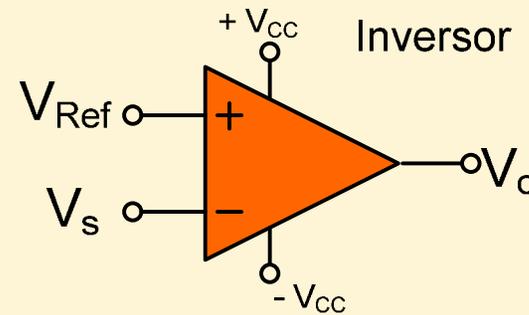
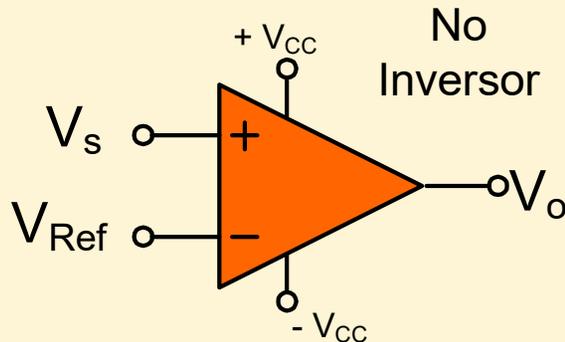


## COMPARADOR

Es una aplicación **sin realimentación**. Tienen como misión comparar una tensión variable con otra, normalmente constante, denominada tensión de referencia, entregando a la salida una tensión positiva o negativa.

Los comparadores hacen trabajar en saturación los A.O. dando a la salida una tensión del valor de la tensión de fuente.

Existen dos tipos básicos de comparadores:



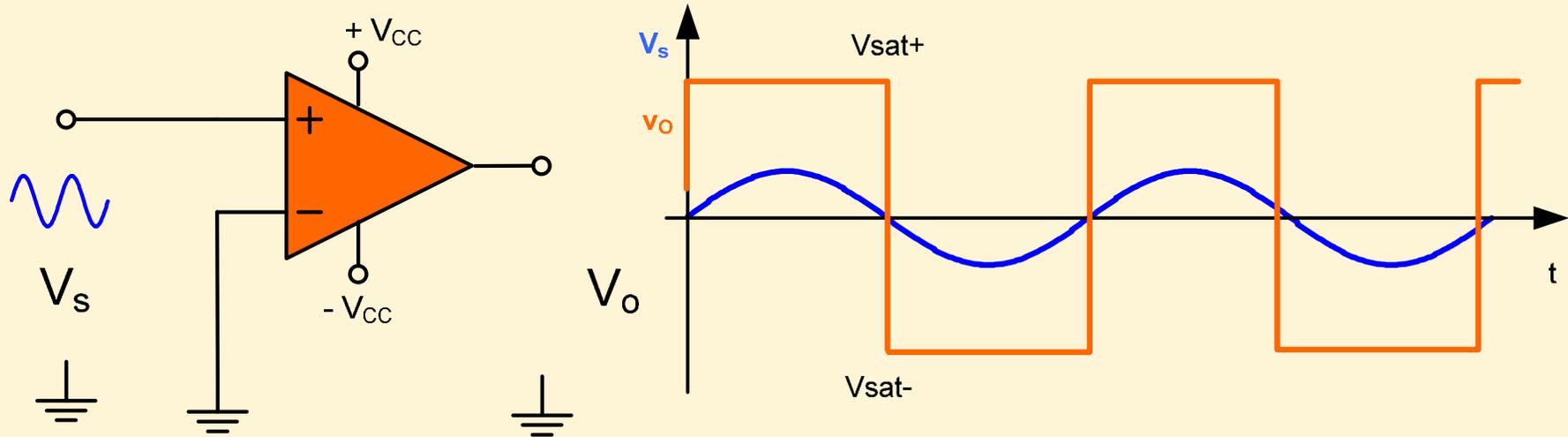
$$\text{Si } V_S > V_{Ref} \Rightarrow V_o = V_{sat^+}$$

$$\text{Si } V_S < V_{Ref} \Rightarrow V_o = V_{sat^-}$$

$$\text{Si } V_S > V_{Ref} \Rightarrow V_o = V_{sat^-}$$

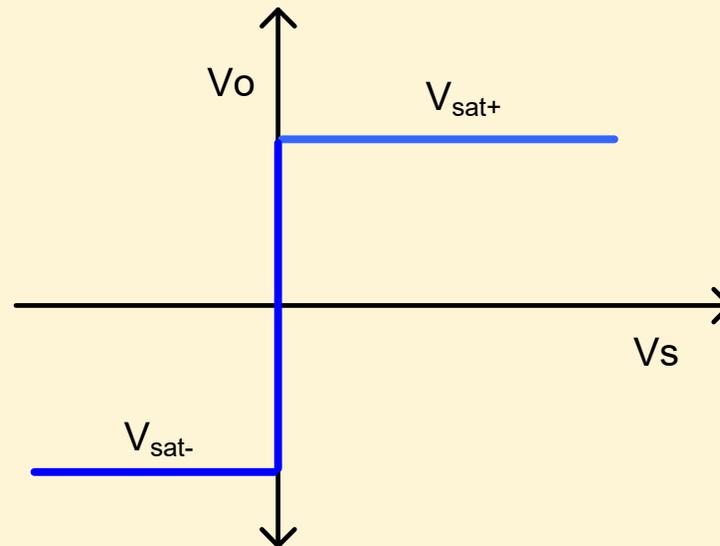
$$\text{Si } V_S < V_{Ref} \Rightarrow V_o = V_{sat^+}$$

## COMPARADOR



$$V^+ > 0 \Rightarrow V_o = V_{sat+}$$

$$V^+ < V^- \Rightarrow V_o = V_{sat-}$$



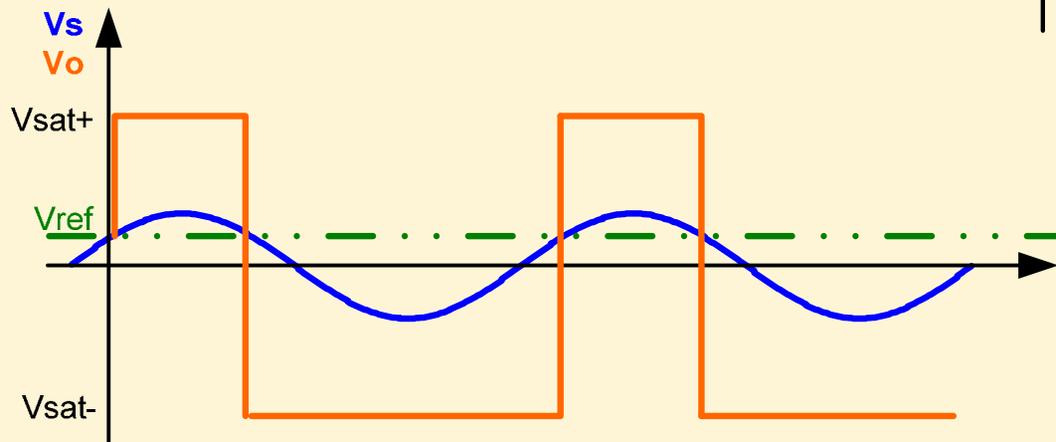
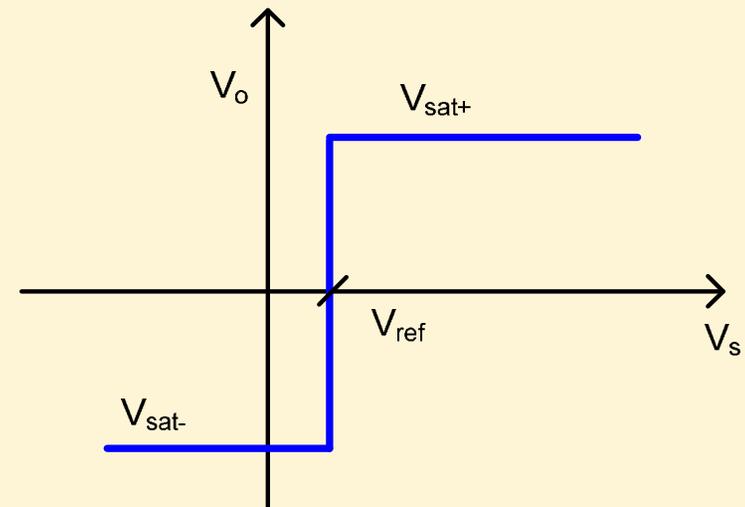
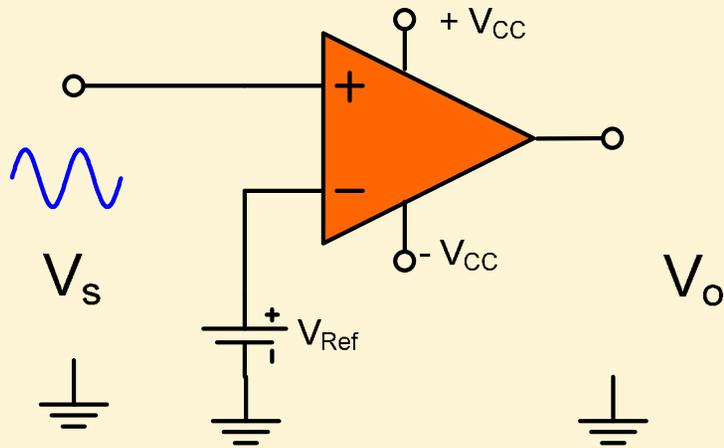
# APLICACIONES NO LINEALES

## TEMA 3

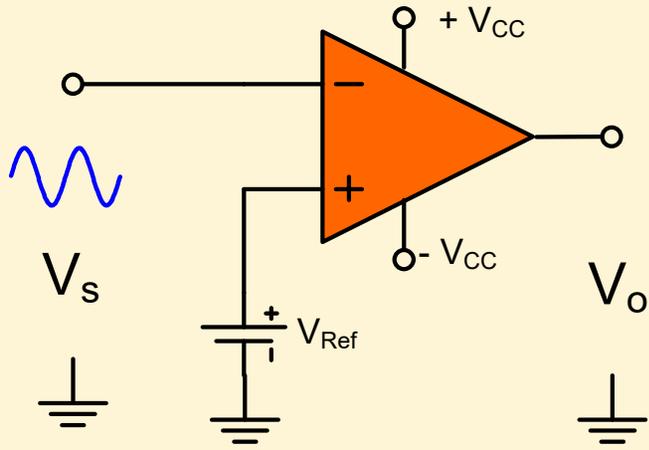
### Comparador no Inversor

$$v_S > V_{REF} \Rightarrow v_O = V_{SAT+}$$

$$v_S < V_{REF} \Rightarrow v_O = V_{SAT-}$$

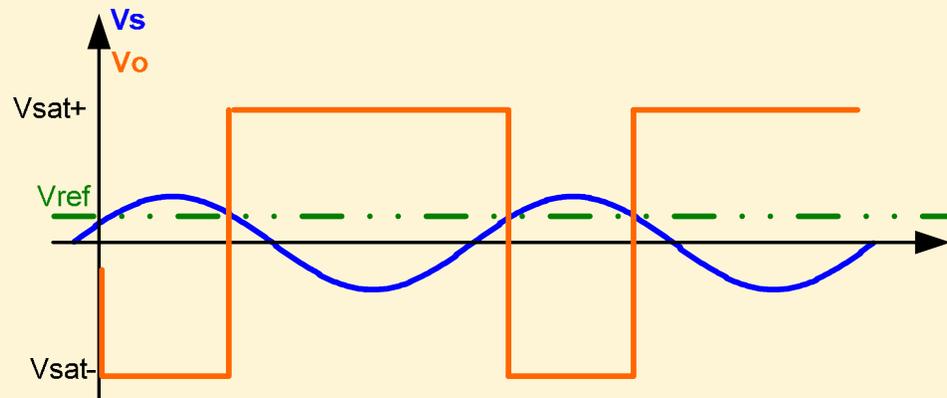
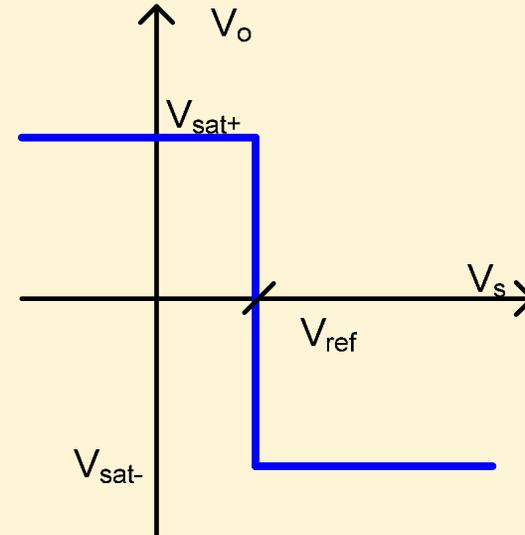


## Comparador Inversor



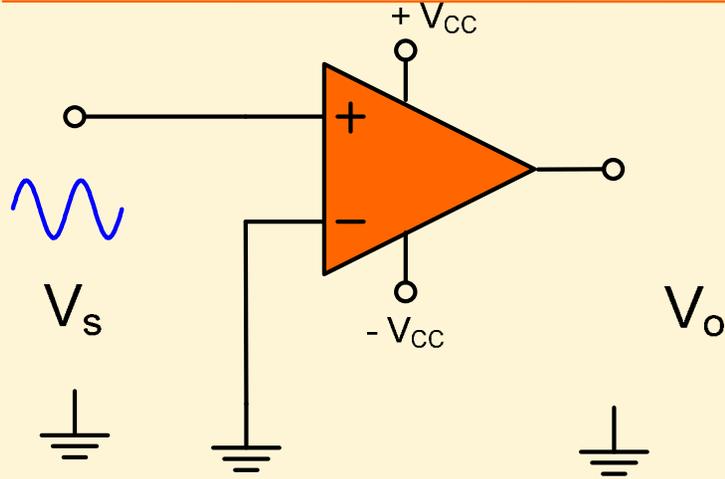
$$v_S < V_{REF} \Rightarrow v_O = V_{SAT+}$$

$$v_S > V_{REF} \Rightarrow v_O = V_{SAT-}$$



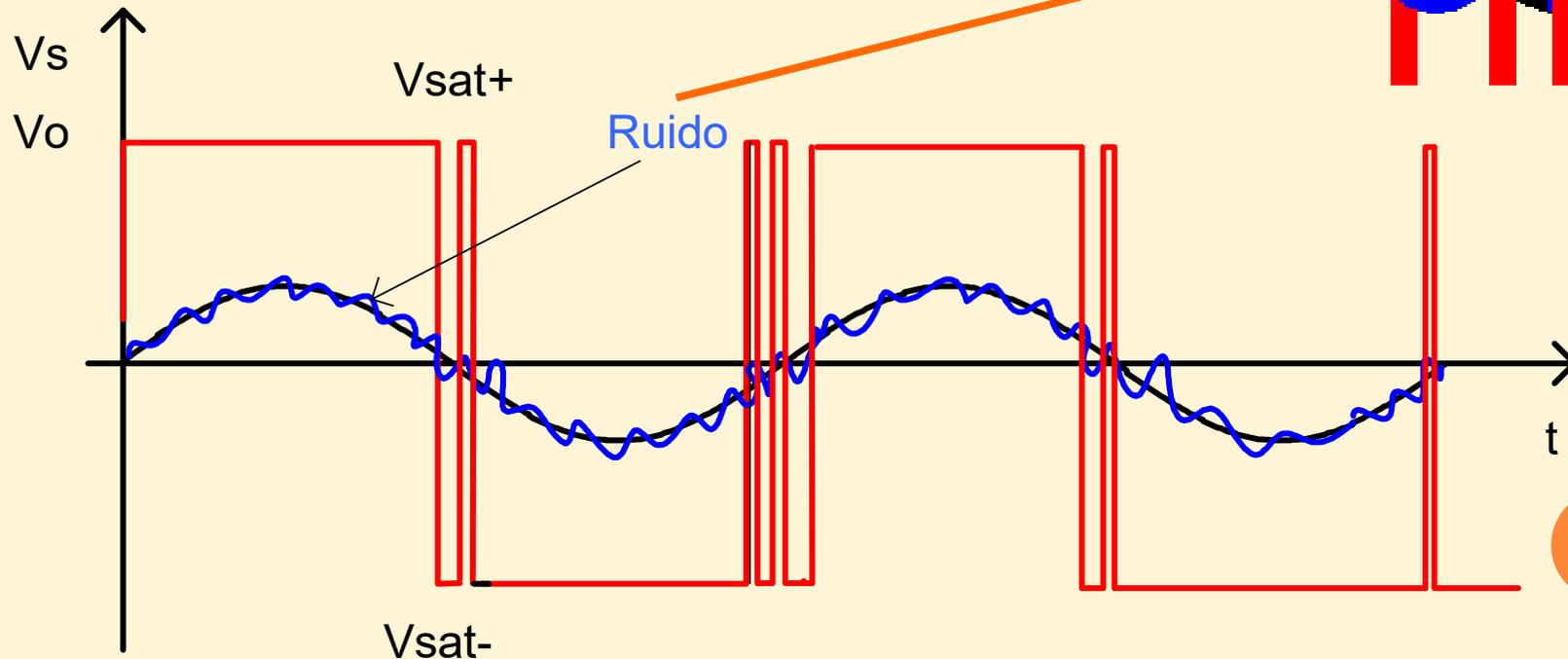
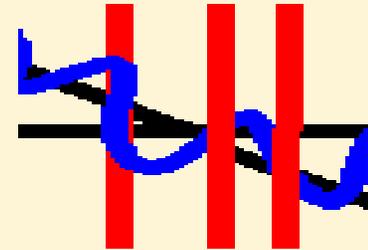
# APLICACIONES NO LINEALES

TEMA 3



COMPARADOR

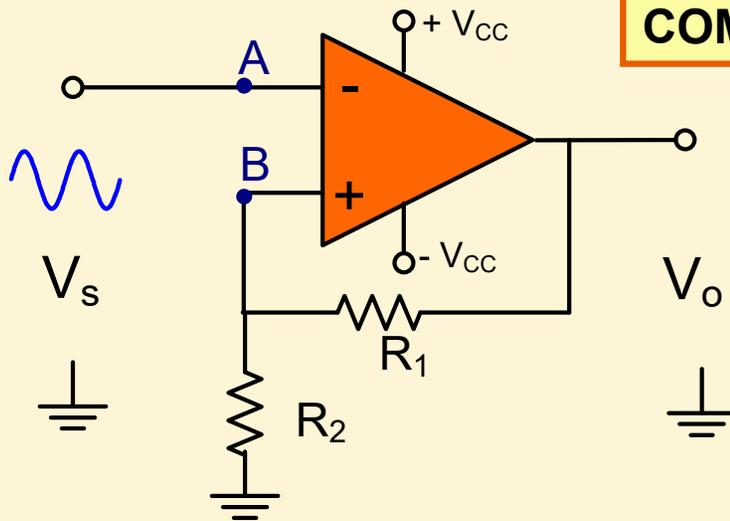
Problema de ruido



# APLICACIONES NO LINEALES

TEMA 3

## COMPARADOR REGENERATIVO (Schmitt trigger)



$$V_s = V_A > V_B \Rightarrow V_O = V_{Sat^-}$$

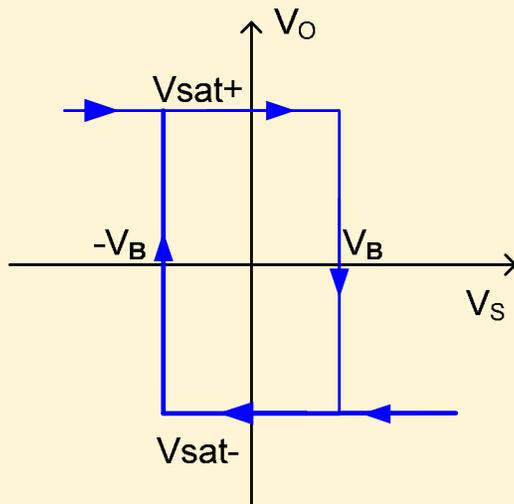
$$V_B = V_{sat^-} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Tensión de comparación

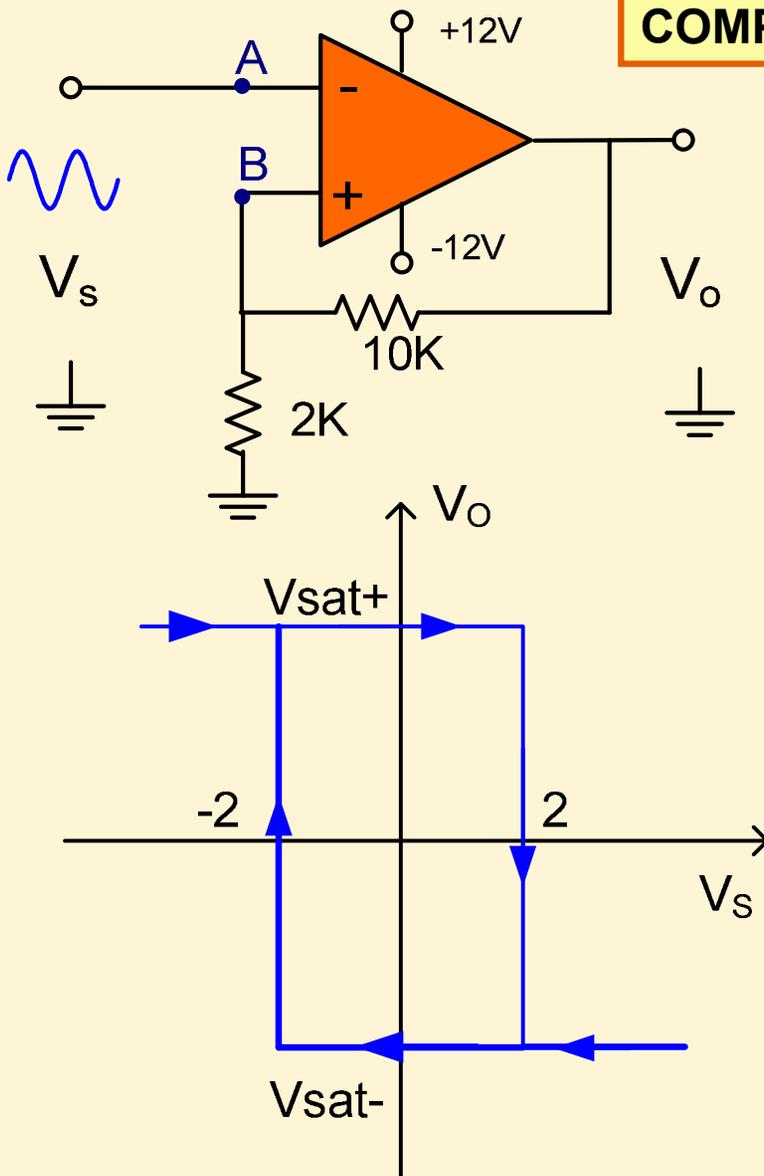
$$V_s = V_A < V_B \Rightarrow V_O = V_{Sat^+}$$

$$V_B = V_{sat^+} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Tensión de comparación



## COMPARADOR REGENERATIVO (Schmitt trigger)



$$V_s = V_A > V_B \Rightarrow V_O = V_{Sat^-}$$

Tensión de comparación

$$V_B = V_{sat^-} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = -12 \frac{2K}{10K + 2K} = -2$$

$$V_s > -2V \Rightarrow V_O = V_{Sat^-}$$

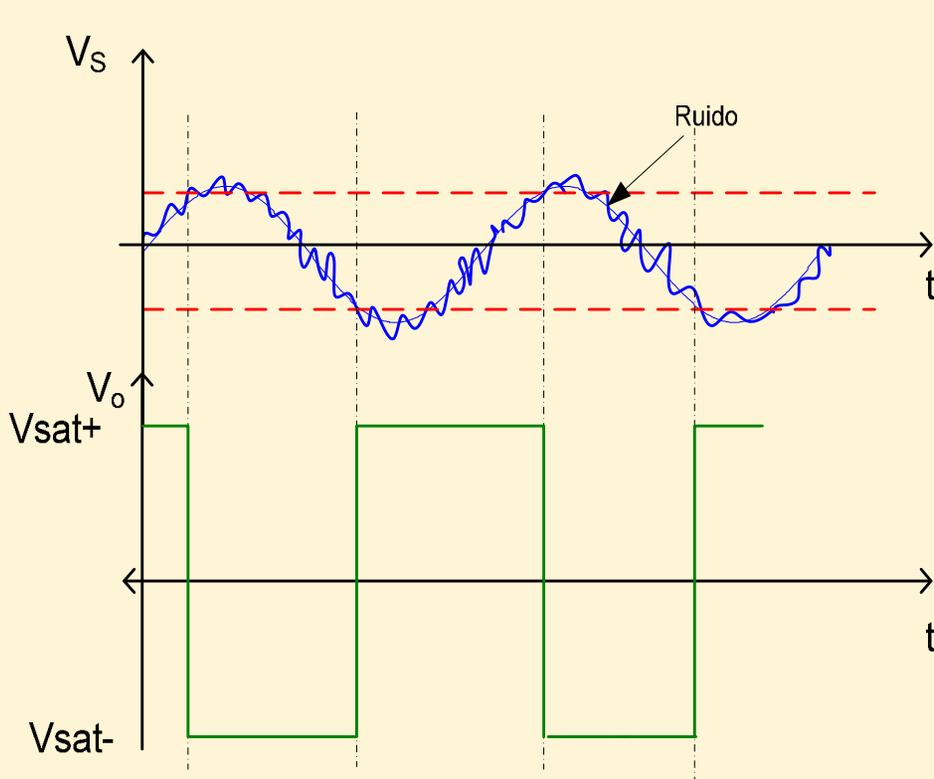
$$V_s = V_A < V_B \Rightarrow V_O = V_{Sat^+}$$

Tensión de comparación

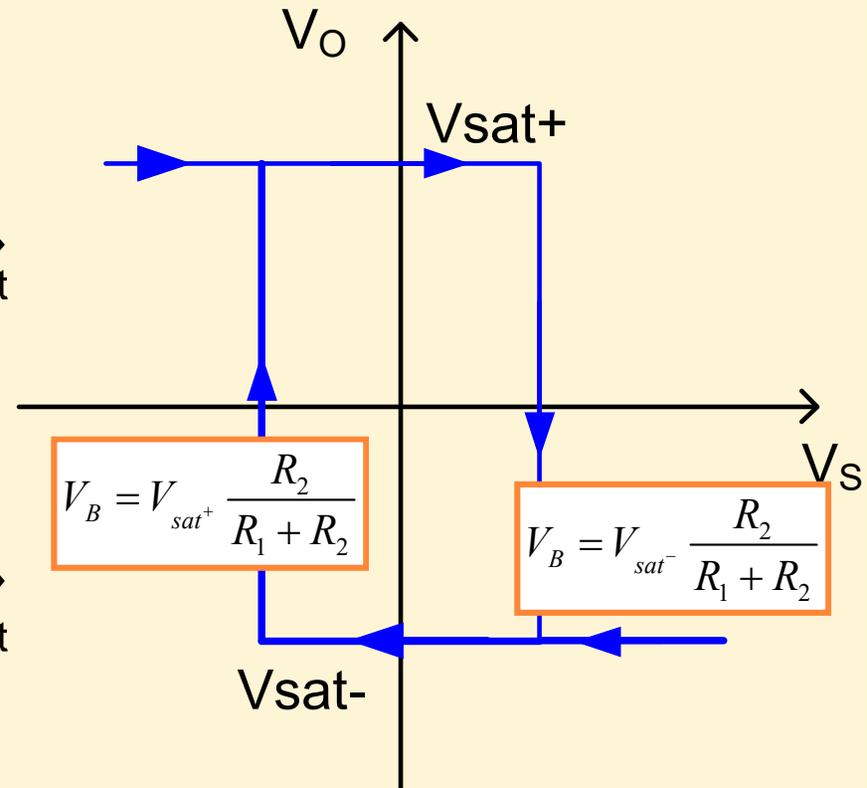
$$V_B = V_{sat^+} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \frac{2K}{10K + 2K} = 2$$

$$V_s < 2V \Rightarrow V_O = V_{Sat^+}$$

## COMPARADOR REGENERATIVO (Schmitt trigger)



Formas de onda



Función de Transferencia

Axiomas: SI EL AMPLIFICADOR ESTÁ REALIMENTADO NEGATIVAMENTE Y  $V_{CC} \leq V_O \leq V_{CC}$ , entonces se cumple que :

- 1.- La tensión de entrada diferencial es nula
- 2.- No existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada

### CONFIGURACIONES

#### Lineales:

Amplificador Inversor,  
Amplificador No Inversor, Seguidor de tensión  
Sumador Inversor, Sumador No inverso  
Amplificador Diferencial  
Amplificador de Instrumentación  
Convertidores: de tensión en Corriente, de Corriente en

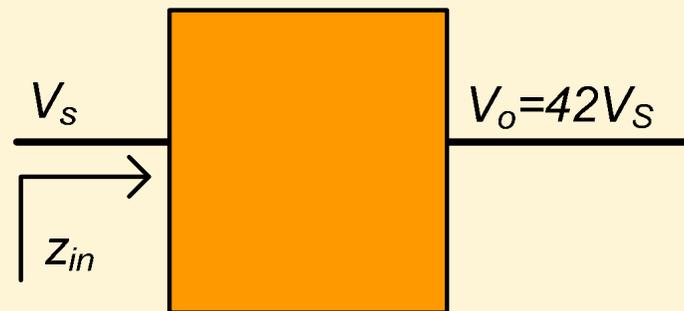
tensión,

Convertidores de Impedancia  
Integrador, Derivador ideales y prácticos

#### No Lineales:

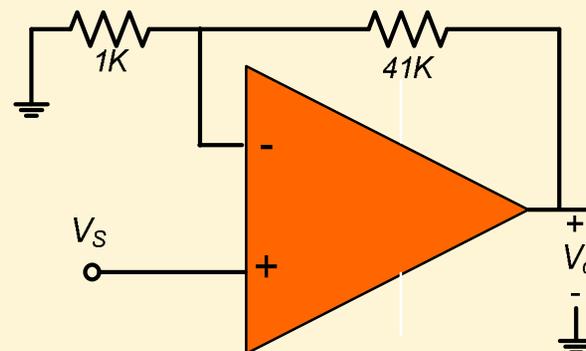
Comparador, Comparador con Histéresis  
Convertidor A/D

- Diseñar un circuito con Amp. Operacional que tenga una ganancia de 42 y que tenga una resistencia de entrada muy grande.

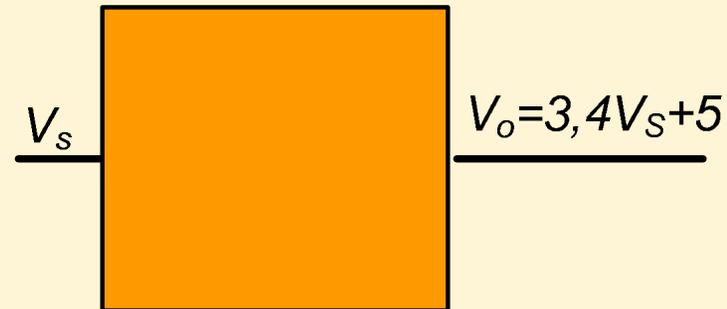


### Solución

- Se usa la configuración no inversora, ya que posee la característica de tener Resistencia de entrada grande.

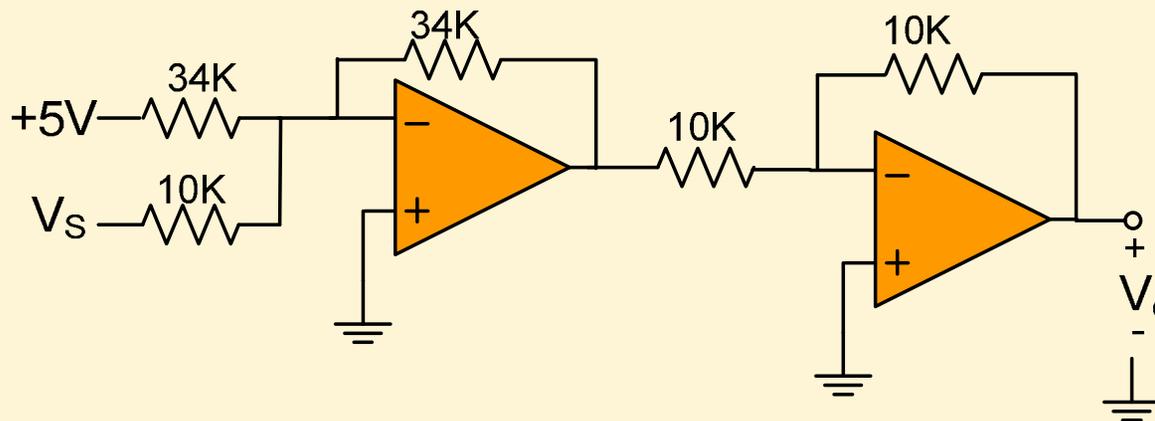


- Usando Amp. Operacionales, diseñar el siguiente circuito aritmético:



### Solución

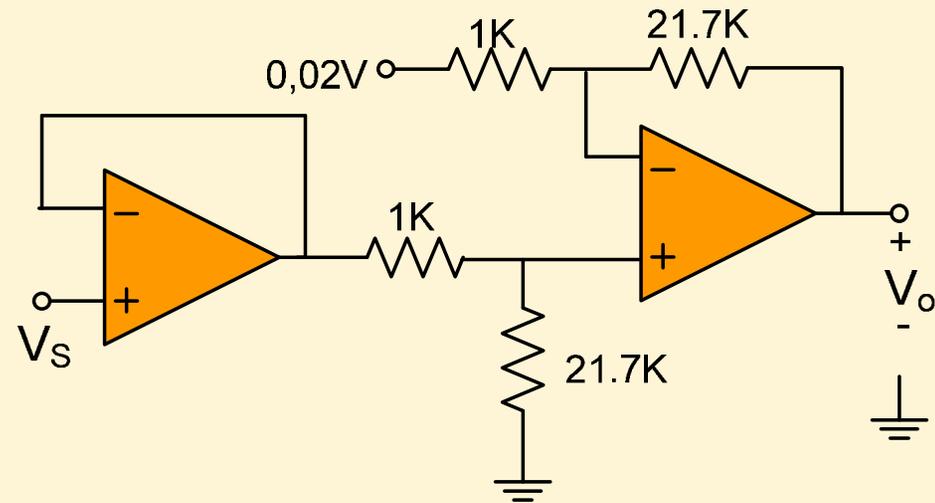
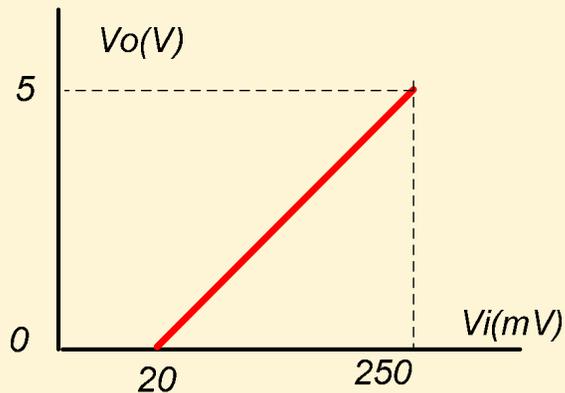
- Usar un amplificador sumador con entradas  $V_i$  y 5 Volts, ajustar la ganancia a 3.4 y 1, respectivamente.



# EJEMPLOS

## TEMA 3

- Diseñar un circuito basado en amplificadores operacionales que convierta un rango de voltajes de 20 a 250 mV a un rango de 0 a 5 V. y con gran impedancia de entrada.



$$V_o = m \cdot V_i + b \quad \left. \begin{array}{l} 0 = m \cdot 0,02 + b \\ 5 = m \cdot 0,25 + b \end{array} \right\} V_o = 21,7(V_i - 0,02)$$

### Principales límites:

	Amplificador Operacional IDEAL	Amplificador Operacional REAL
Ganancia de tensión	$A_v = \infty$ Para todas las frecuencias	$A_v \neq \infty$ La ganancia a lazo abierto es muy grande sólo hasta algunos Hz.
Ancho de Banda	$AB = \infty$	$AB \neq \infty$ Aparecen frecuencias de corte muy bajas.
Impedancia de Entrada	$Z_{in} = \infty$	$Z_i \neq \infty$ Existe una impedancia de entrada finita.
Impedancia de Salida	$Z_{out} = 0$ Al ser la impedancia de salida nula, el AO podía cargarse con cualquier $R_L$ sin que modifique su nivel de salida $V_o$ .	$Z_o \neq 0$ La impedancia de salida no es nula.
Corrientes de entrada	Nulas	Aparecen corrientes de polarización. $I_{Bin} \neq 0$
Offset de tensión y corriente	Nulos	Aparecen $V_{offset} \neq 0$
Factor de Rechazo	$FR = \infty$	$FR \neq \infty$ Aparece una dependencia de la entrada a modo común en la salida.

## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.  
(Note 5)

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 2)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD Tolerance (Note 6)

	400V	400V	400V	400V

## Electrical Characteristics (Note 3)

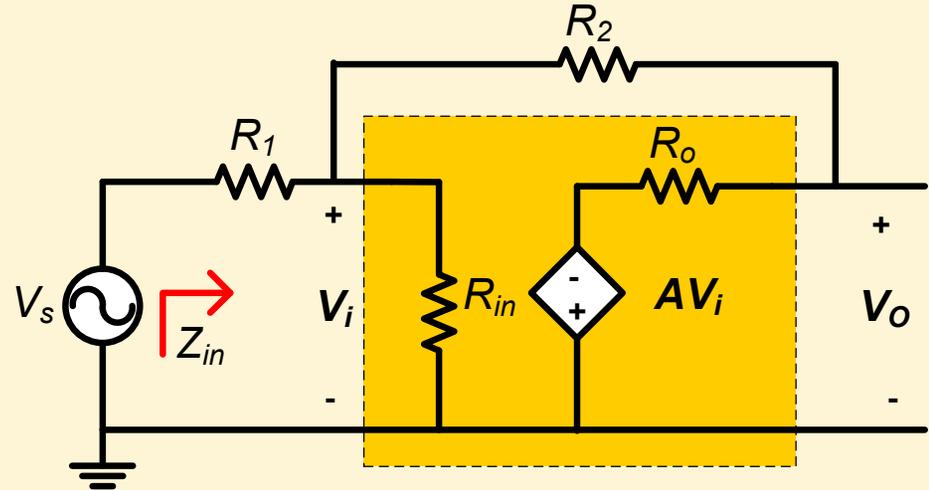
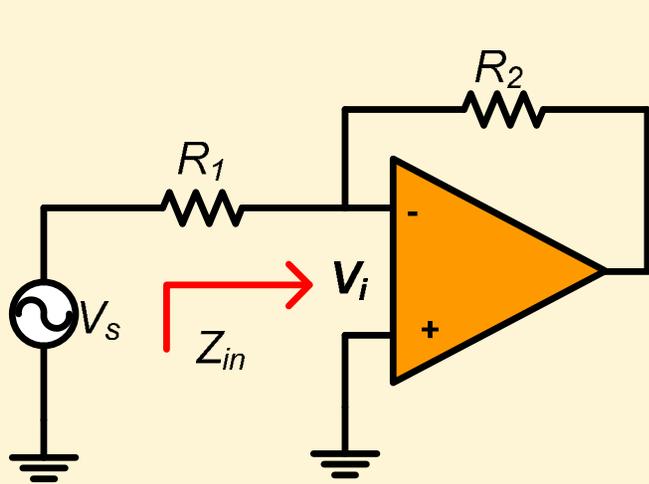
Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_B \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_B \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	$\mu\text{A}$
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M $\Omega$
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									M $\Omega$
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13					V
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	50									V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ , $V_S = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	32									V/mV V/mV
	$V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$				25				15		V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$ , $V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV

# AMPLIFICADOR OPERACIONAL XX741

## TEMA 3

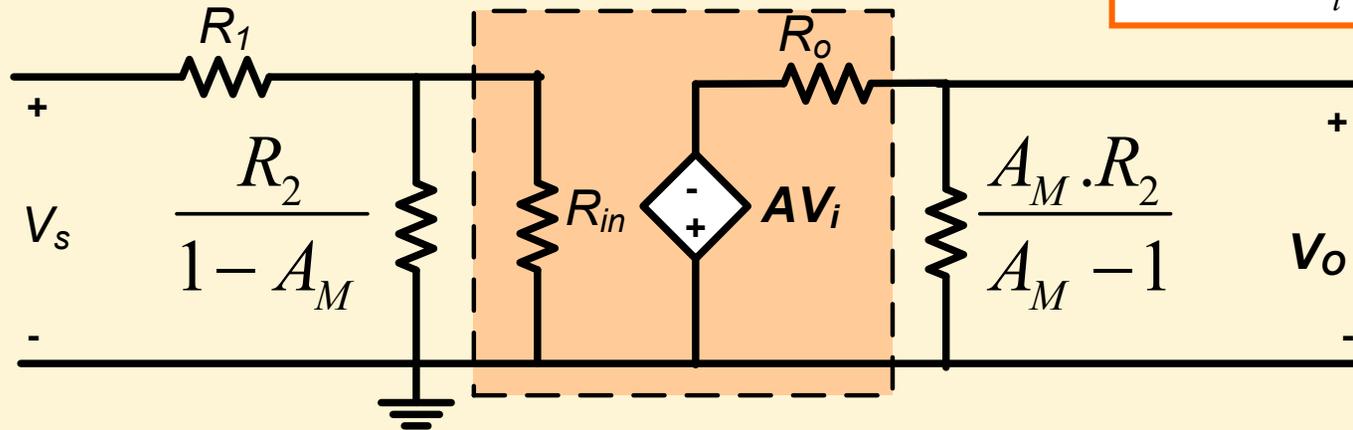
# AMPLIFICADOR OPERACIONAL REAL

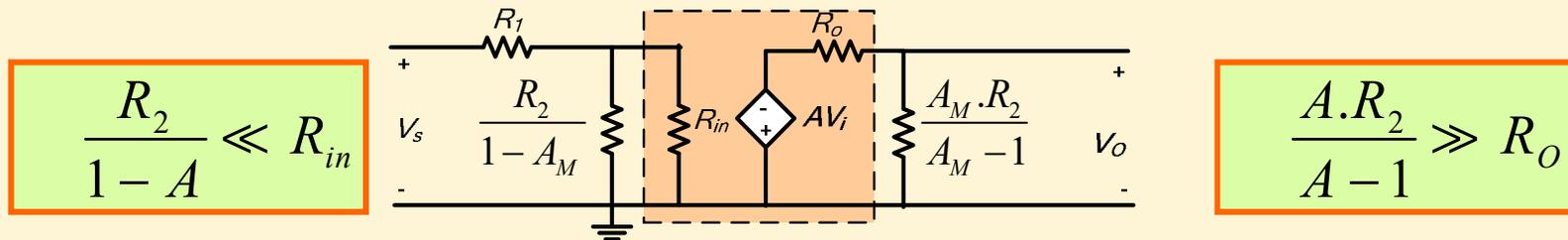
## TEMA 3



Aplicando Teorema de Miller

$$A_M = \frac{v_o}{v_i} = A$$





$$v_i = v_s \frac{R_2 / (1 - A)}{R_1 + (R_2 / (1 - A))} = v_s \frac{R_2}{R_2 + R_1 (1 - A)}$$

$$v_o = -A v_i = -v_s \frac{A R_2}{R_2 + R_1 (1 - A)}$$

$$A v = \frac{v_o}{v_s} = - \frac{A R_2}{R_2 + R_1 (1 - A)} = - \frac{R_2}{\frac{R_2}{A} + R_1 \frac{1 - A}{A}} \approx - \frac{R_2}{\frac{R_2}{A} + R_1}$$

$$Si \quad A \gg \frac{R_2}{R_1}$$

$$A v = - \frac{R_2}{R_1}$$

- En síntesis, si se cumple:

1.- 
$$R_2 \gg R_o \frac{A-1}{A} \approx \Rightarrow R_2 \gg R_o$$

2.- 
$$R_2 \ll R_{in} (1-A) \approx \Rightarrow R_2 \ll A \cdot R_{in}$$

3.- 
$$|A| \gg \frac{R_2}{R_1}$$

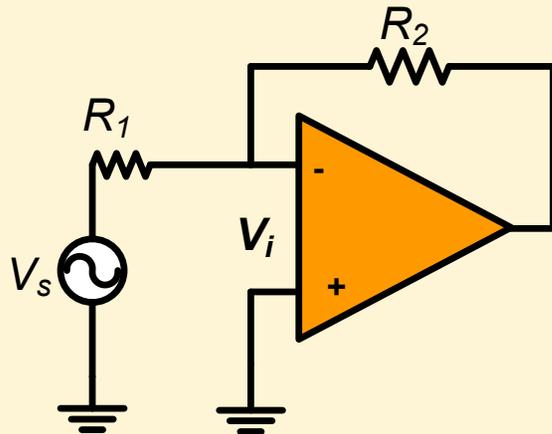
4.- 
$$R_1 \ll R_{in}$$

Entonces, se podrá considerar el AOp real como ideal

**Como regla general para adoptar valores: las resistencias del circuito externo deben ser menores que  $R_{in}$  (del AmpOp)**

# AMPLIFICADOR OPERACIONAL REAL

TEMA 3



- Ejemplo: Diseñe un amplificador con ganancia  $|100|$ , usando un Amp Op real que funcione como ideal
- $A = 100.000$ ;  $R_i = 2 \text{ M}\Omega$  y  $R_o = 75\Omega$
- $(R_i R_o)^{1/2} = 10\text{k}\Omega$

$$R_2 \gg 75\Omega \Rightarrow \text{Se adopta } R_2 = 100\text{K}\Omega$$

Verifico:

$$R_2 \ll A \cdot R_{in} = 10^5 \cdot 2 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^{11}$$

$$|A_v| = \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{R_2}{|A_v|} = 1\text{K}\Omega$$

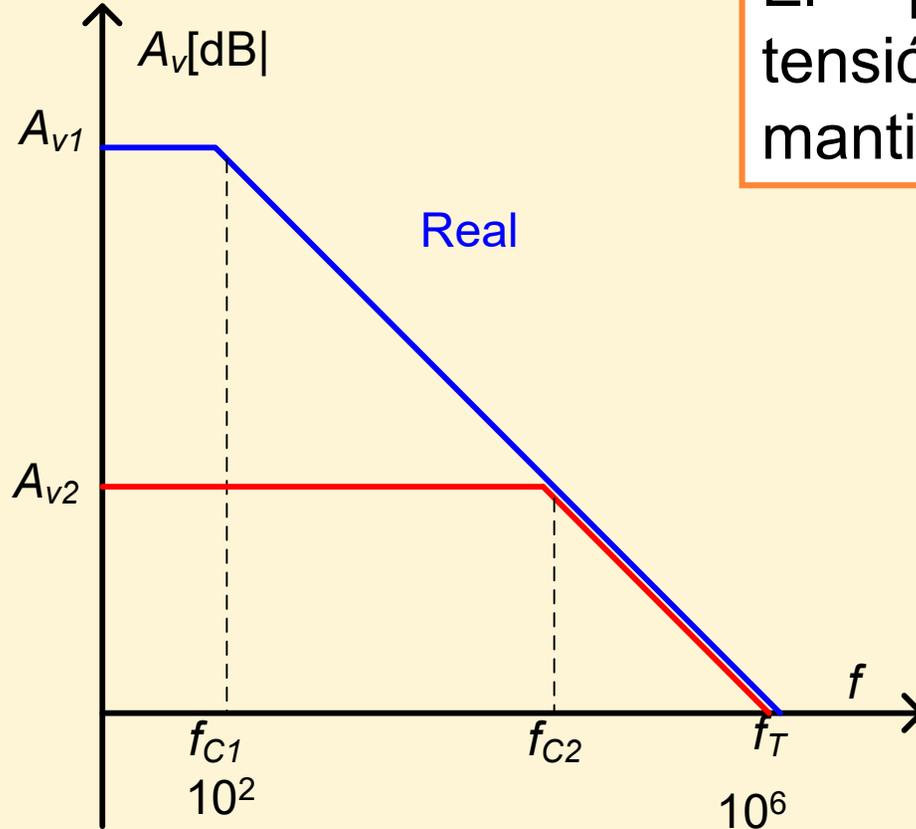
Verifico:

$$R_1 \ll 2\text{M}\Omega$$

$$|A| \gg \frac{100\text{K}}{1\text{K}}$$

## Ancho de Banda finito

El A. Op. real tiene un ancho de banda finito lo cual dista mucho de las características de los A. Op. ideales.

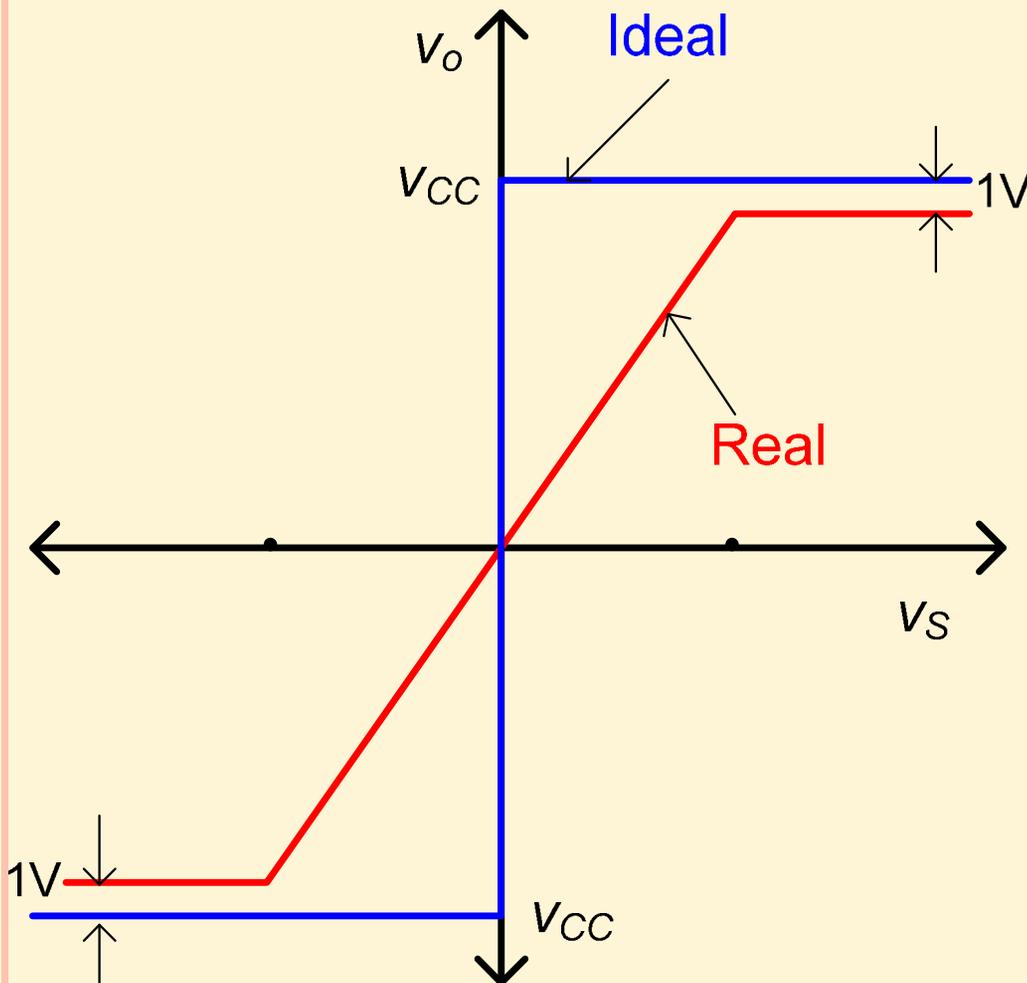


El producto Ganancia de tensión por Ancho de Banda se mantiene constante



$$A_{v1} \times f_{c1} = A_{v2} \times f_{c2}$$

### Máxima excursión de la señal de salida

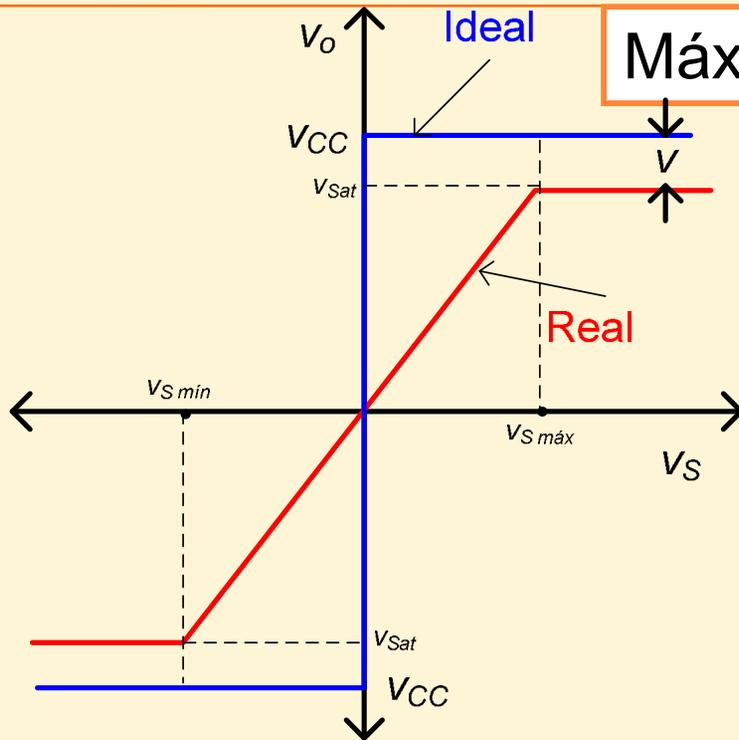


#### Limitaciones:

- Resistencias de carga chicas
- Tensión de alimentación no simétrica

# AOP REAL: OTROS PARÁMETROS

## TEMA 3



Máxima excursión de la señal de salida

$$V_{O\ máx} \leq V_{CC} - V$$

$$V_{S\ máx} \leq \frac{V_{CC} - V}{A_v}$$

$$V = 0,5V \text{ a } 2V$$

En la zona lineal de la característica  $V_O = A v_i$

$$v_i = 0; \quad -V_{Sat} < v_o < V_{Sat}; \quad i_1 = i_2 = 0$$

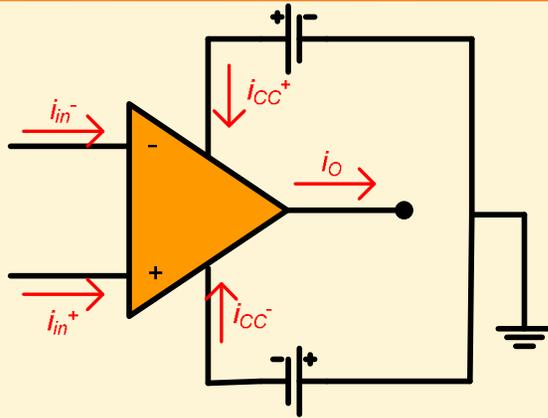
$$v_o = A v_i \Rightarrow v_i = \frac{v_o}{A} = \frac{v_o}{\infty} = 0$$

En las zonas de saturación  $V_O = +V_{sat}$  o  $V_O = -V_{Sat}$

$$v_i < 0 \Rightarrow v_o = -V_{Sat}; \quad i_1 = i_2 = 0$$

$$v_i > 0 \Rightarrow v_o = +V_{Sat}; \quad i_1 = i_2 = 0$$

21



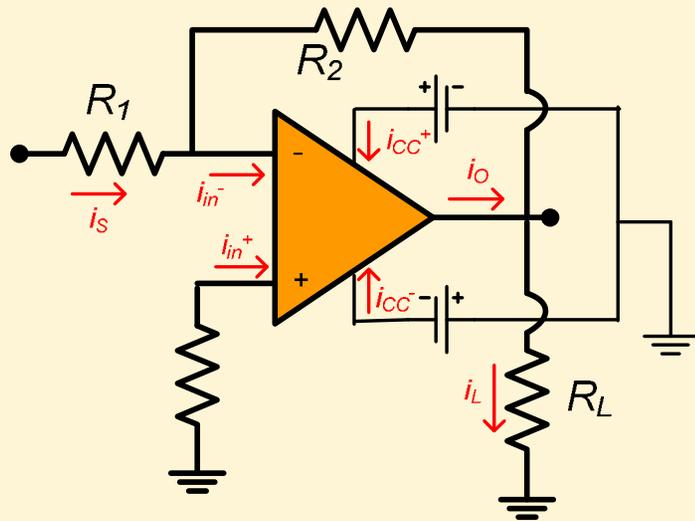
Máxima corriente de salida

$$i_O = i_{in}^+ + i_{in}^- + i_{CC}^+ + i_{CC}^-$$

Los amplificadores operacionales tienen un limitador de intensidad de salida, que evita que el amplificador operacional se destruya cuando se cortocircuita la salida. El limitador evita que la intensidad pueda incrementarse por encima de un cierto valor llamado **intensidad de saturación de salida (Output Short-Circuit Current)**.

En los amplificadores de propósito general suele ser del rango de los 10 mA.

**Para que el amplificador opere linealmente se requiere que se cumpla simultáneamente que la tensión de salida sea inferior a la tensión de saturación, y que la corriente de salida sea inferior a la corriente de saturación de salida.**



Ejemplo:

El circuito de la figura usa un amplificador operacional LM741 alimentado con  $\pm V_{CC} = 18V$  y con corriente de salida máxima  $i_o = 25mA$  según el fabricante.

Determine la máxima tensión de salida considerando que excita una carga de  $100\Omega$ . Al ser excitado por  $v_s = 1\cos(2\pi 500t)[V]$

Según la tensión de alimentación:

$$\hat{V}_{Omáx} \leq V_{CC} \Rightarrow \hat{V}_{Omáx} = 17V$$

Si se considera la máxima corriente de salida:

$$i_L = i_s + i_o = \frac{V_s}{R_1} + i_o = 1mA + 25mA = 26mA$$

$$\hat{V}_{Omáx} = i_L R_L = 26mA \cdot 100\Omega$$

$$\hat{V}_{Omáx} = 2,6V$$



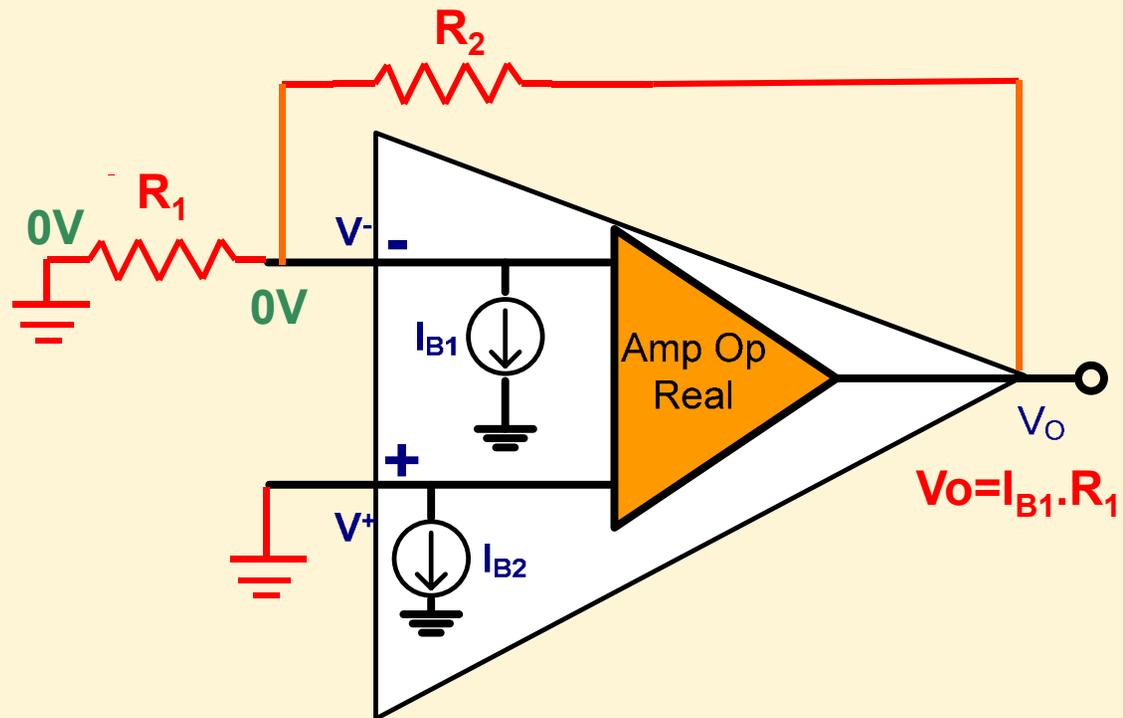
### Corriente polarización de entrada ( $I_B$ ) y corriente de offset ( $I_{OS}$ )

**Corriente Bias o corrientes de polarización:** Corriente necesaria para la operación de un Amp Op.

Modelo de las corrientes bias:

$$I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

$$I_{IOS} = I_{B1} - I_{B2}$$



**Corriente IOS o corriente de offset:** Corriente que aparece a la salida cuando las entradas son nulas.

### Compensación de la corriente de offset (IOS) por medio de un resistor

$$v_x = -I_{B2} R_3$$

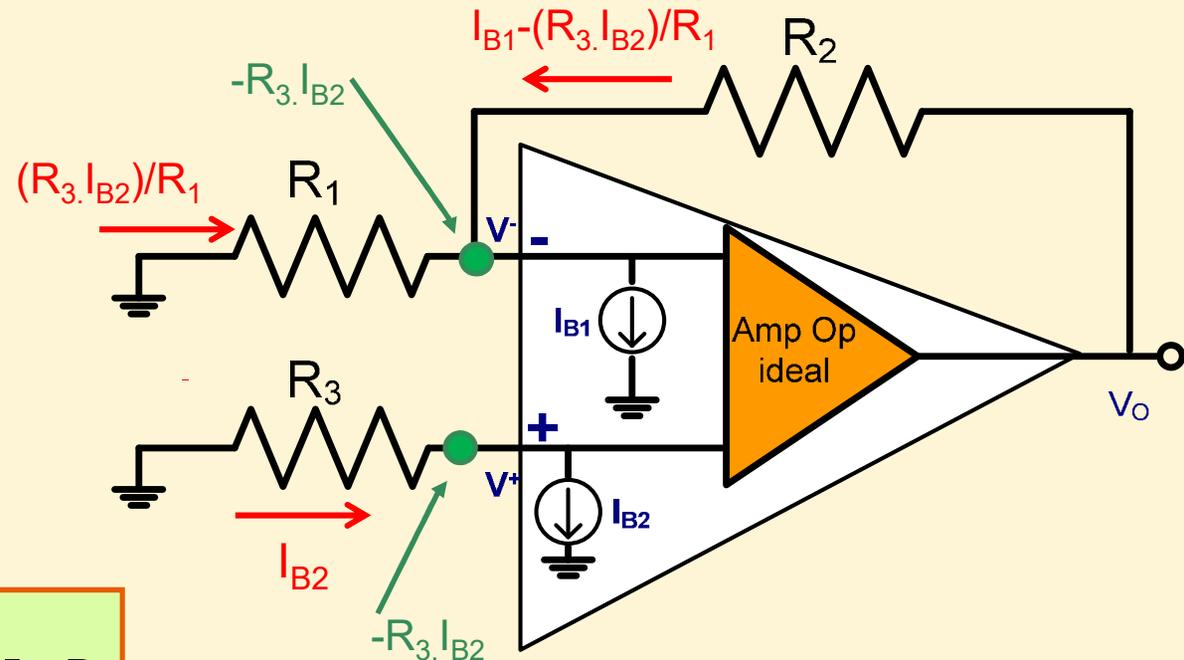
Corriente en  $R_1$ :

$$I_{R1} = -\left(-I_{B2} \frac{R_3}{R_1}\right)$$

Corriente en  $R_2$ :

$$I_{R2} = I_{B1} - I_{B2} \frac{R_3}{R_1}$$

$$v_O = -I_{B2} R_3 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{B1} R_2$$



Considerando  $I_{B1} = I_{B2}$ , entonces para que  $v_O = 0$  es necesario que  $R_3 = R_1 // R_2$

Si  $I_{B1} \neq I_{B2}$ , entonces:  $v_O = -I_{OS} R_2$

$$I_{B1} = I_B - I_{OS}/2$$

$$I_{B2} = I_B + I_{OS}/2$$

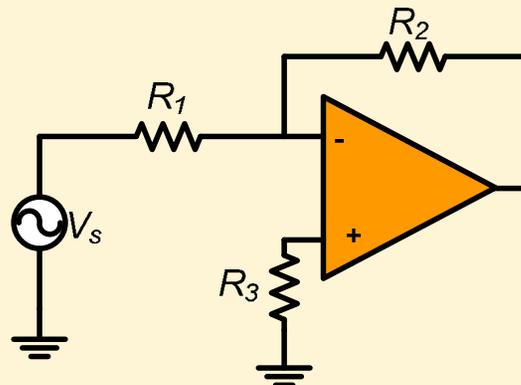
Pero si  $R_3 = 0$ , entonces:  $v_O = I_B R_2$

Como  $|I_{OS}| < 0,1 I_B$  se obtiene una disminución

### Como minimizar el efecto de $I_B$ y $I_{OS}$

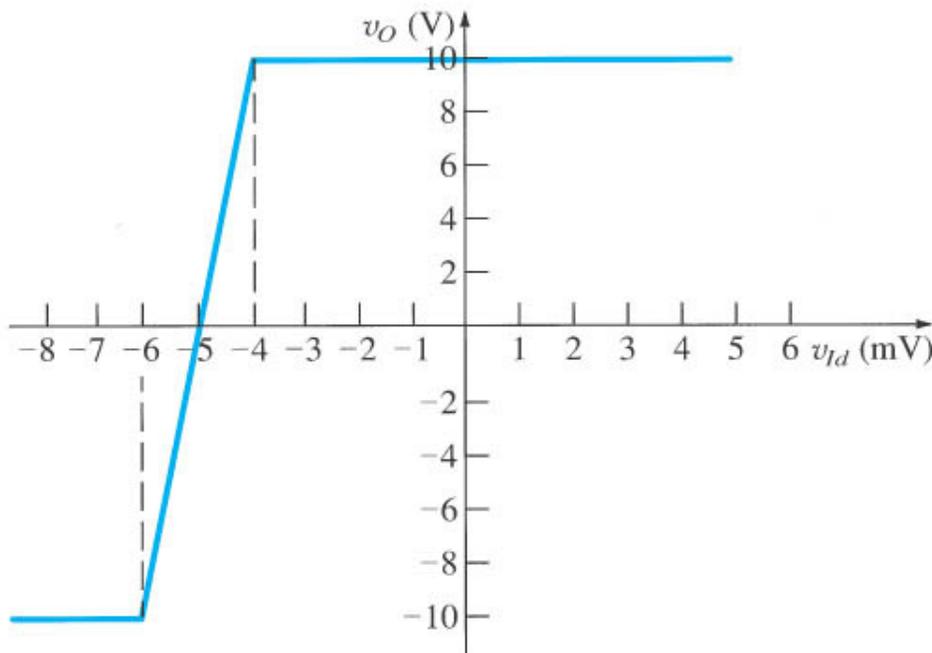
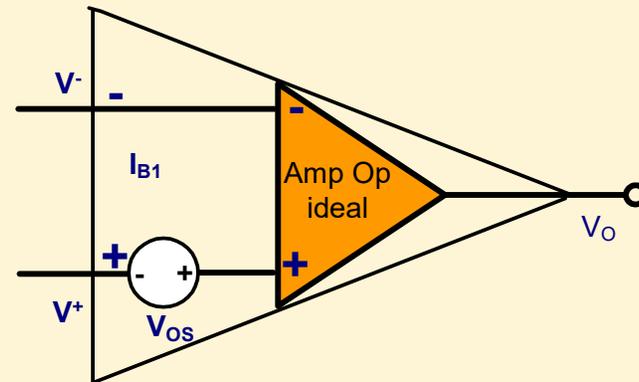
La existencia  $I_B$  y  $I_{OS}$ , genera una componente en su salida, que se superpone a la señal que existe. Para minimizar este efecto se utilizan la siguientes estrategias:

1. Poner la resistencia  $R_3$  en la pata que no es una entrada. En términos generales se trata de establecer el mismo valor a las resistencias equivalentes que se ven desde los terminales inversor y no inversor.
2. Usar amplificador con tecnología CMOS o FET, en lugar de TBJ



**Tensión de offset:** En los amplificadores reales aparecen en su salida tensiones del orden de decenas a centenas de milivoltios en ausencia de una señal de entrada. En un amplificador operacional real, para que la salida se anule es necesario aplicar entre las entradas una pequeña tensión que se denomina tensión de offset de entrada.

### Modelo considerando la tensión de offset:



**Característica de un AO real con tensión de offset  $V_{OS} = -5$  mV**

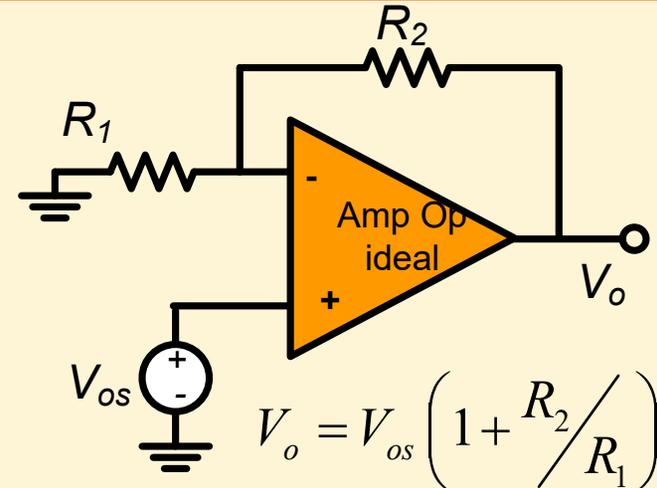
# AOP REAL: OTROS PARÁMETROS

## TEMA 3

Configuración inversora con entradas puestas a masa.

Debido a la tensión de offset la salida no es cero

$$v_x = V_{OS} \Rightarrow \frac{V_o - V_{OS}}{R_2} = \frac{V_{OS}}{R_1} \Rightarrow V_o = V_{OS} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

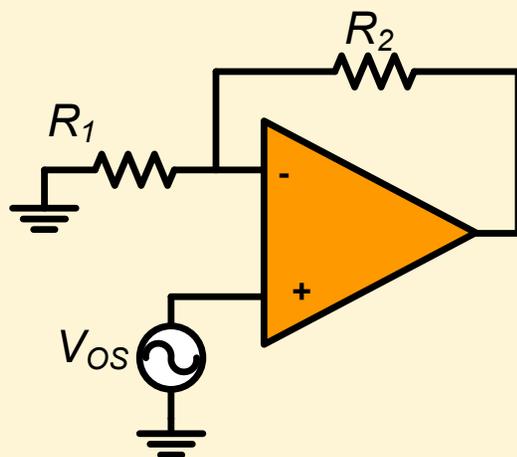


Aparece debido a las asimetrías en el circuito interno del amplificador operacional de manera que para que la salida sea cero, es necesario que la tensión de entrada diferencial tenga un valor no nulo  $V_{ID} = V_{OS}$ .

Al deberse a las asimetrías  $V_{OS}$  es una variable aleatoria

$|V_{OS}|$  normalmente tiene valores entre 1 y 5 mV.

### Tensión de offset (desviación) de entrada ( $V_{io}$ )

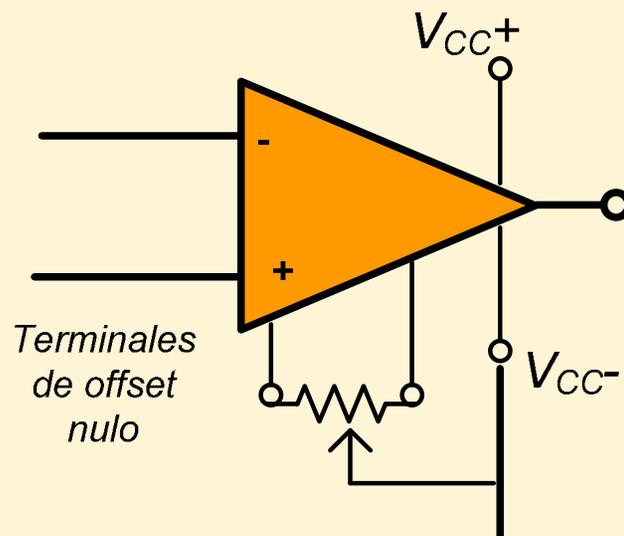


El efecto de la tensión de OFFSET será más o menos importante de acuerdo a la aplicación en cuestión.

El efecto de la tensión de offset empeora cuando la amplitud de las señales a amplificar es del mismo orden de magnitud que la tensión de offset y de baja frecuencia → **COMPENSACION**

- Aop de propósitos Generales 50 - 500 $\mu$ V
- Mejor Aop Bipolar 10 - 25 $\mu$ V
- Mejor Aop FET 100- 1000 $\mu$ V

### Compensación de la Tensión de offset (desviación) de entrada ( $V_{io}$ )



**¿Cómo eliminar el offset?** Los integrados tienen patas especiales para esto, donde se conectan potenciómetros (*offset null*)

El efecto de la tensión de offset en la salida del amplificador operacional puede eliminarse mediante la colocación de un potenciómetro en las patas de compensación de los terminales Amp. Operacional

$V_{OS}$  varía con la temperatura y otras condiciones ambientales

- **Slew rate:** Refleja la capacidad del AMP OP para manejar señales variables en el tiempo. El SR se define como la máxima variación de la tensión de salida con el tiempo que puede proporcionar la etapa salida del AMP, se mide en V/ $\mu$ s.
- **Efecto:** Si hay un exceso sobre el valor del SR, el amplificador pierde sus características de linealidad y provoca distorsión en la señal que entrega.
- **Consumo de potencia:** Potencia DC, para una alimentación de unos  $\pm 15$  V, su valor es de 50 mW.

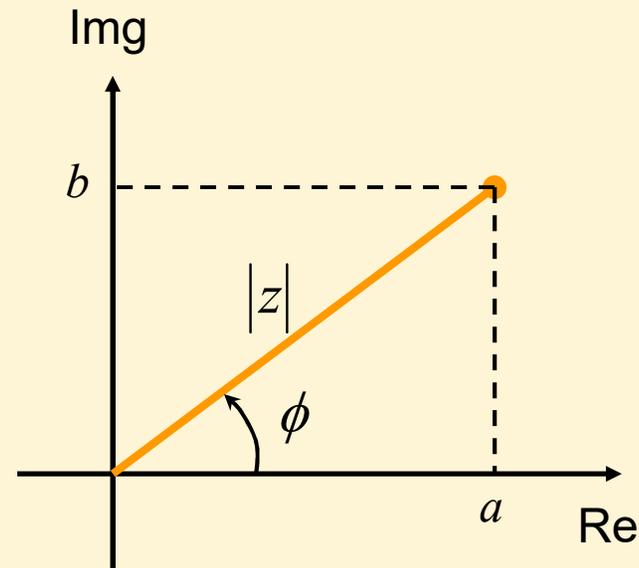
# COMPARACIÓN DE AMPLIFICADORES OPERACIONALES

## TEMA 3

Parámetro	Ideal	Tipo	Veloz	Bajo Ruido
		741	715	5534
Ao(dB)	$\infty$	100	90	100
Rin ( $\Omega$ )	$\infty$	2 Meg	1 Meg	0,1 Meg
Ro ( $\Omega$ )	0	75	75	0,3
AB (Hz)	$\infty$	1Meg	65 Meg	10 Meg
I <sub>B</sub> (nA)	0	20	250	300
V (mV)	0	2	10	5
SR (V/mseg)	$\infty$	0,7	100	13

$$z = a + jb$$

$$z = |z|e^{j\phi} = |z|(\cos \phi + j\text{sen} \phi)$$



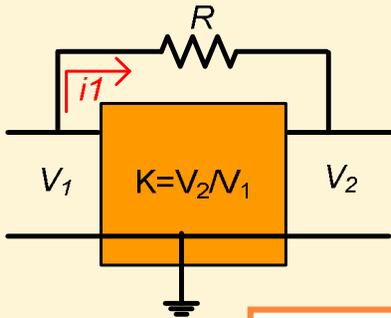
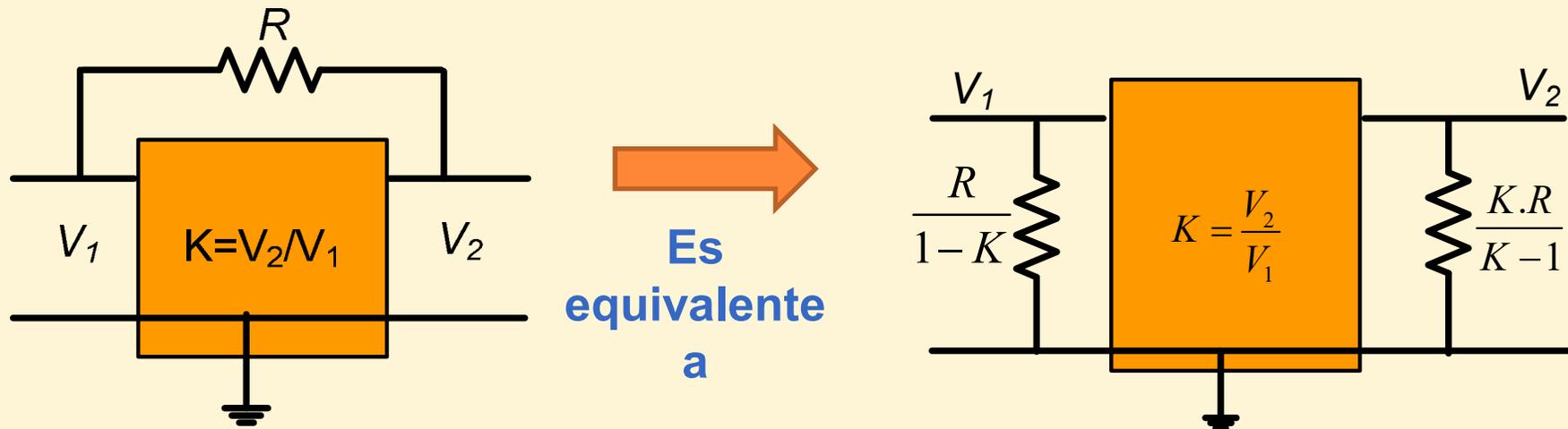
Módulo:  $|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$

Fase:  $\phi = \text{tg}^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) + \pi$

Si la parte real es negativa

# APÉNDICE: TEOREMA DE MILLER

TEMA 3



$$i_1 = \frac{V_1 - V_2}{R} = \frac{V_1(1-K)}{R} = \frac{V_1}{R/1-K} = \frac{V_1}{R_{M1}} \quad \text{con} \quad R_{M1} = R/1-K$$

$$i_2 = \frac{V_2 - V_1}{R} = \frac{V_2(1-1/K)}{R} = \frac{V_2(K-1)}{K.R} = \frac{V_2}{K.R/K-1} \quad \text{con} \quad R_{M2} = K.R/K-1$$

VOLVER