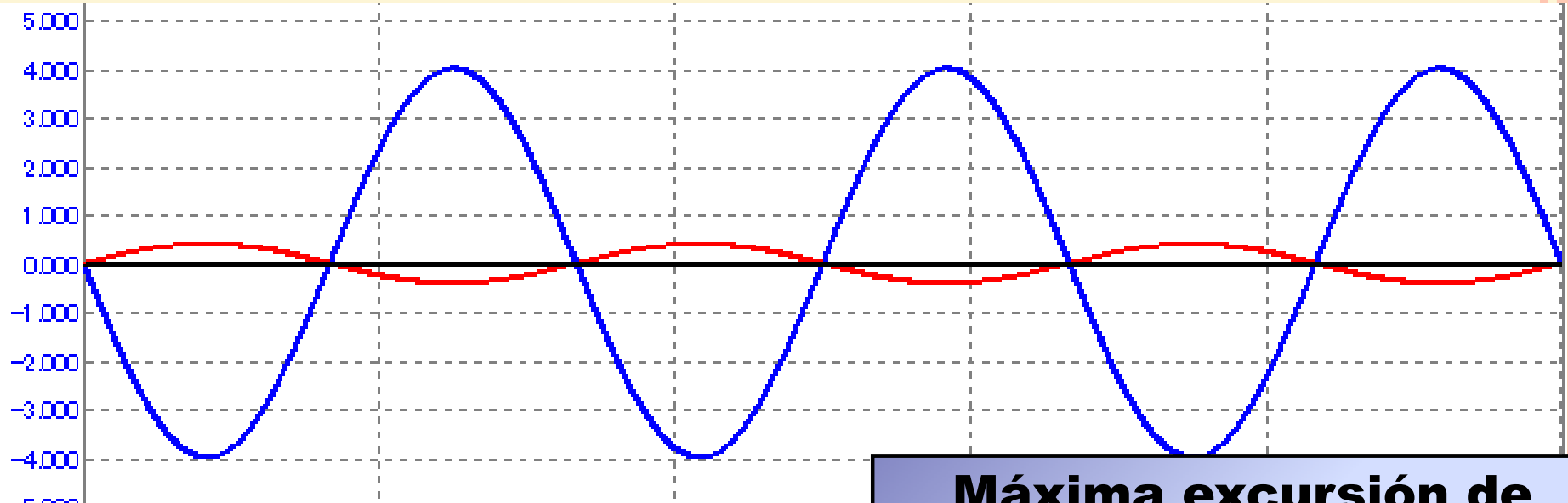
$$R_1 = 1K \quad R_2 = 10K$$

$$V_S = 0,4V / 1KHz$$

$$V_{cc} = \pm 12V$$

$$v_S = 0,4 \cdot \text{sen}(2\pi 1000t)$$

$$v_O = -10 \cdot v_S = -4 \cdot \text{sen}(2\pi 1000t)$$

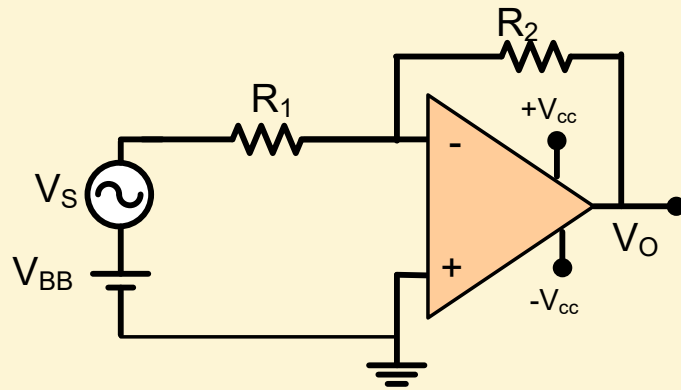


**Excursión de salida fijada por  $\pm V_{cc}$  (saturación) !!!!!**

**Máxima excursión de salida ideal, sin distorsión:  $V_o = \pm V_{cc}$**

# NIVELES DE TENSION DE SALIDA

## TEMA 3



$$v_s(t) = 0,4 \text{sen}(2\pi 1000t) + 0,5 [V]$$

$$v_O = -\frac{R_2}{R_1} v_S - \frac{R_2}{R_1} V_{BB}$$

También amplifica la  
Continua!!!!

Ejemplo :

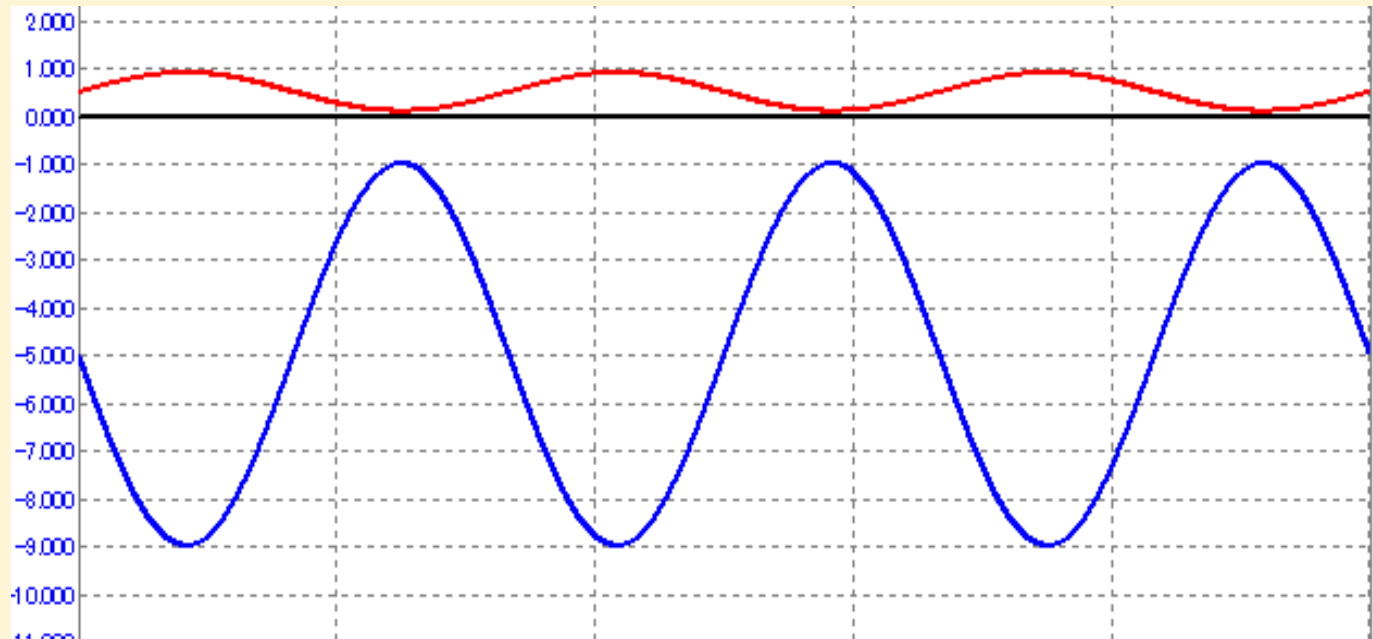
$$R_1 = 1K$$

$$R_2 = 10K$$

$$V_S = 0,4V / 1KHz$$

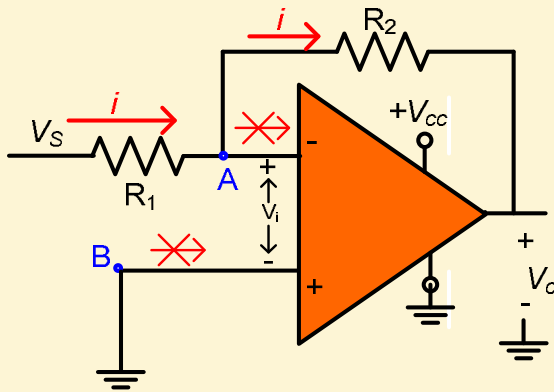
$$V_{BB} = 0,5V$$

$$V_{cc} = \pm 12V$$



# NIVELES DE TENSION DE SALIDA

## TEMA 3



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

Ejemplo :

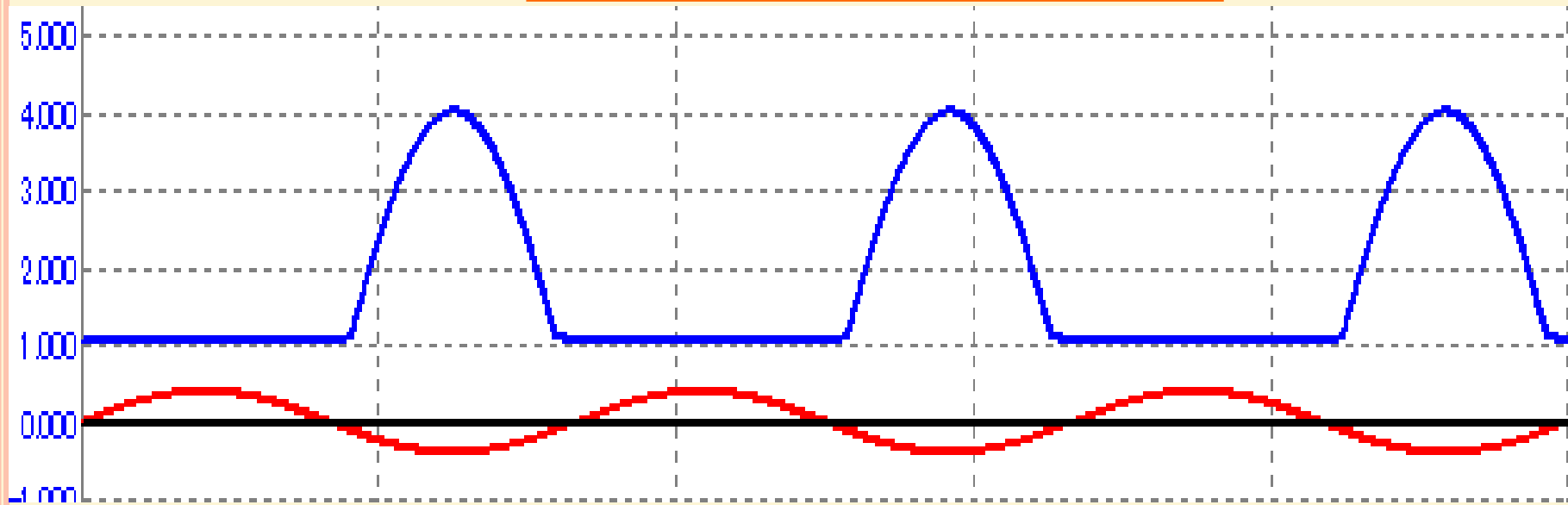
$$R_1 = 1K \quad R_2 = 10K$$

$$V_S = 0,4V / 1KHz$$

$$V_{cc} = +12V$$

$$v_S = 0,4 \cdot \text{sen}(2\pi 1000t)$$

$$v_O = -10 \cdot v_S = -4 \cdot \text{sen}(2\pi 1000t)$$

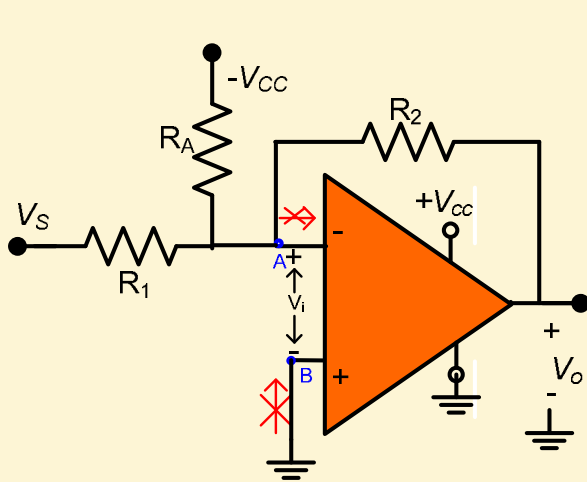


**Excursión de salida entre 0 y +V<sub>cc</sub>**  
**!!!!!! Amplifica solamente picos positivos**  
**Siempre hay distorsión!!!!**

**Máxima excursión de salida ideal, pico-pico V<sub>o</sub> = +V<sub>cc</sub>**

# NIVELES DE TENSIÓN DE SALIDA

## TEMA 3



Demuestre que:

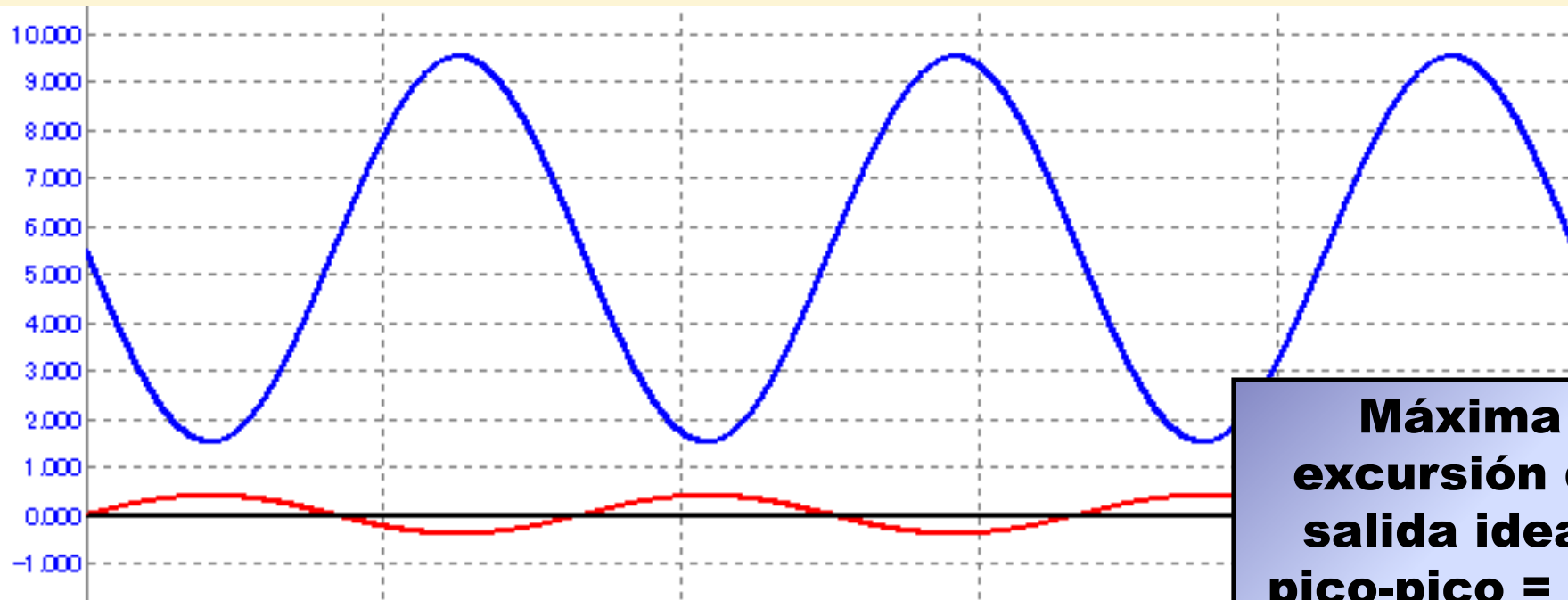
$$V_O = -\frac{R_2}{R_1}V_S - \frac{R_2}{R_A}(-V_{CC})$$

*Ejemplo :*

$$R_1 = 1K; R_2 = 10K; V_{cc} = +12V$$

$$V_S = 0,4V / 1KHz;$$

$$R_A = ?; R_B = ?$$

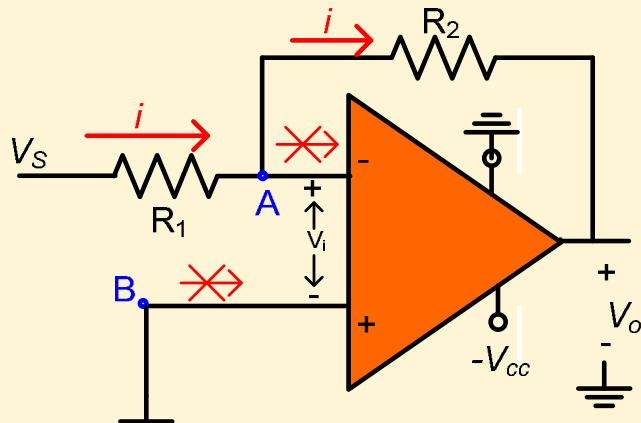


**Máxima excursión de salida ideal, pico-pico =  $V_{CC}$**

**Excursión de salida entre 0 y  $+V_{CC}$  (saturación) !!!!!**

# NIVELES DE TENSION DE SALIDA

## TEMA 3



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

$$v_S = 0,4 \cdot \text{sen}(2\pi 1000t)$$

$$v_O = -10 \cdot v_S = -4 \cdot \text{sen}(2\pi 1000t)$$

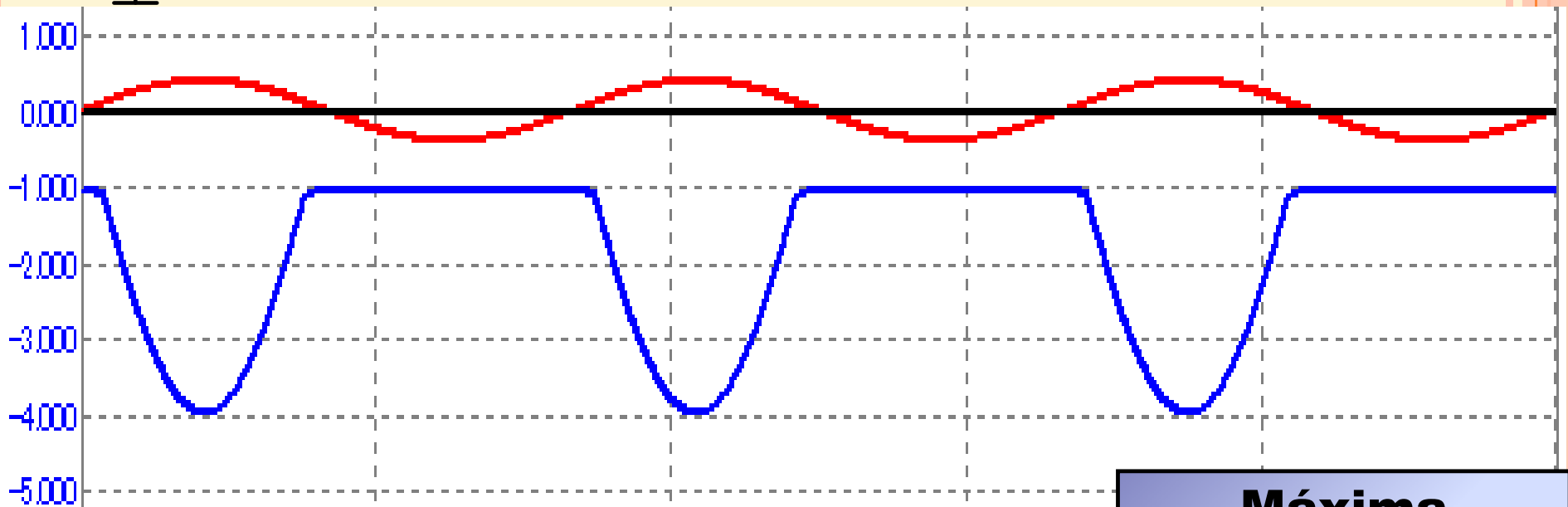
Ejemplo :

$$R_1 = 1K$$

$$R_2 = 10K$$

$$V_S = 0,4V / 1KHz$$

$$V_{cc} = -12V$$

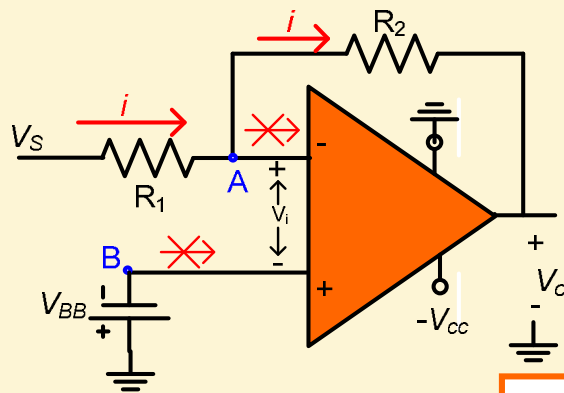


**Excursión de salida entre 0 y  $-V_{cc}$  !!!!!**  
**Amplifica solo picos negativos**  
**Siempre distorsiona!!!!**

**Máxima excursión de salida ideal, pico-pico =  $V_{cc}$**

# NIVELES DE TENSION DE SALIDA

## TEMA 3



$$V_A = V_{BB} \Rightarrow V_S = iR_1 - V_{BB}$$

$$i = \frac{V_S + V_{BB}}{R_1} \wedge V_O = -iR_2 - V_{BB}$$

$$V_O = -\frac{R_2}{R_1}V_S - V_{BB} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$V_O = -10 \cdot V_S - 11 \cdot V_{BB} = -10 \cdot V_S - 5,5V$$

Ejemplo :

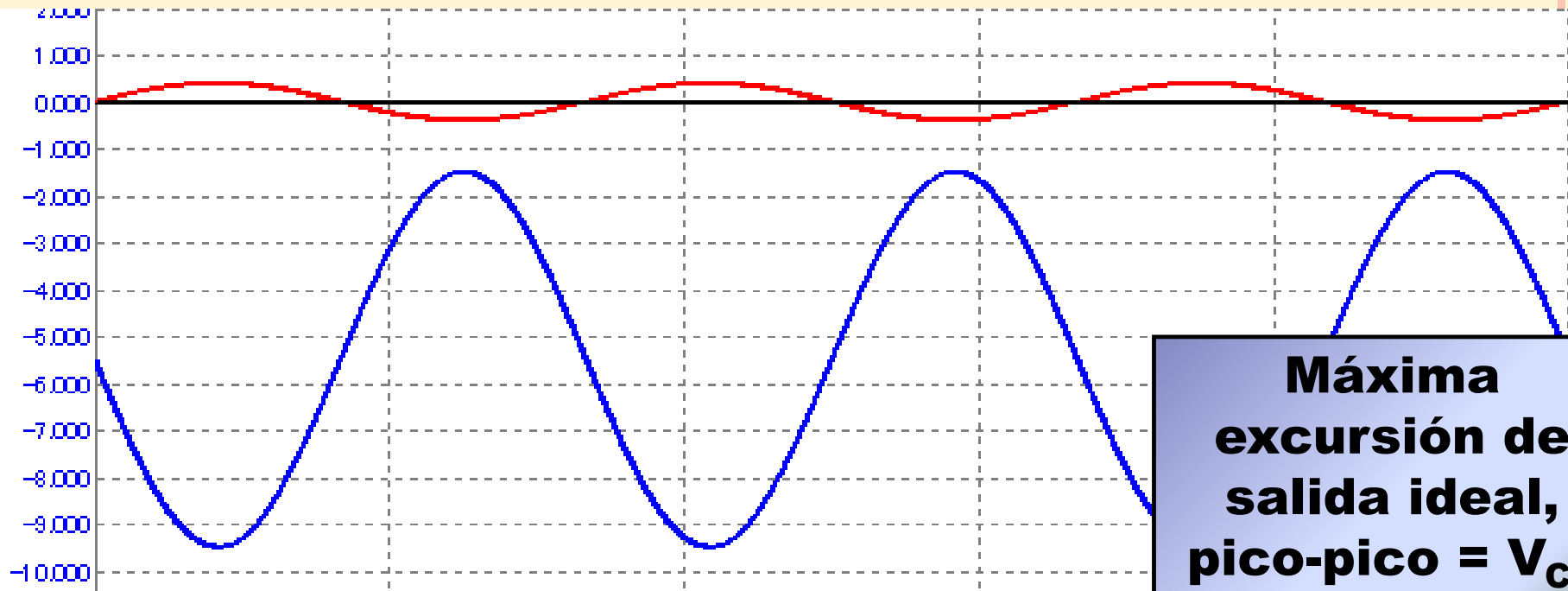
$$R_1 = 1K$$

$$R_2 = 10K$$

$$V_S = 0,4V / 1KHz$$

$$V_{BB} = -0,5V$$

$$V_{cc} = -12V$$

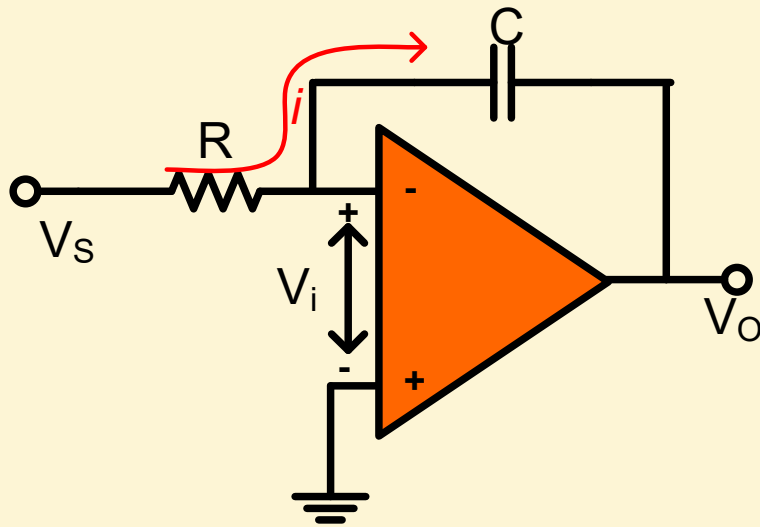


**Máxima excursión de salida ideal, pico-pico =  $V_{cc}$**

**Excursión de salida entre 0 y  $-V_{cc}$  (saturación) !!!!!**

# INTEGRADOR INVERSOR

TEMA 3



Como  $V_i=0$



$$i(t) = \frac{V_s(t)}{R}$$

La tensión  $V_c$  es:

$$V_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) \cdot dt + V_c(0)$$

$$V_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t \frac{V_s(t)}{R} \cdot dt + V_c(0)$$

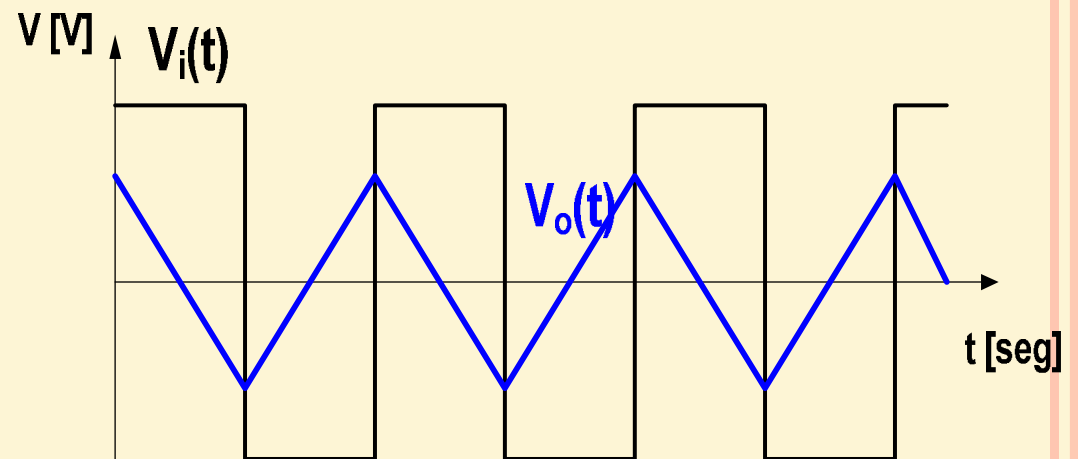
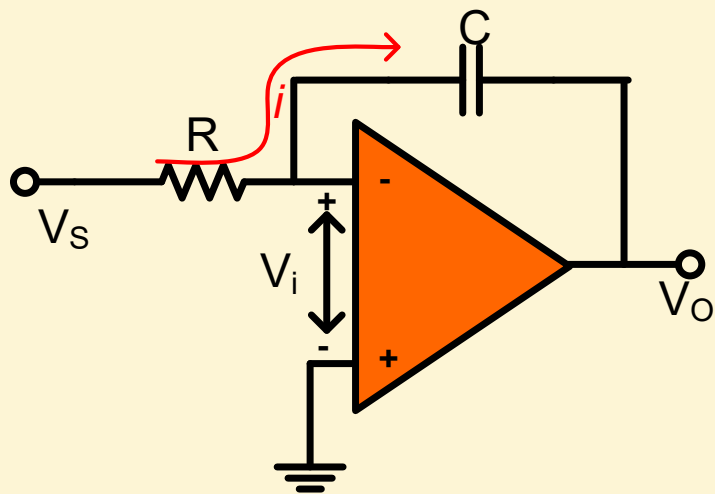
Como  $V_o(t) = -V_c(t)$  entonces

$$V_o(t) = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t V_s(t) \cdot dt - V_c(0)$$

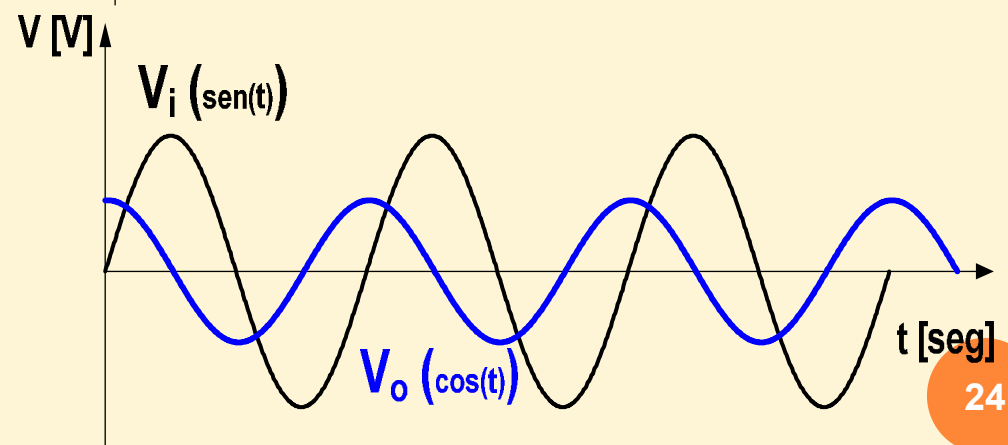
Si  $V_c(0)=0$  entonces

$$V_o(t) = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t V_s(t) \cdot dt$$

## Formas de onda



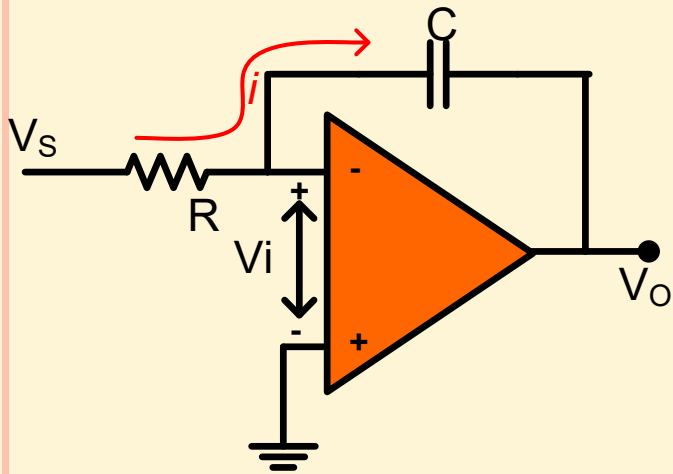
$$V_o(t) = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t V_s(t) \cdot dt$$





# INTEGRADOR INVERSOR

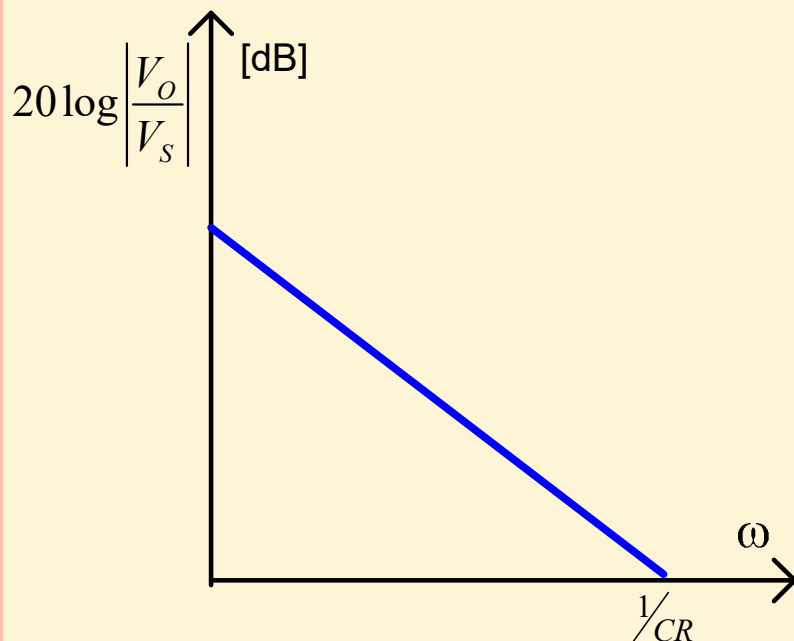
TEMA 3



$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

$$Z_1 = R \quad y \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega C}$$

$$A_v = \frac{v_o(t)}{v_s(t)} = -\frac{1}{j\omega CR}$$



$$|Z_1| = R, \quad \varphi_1 = 0 \quad y \quad |Z_2| = \frac{1}{\omega C}, \quad \varphi_2 = -\frac{\pi}{2}$$

$$A_v = \frac{v_o(t)}{v_s(t)} = \left| \frac{1}{\omega CR} \right| \quad \varphi = -\frac{\pi}{2}$$

- Si se duplica la frecuencia . la ganancia disminuye a la mitad
- Para  $\omega = 1/CR \rightarrow A=1$

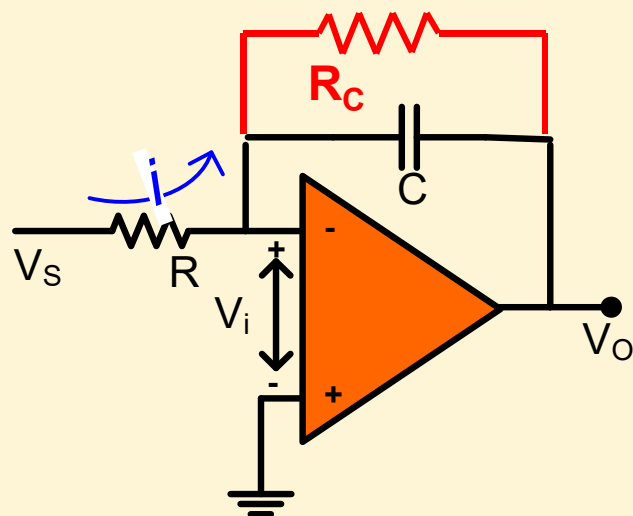
25

25

# INTEGRADOR PRACTICO

## TEMA 3

Problema: Para la DC no está realimentado  $\Rightarrow$  Saturación de AO



$$v_s(t) = V + V_s \text{sen } \omega t$$

$$v_o(t) = \frac{1}{RC} \int_0^t v_s(t) dt$$

$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t (V + V_s \text{sen } \omega t) dt$$

$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \left[ V \cdot t - \frac{1}{\omega} V_s \cos \omega t + V_o(0) \right]$$

Causas:

- $V_o$  aumenta linealmente con el tiempo

Efecto:

- Sin tensión de entrada, en régimen permanente, el AO se satura.

$$V_o = A \cdot V_i = \pm V_{cc}$$

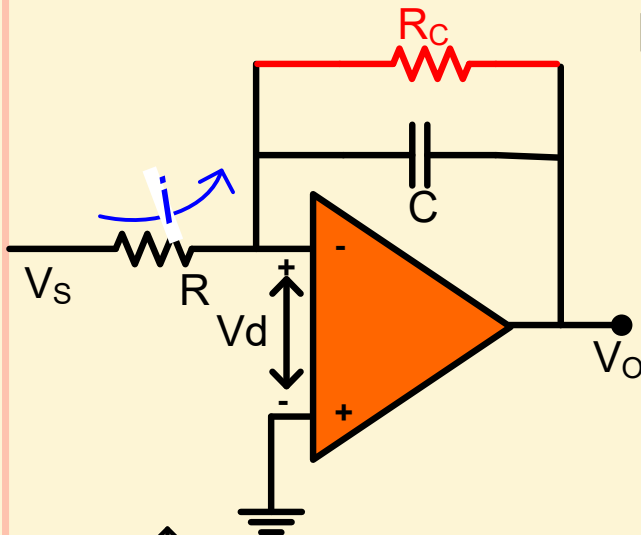
Solución:

- Limitar la ganancia del AO con  $R_C$ .

$$V_o = V_s \cdot (-R_C/R)$$

# INTEGRADOR PRACTICO

## TEMA 3



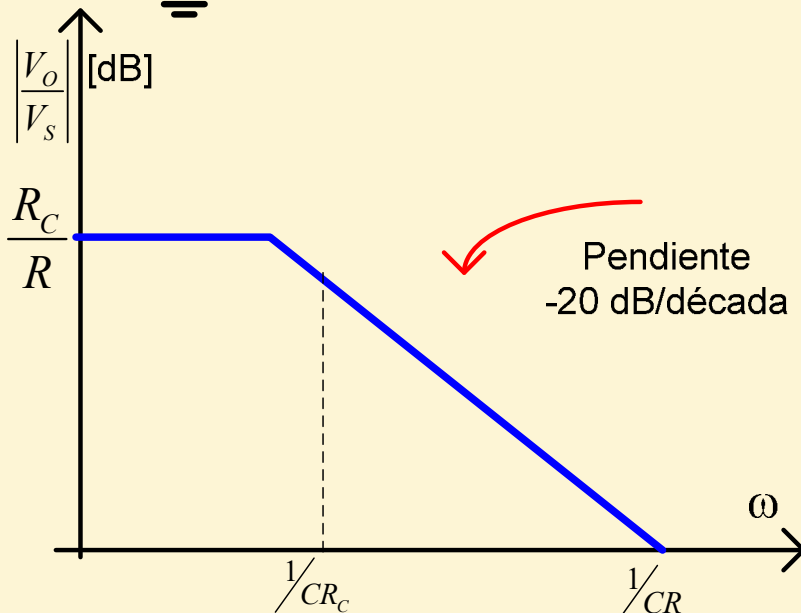
$R_C$  limita la ganancia en DC:

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = -\frac{R_C}{R}$$

- El integrador ya no es ideal.
- Se debe elegir  $R_C$  tan grande como sea posible.

Criterio práctico :

$$R_C \geq \frac{10}{2\pi f_s C}$$



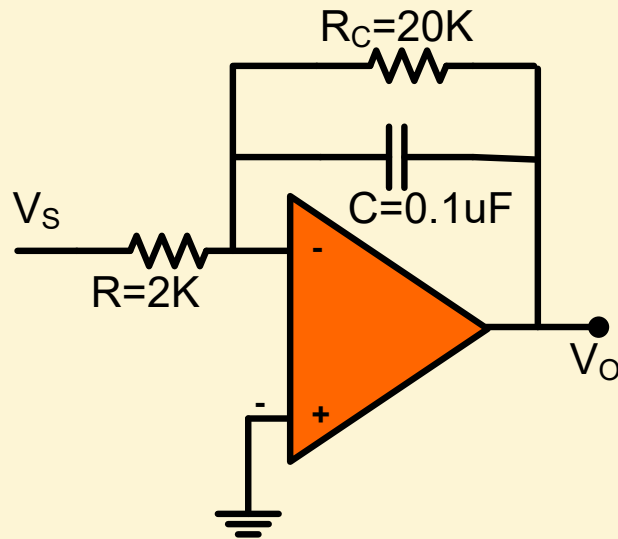
$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{R_C/R}{1 + j\omega C R_C}$$

$$|A_v| = \frac{R_C}{R} \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R_C^2}}$$

$$\varphi = -\left(\pi + \tan^{-1} \omega \cdot C \cdot R_C\right)$$

# INTEGRADOR PRACTICO- EJEMPLO

TEMA 3



$$|A_v| = \frac{R_c}{R} \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R_c^2}}$$
$$\varphi = -\left(\pi + \tan^{-1} \omega \cdot C \cdot R_c\right)$$

$$C \cdot R = 0,0002 \text{ s} \Rightarrow f_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R} = 796 \text{ Hz}$$

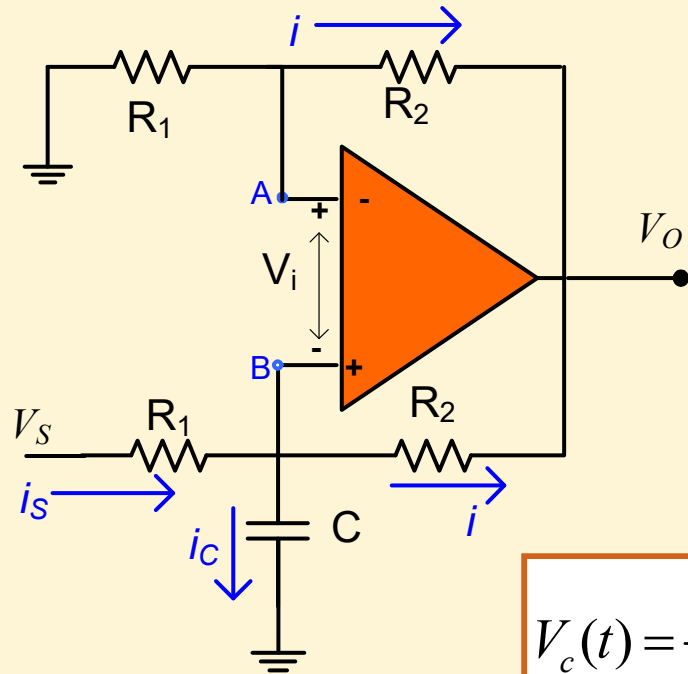
$$C \cdot R_c = 0,002 \text{ s} \Rightarrow f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R_c} = 79,6 \text{ Hz}$$

$$A_v = 20 \log \left( \frac{R_c}{R} \right) = 20 \cdot \log (10) = 20$$

Ver [simulación](#)

# OTRO INTEGRADOR PRACTICO

## TEMA 3



$$i_S = i_C + i \Rightarrow i_C = i_S - i$$

$$V_S = R_1 i_S - R_1 i \Rightarrow V_S = R_1 (i_S - i)$$

$$\Rightarrow V_S = R_1 i_C$$

$$i_C(t) = \frac{V_S(t)}{R_1}$$

$$V_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i_C(t) \cdot dt + V_c(0)$$



$$V_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t \frac{V_S(t)}{R} \cdot dt + V_c(0)$$

Si  $V_C(0)=0$  entonces:

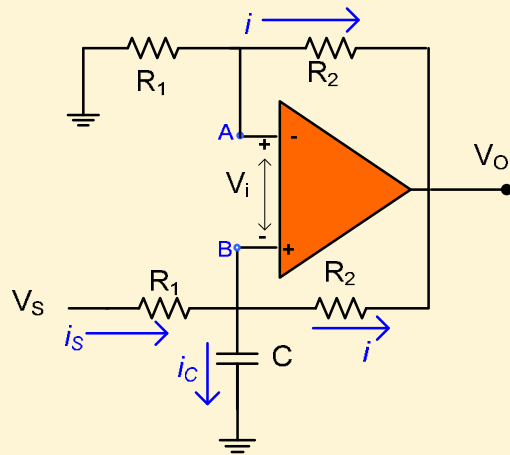
$$V_c(t) = \frac{1}{C \cdot R} \int_0^t V_S(t) \cdot dt = V_B$$

La tensión de salida será:

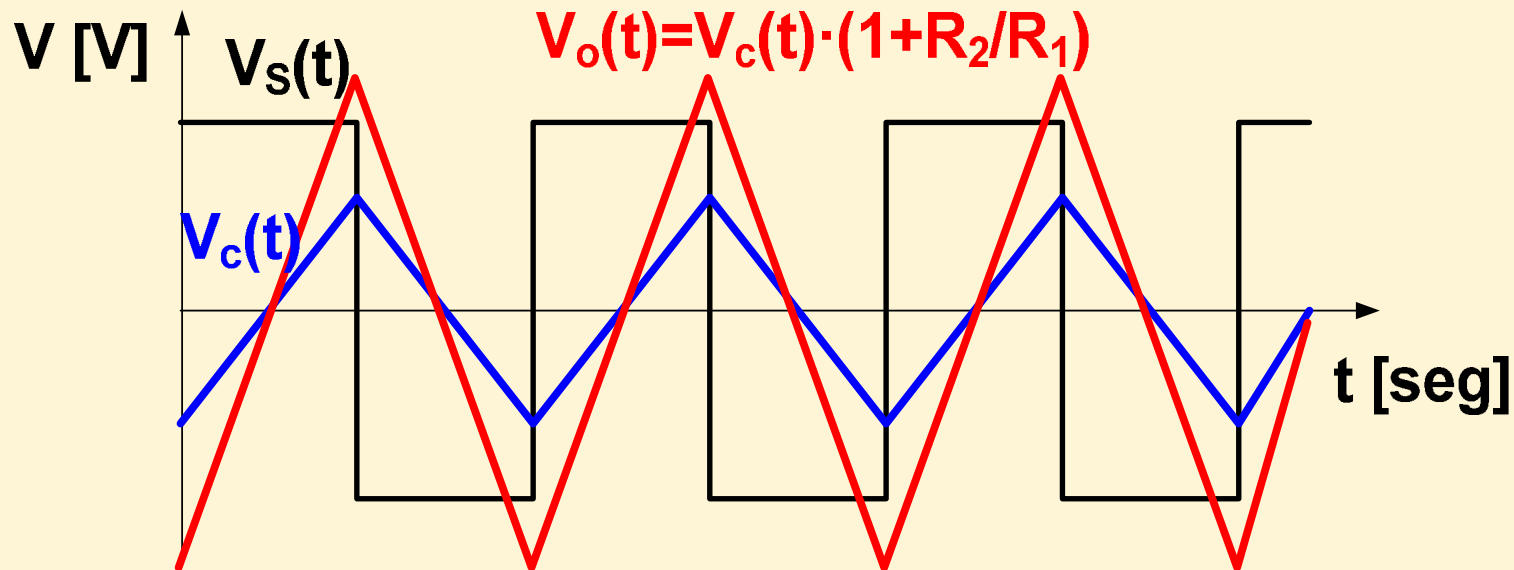
$$V_0(t) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_c(t) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{C \cdot R} \int_0^t V_S(t) \cdot dt$$

# OTRO INTEGRADOR PRACTICO

## TEMA 3



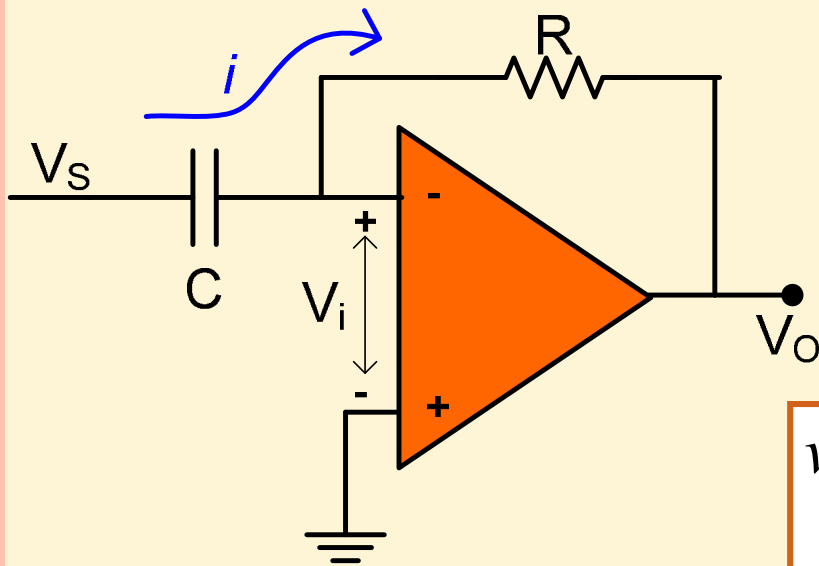
$$V_o(t) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{C \cdot R} \int_0^t V_s(t) \cdot dt$$



La tensión de salida es la tensión del capacitor amplificada por un factor  $(1 + R_2/R_1)$

# CIRCUITO DERIVADOR

TEMA 3



$$v_S(t) = v_C(t)$$

$$\Rightarrow i(t) = C \frac{dv_S(t)}{dt}$$

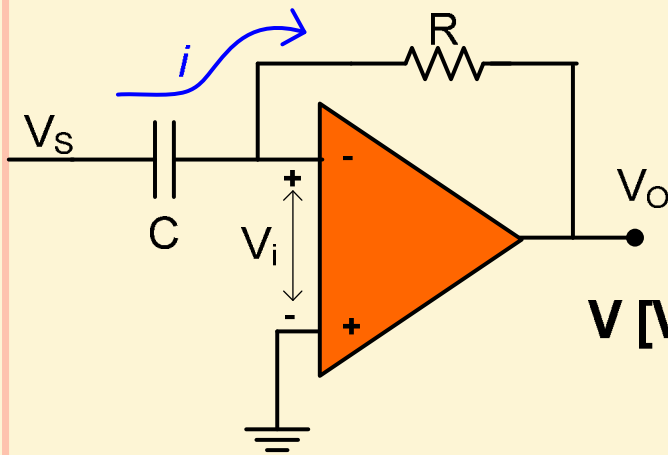
$$\wedge v_O(t) = -v_R(t) = -R \cdot i(t)$$

Entonces:

$$v_O(t) = -RC \frac{dv_S(t)}{dt}$$

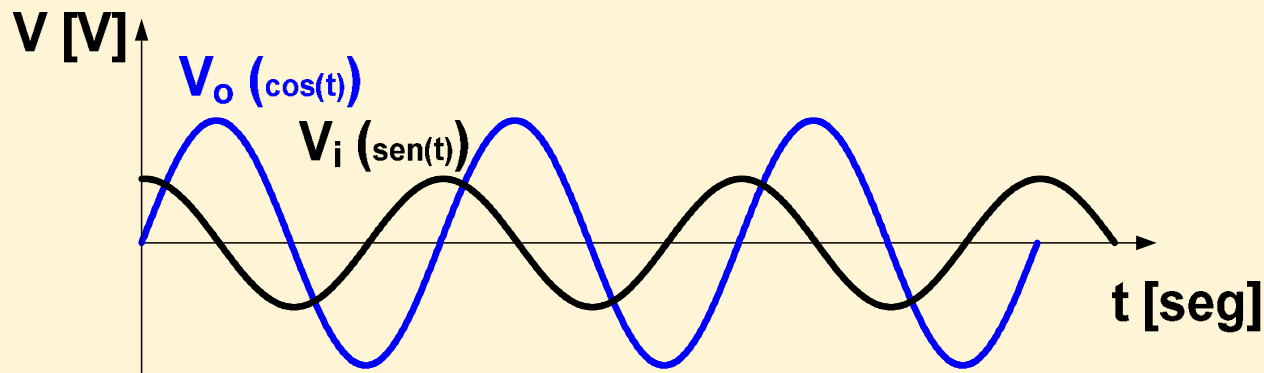
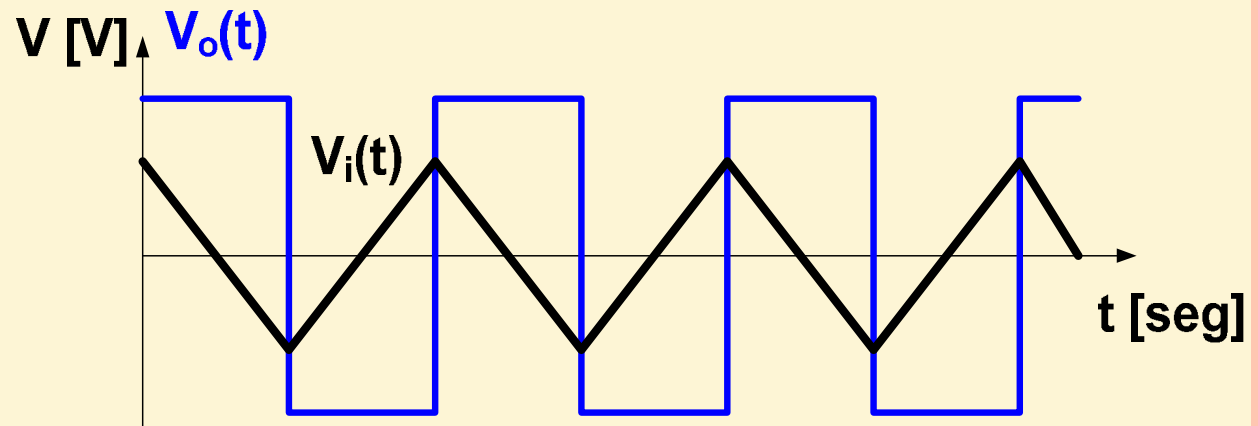
# CIRCUITO DERIVADOR

TEMA 3



$$V_o(t) = -RC \frac{dV_s(t)}{dt}$$

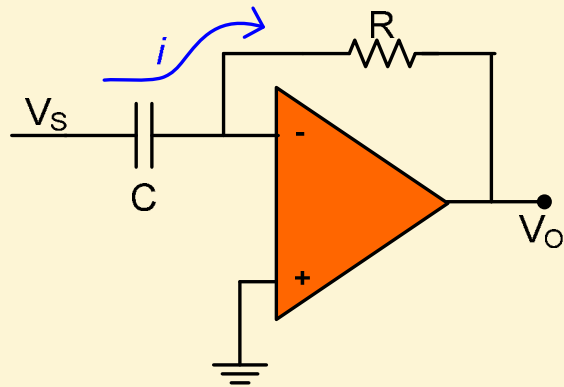
Formas de onda





# CIRCUITO DERIVADOR

TEMA 3



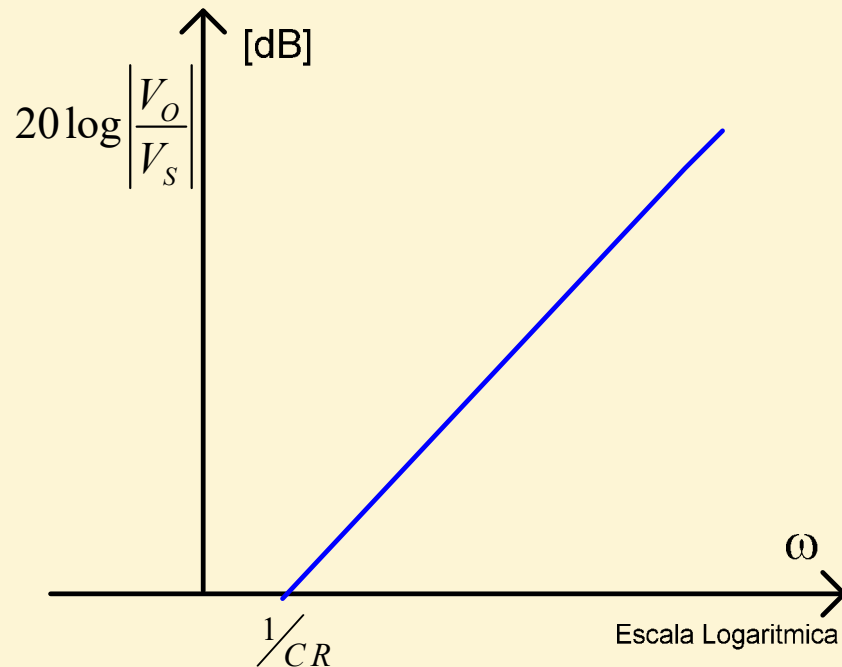
$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C} \quad y \quad Z_2 = R$$

$$A_v = \frac{v_o(t)}{v_s(t)} = -j\omega CR$$

$$|Z_1| = \frac{1}{\omega C}, \quad \varphi_1 = -\frac{\pi}{2} \quad y \quad |Z_2| = R, \quad \varphi_2 = 0$$

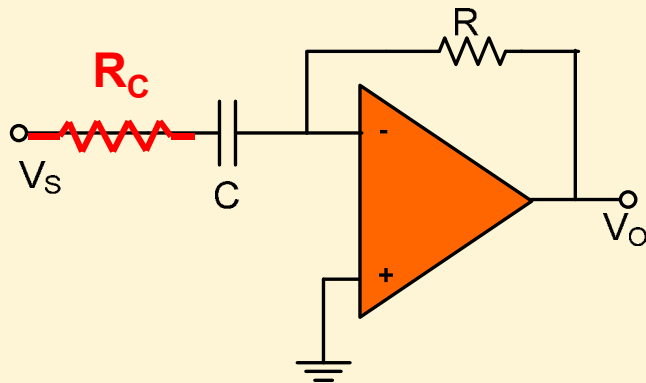
$$A_v = \frac{v_o(t)}{v_s(t)} = |\omega CR| \quad \varphi = -\frac{\pi}{2}$$



- Si se duplica la frecuencia . la ganancia aumenta al doble
- Si  $\omega = 1/CR$  , entonces  $A=1$

# DERIVADOR PRACTICO

## TEMA 3



- El Derivador ya no es ideal.

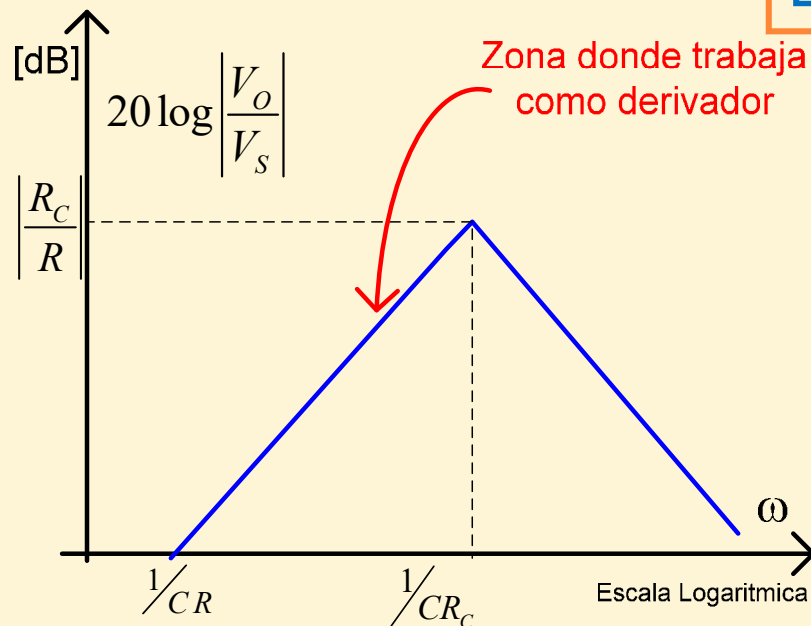
Causa: altísima ganancia para frecuencias altas

Consecuencias : Cualquier ruido de alta frecuencia montado en la señal de entrada es amplificado por el circuito por lo cual se convierte en un “magnificar el ruido”.

Solución: Poner una pequeña resistencia en serie con el condensador

En la práctica :

$$R_c \leq \frac{1}{10.2\pi f_s C} \wedge R_c \ll R$$



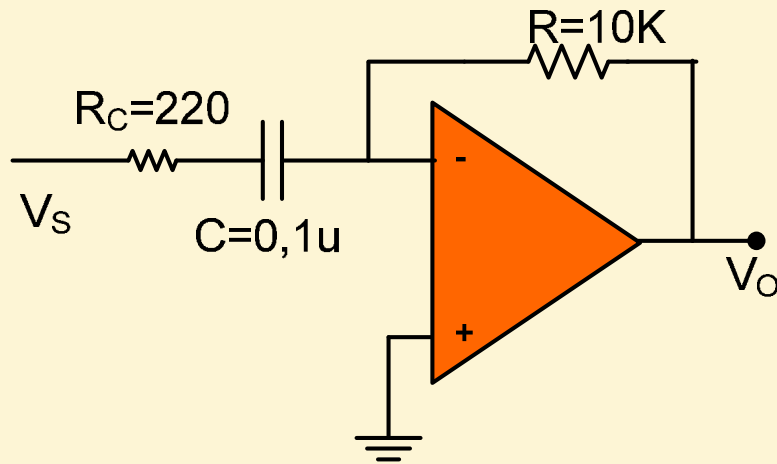
$$A_v = - \frac{R}{R_c + \frac{1}{j\omega C}} = - \frac{j\omega C R}{1 + j\omega C R_c}$$

$$|A_v| = \frac{\omega C R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R_c^2}}$$

$$\varphi = -180 - \tan^{-1} \left( \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R_c} \right)$$

# DERIVADOR PRACTICO- EJEMPLO

TEMA 3



$$|A_v| = \frac{R}{R_C} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 C^2 R_C^2}}}$$
$$\varphi = \tan^{-1} \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R_C}$$

Ver simulación

$$C \cdot R = 0,001s \Rightarrow f_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R} = 159,2 Hz$$

$$C \cdot R_C = 0,000022s \Rightarrow f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R_C} = 7237,98 Hz$$

$$20 \log (R / R_C) = 20 \log (10000 / 220) = 33,15 dB$$

La característica “derivadora” del circuito se da para bajas frecuencias.

Subsiste en este esquema el problema que la impedancia de entrada es muy pequeña para altas frecuencias  $Z_i \rightarrow R_i$  si  $f \rightarrow \infty$ .

# RESUMEN

## Tema 3

Es posible realizar funciones matemáticas, de ahí su nombre : Amplificador Operacional.

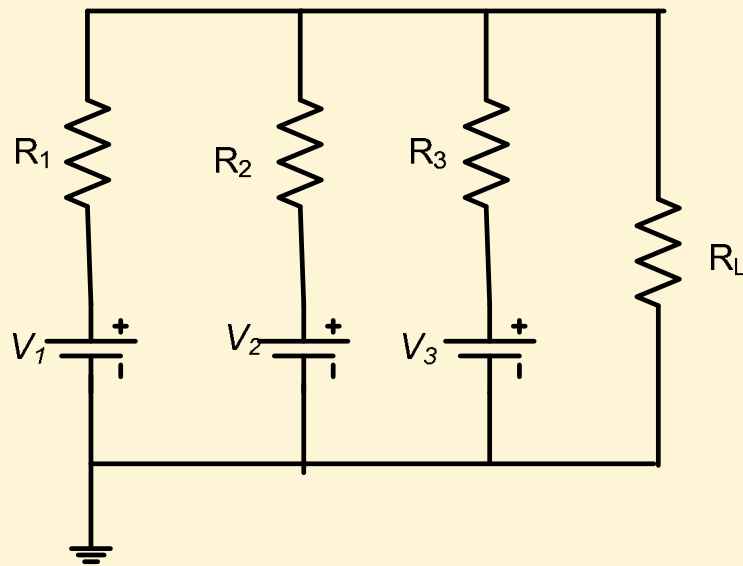
- Sumador
- Restador
- Integrador
- Diferenciador
- Amplificadores de instrumentación
- Adaptadores de niveles

Un circuito con AOP tendrá **comportamiento lineal** y **podrá ser tratado según corto circuito virtual**, **si y solo si** se cumple que:

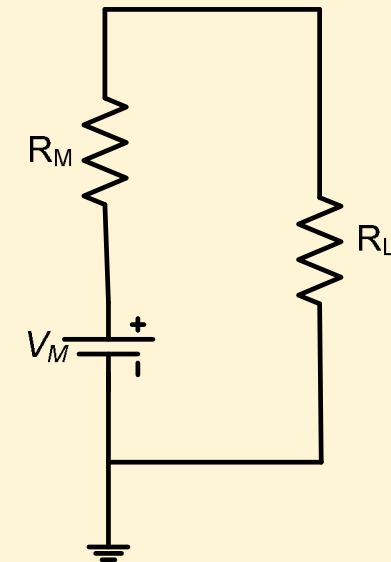
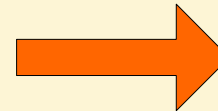
- Está realimentado negativamente, o sea existe un camino que permite que una muestra de la señal de salida se introduzca invertida en la entrada.
- El valor de la tensión de salida  $V_o$ , no sobrepasa los límites de la tensión de alimentación,  $\pm V_{cc}$  ( el amplificador no satura)

# TEOREMA DE MILLMAN

## ANEXO TEMA 3



Es  
equivalente  
a:



$$V_M = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

$$\frac{1}{R_M} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Volver a pág. 4