

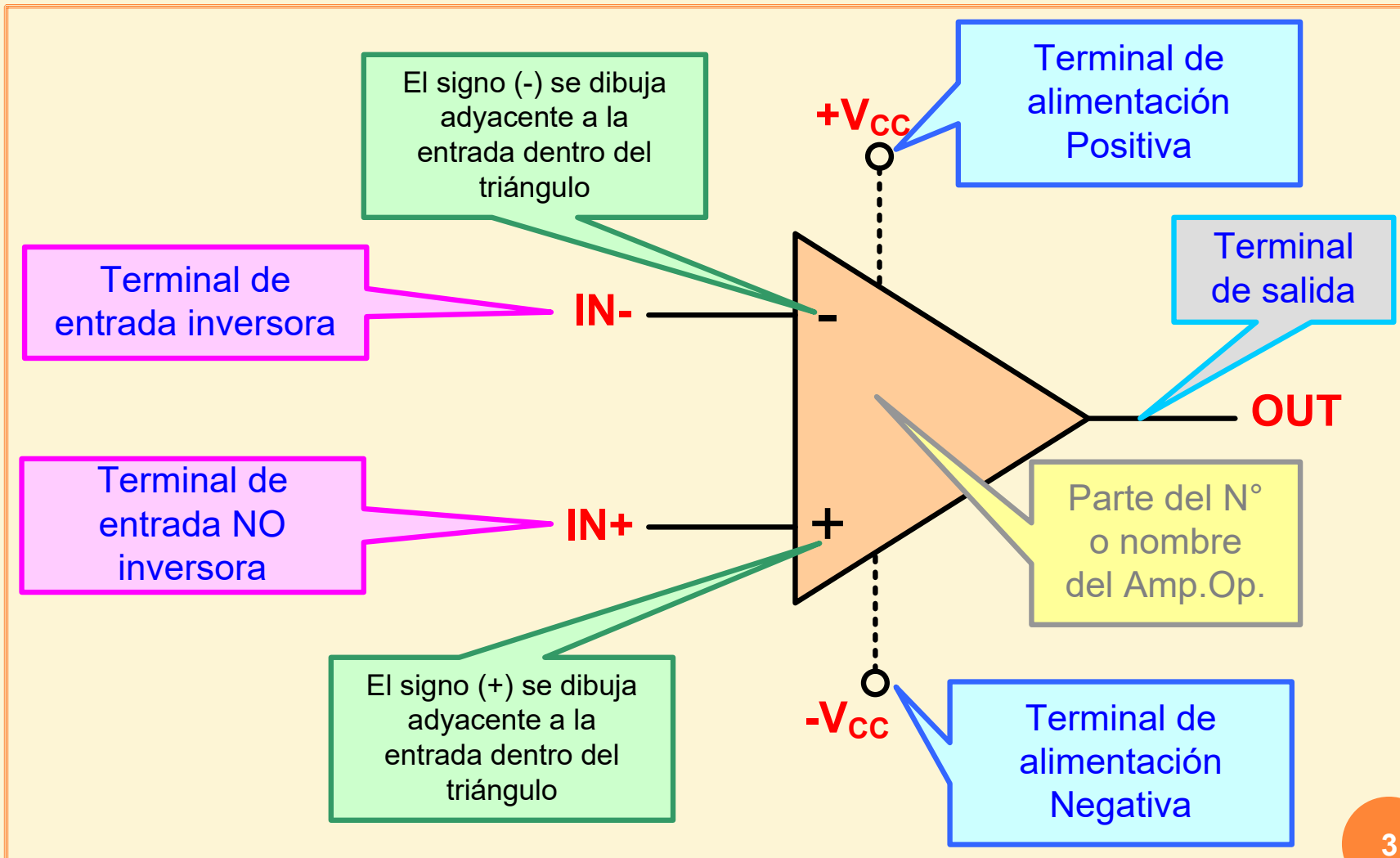
TEMA 3

Amplificadores Operacionales

- Simbología. Características del amplificador operacional ideal. Modelos.
- Análisis de circuitos con amplificadores operacionales ideales: inversor y no inversor.
- Aplicaciones de los amplificadores operacionales: Integrador, derivador, sumador, Amplif. Diferencial, Amplificador para instrumentación, Convertidor de impedancias, Convertidor de tensión – corriente, corriente- tensión
- Limitación en el empleo del amplificador operacional real como ideal.
- El amplificador operacional en conexión diferencial. Amplificador diferencial: ganancia en modo común y ganancia en modo diferencial
- Diseño de circuitos con amplificadores operacionales.

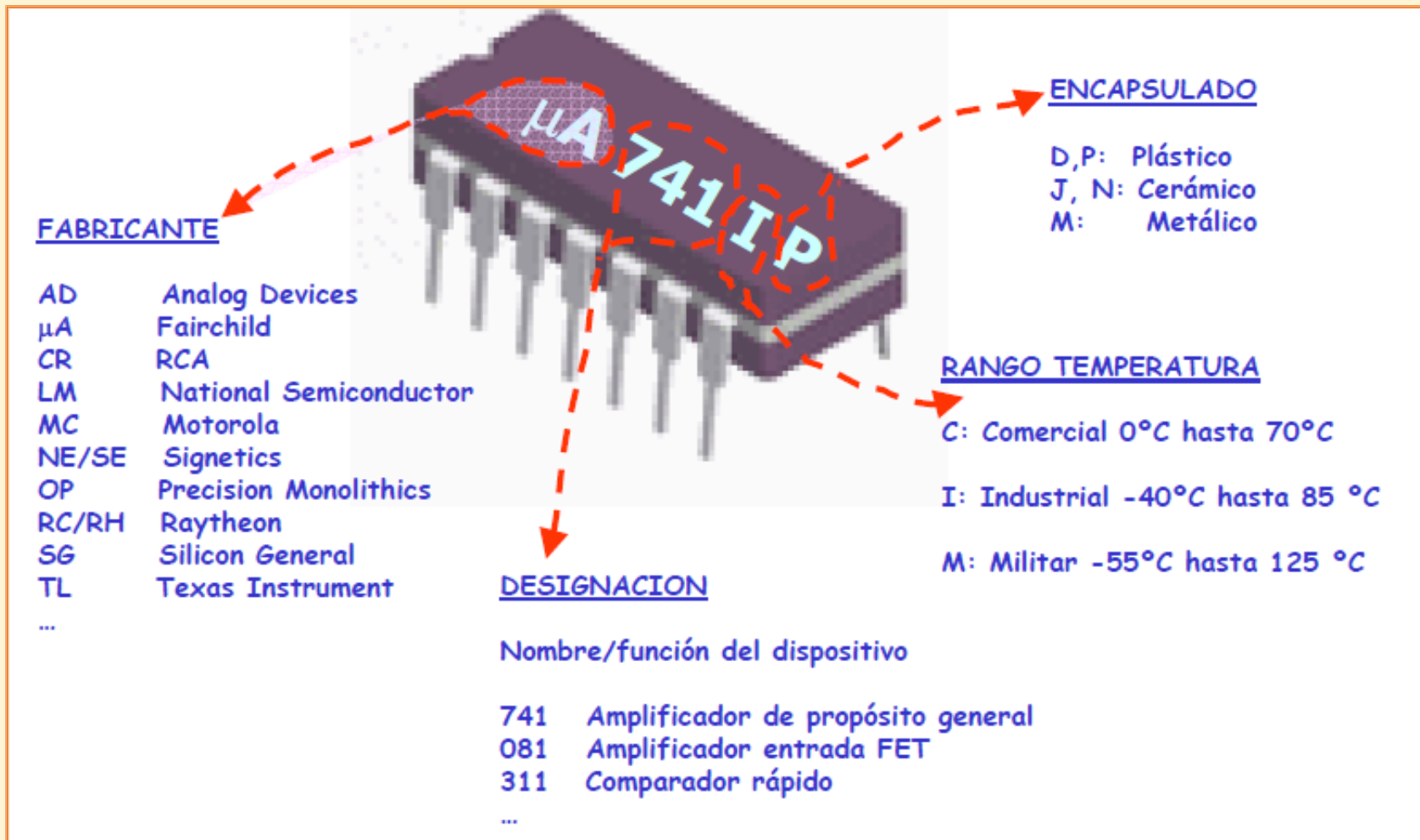
El Amplificador Operacional (AOP) es:

- Circuito Electrónico Integrado (CI) de bajo costo
- Multitud de aplicaciones
- Mínimo número de componentes discretos externos necesarios: Resistencias, condensadores.
- Es posible realizar funciones matemáticas, de ahí su nombre : Amplificador Operacional.
 - Sumador
 - Restador
 - Integrador
 - Diferenciador
- Aplicaciones: Cálculo analógico, Convertidores V-I e I-V, Amplificadores Instrumentación, Filtros Activos

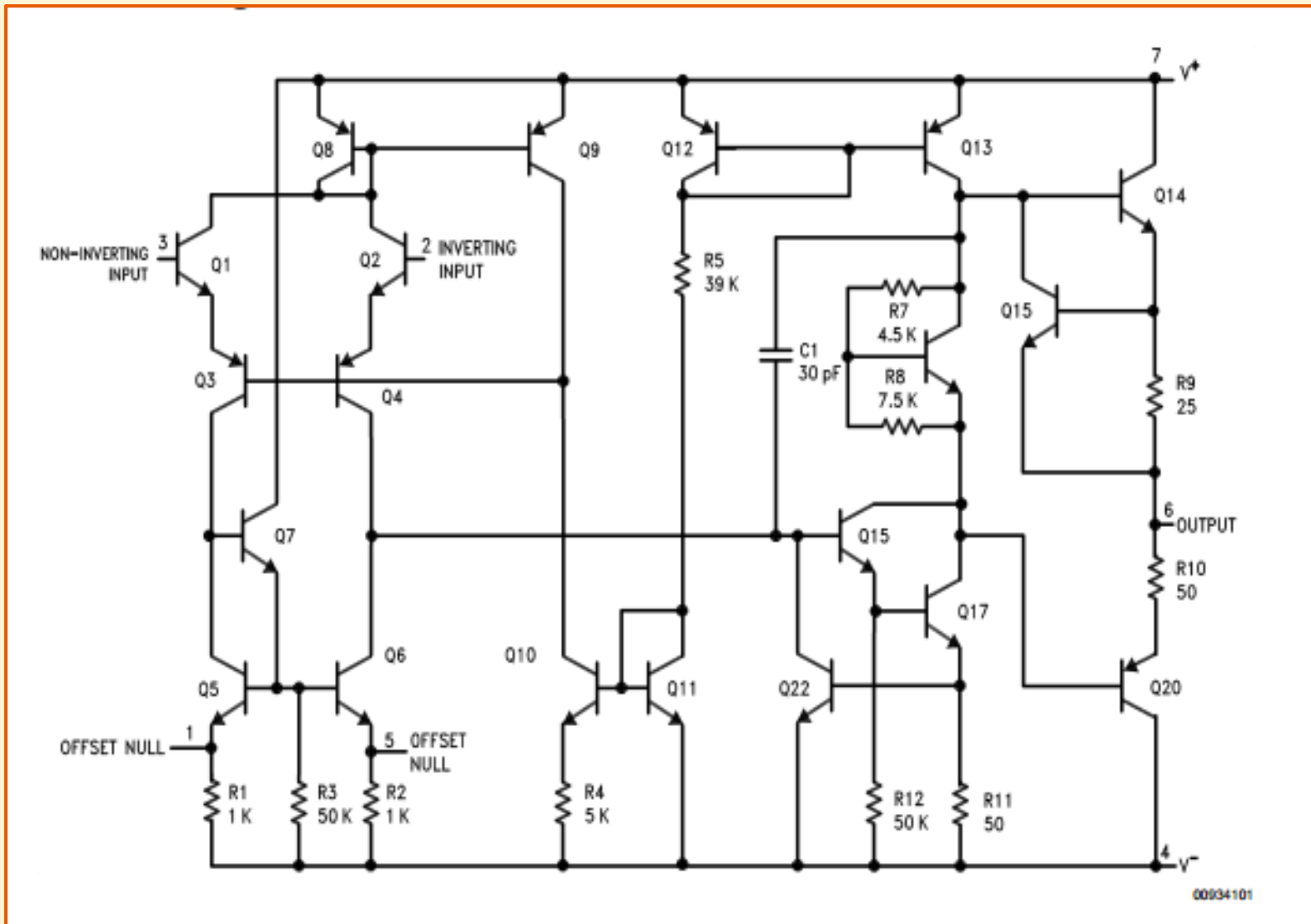


Aspecto físico. Circuito real de AOP 747

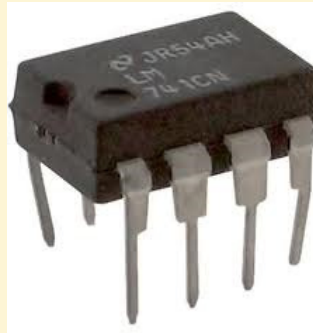
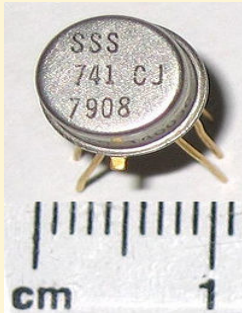
TEMA 3



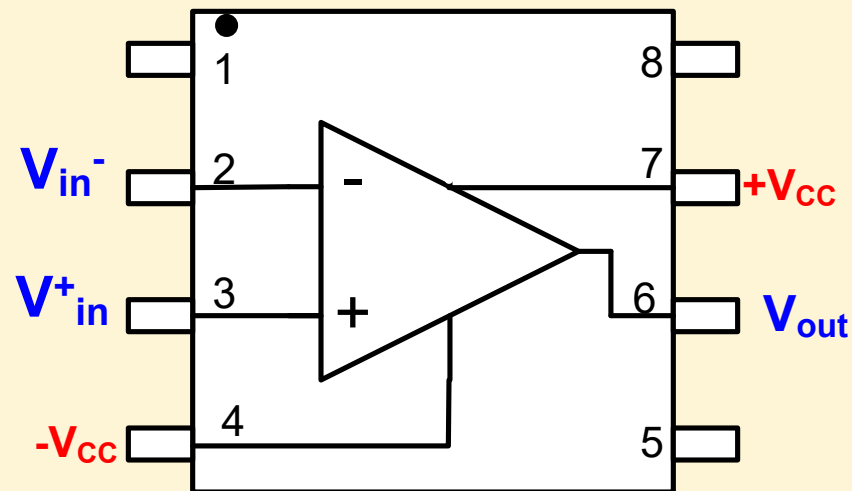
ESTRUCTURA INTERNA. CIRCUITO REAL DE AOP 747 TEMA 3



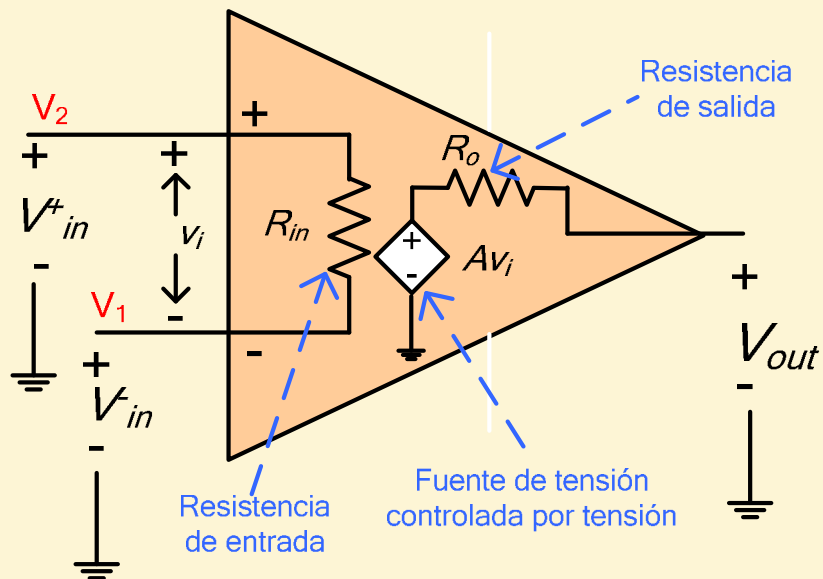
En un encapsulado de 8 patas, su aspecto físico real es:



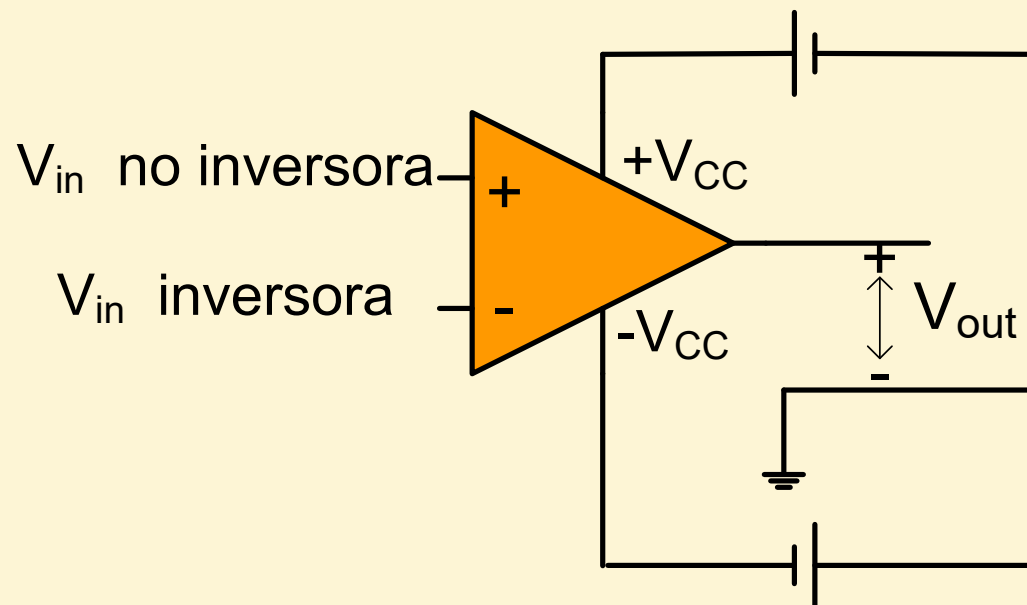
En un encapsulado de 8 patas, el integrado se representa:



El amplificador operacional se puede pensar como una caja, con sus terminales de entrada y salida, ignorando qué hay dentro de dicha caja.



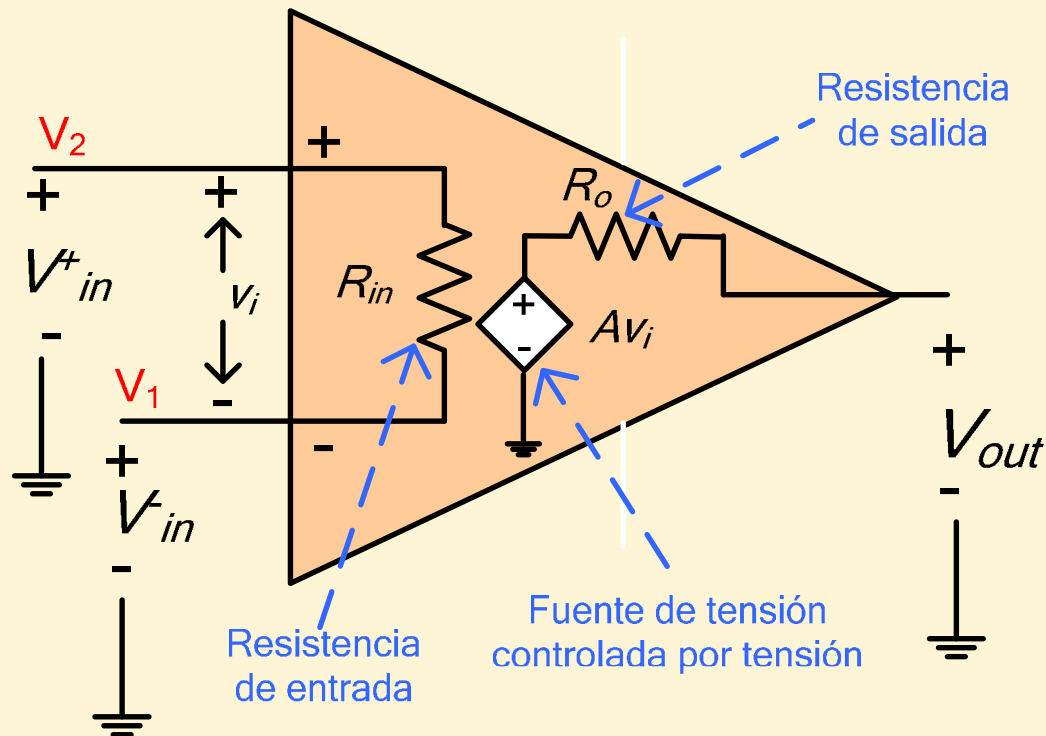
- Se puede modelizar como una fuente de tensión controlada por tensión
- Se muestra un amplificador idealizado como un dispositivo de acoplamiento directo con entrada diferencial, y un único Terminal de salida.
- El amplificador sólo responde a la diferencia de tensión entre los dos terminales de entrada, y no a su potencial común.



El Amplificador Operacional es un dispositivo activo: necesita alimentación para funcionar.

Según el Aop puede ser $\pm V_{CC}$, $+V_{CC}$ (fuente partida)

Observar: Todas las tensiones están referidas a una tierra común



$$V_o = A \cdot V_i$$

$$V_i = V_2 - V_1$$

Valores del AOp ideal

R_{in} – Infinita

R_o – Nula

A – Infinita

- *El amplificador sólo responde a la diferencia de tensión (v_i) entre los dos terminales de entrada.*

CARACTERÍSTICAS DEL AOP IDEAL

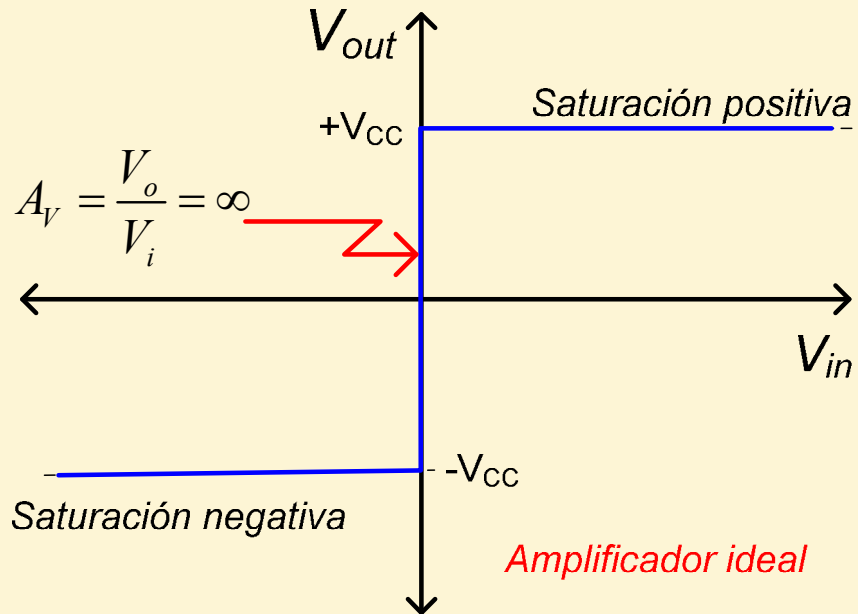
TEMA 3

- El AOP “capta” la diferencia de tensión entre sus terminales de entrada v_{in}^+ y v_{in}^- . A este valor (v_i) lo amplifica A veces y lo presenta en el terminal de salida: $v_o = A \cdot v_i = A \cdot (v_{in}^+ - v_{in}^-)$
- **Un AOP ideal tiene las siguientes características ideales:**

Ganancia de tensión	$A \rightarrow \infty$
Ancho de Banda	$AB \rightarrow \infty$
Impedancia de Entrada	$Z_{in} \rightarrow \infty$
Impedancia de Salida	$Z_{out} \rightarrow 0$
Tensión de salida Max	$V_{out \text{ máx}} \rightarrow \pm V_{CC}$
Tensión de “offset” de entrada $V_o = 0 \quad \text{sí} \quad V_i = 0$	$V_{offset} = 0$

SATURACIÓN

TEMA 3



Los límites para la saturación de la salida son las tensiones de alimentación

- Saturación positiva:

$$V_{out} = +V_{cc}$$

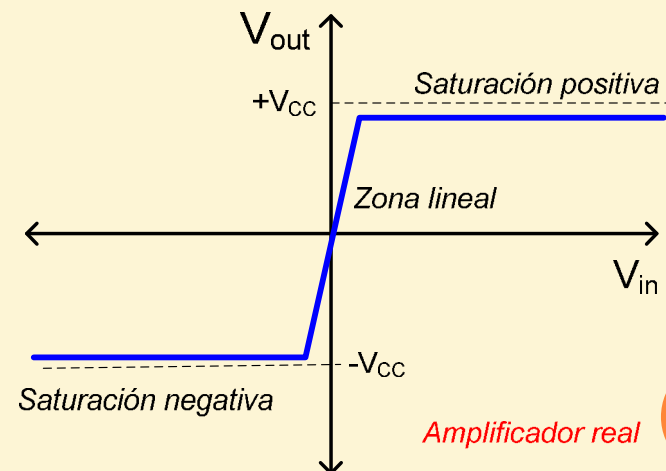
- Saturación negativa:

$$V_{out} = -V_{cc}$$

- Región lineal:

$$-V_{cc} \leq V_{out} \leq +V_{cc}$$

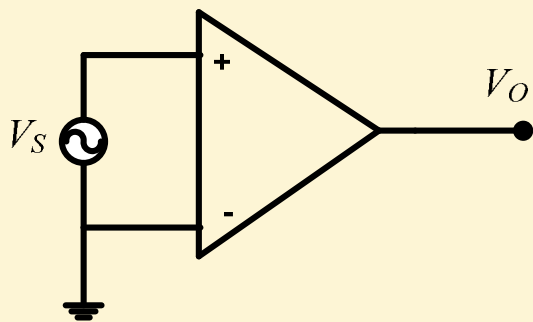
$$V_{out} = A \cdot V_i$$



Parámetro	Rango de valores	Valor ideal
Ganancia A_v	10^5 a 10^8	∞
Resistencia de entrada, R_{in}	10^6 a $10^{13} \Omega$	∞
Resistencia de salida, R_o	10 a 100Ω	0

Básicamente el AOP trabaja de dos formas:

- En aplicaciones no lineales: osciladores, comparadores
- En aplicaciones lineales: Amplificador, sumador,



Ejemplo:

Sea un AOP real con ganancia $A_v = 100.000$ alimentado con una fuente de $\pm 12V$

Como:

$$-V_{cc} \leq V_{out} \leq +V_{cc}$$

Entonces la máxima tensión de salida es de 12V de pico.

Como: $V_s = V_o / A_v$

Entonces: $V_s = 12V / 100.000 = 0,000012 [V] = 12 [\mu V]$

Este cálculo simple, nos muestra que si excitamos con señales mayores a $12 \mu V$ se obtendrá una salida saturada.

Para que este AOP, trabaje en zona lineal es necesario excitar con tensiones menores a $12 \mu V$!!!!!.

REALIMENTACIÓN NEGATIVA

TEMA 3

Toma una muestra de la señal de salida y la reinserta a la entrada, restando. El circuito verá a la entrada, solo la diferencia de tensión

X_S : Señal de excitación

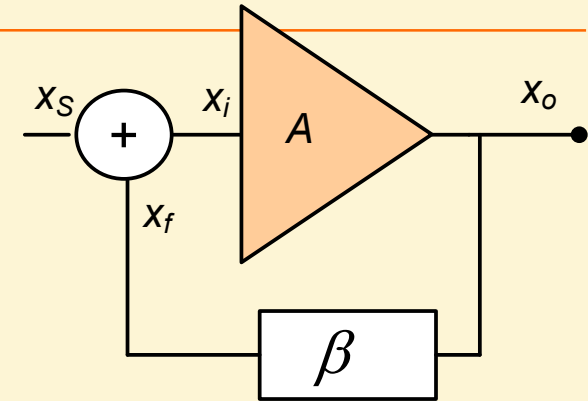
X_O : Señal de salida que está siendo muestreada a través del bloque de realimentación β produciendo la señal de realimentación X_f

X_f : Señal de realimentación

X_i : Señal diferencial de entrada: $X_i = X_S - X_f$

A: Ganancia propia del AOP sin realimentación

β : Coeficiente de realimentación

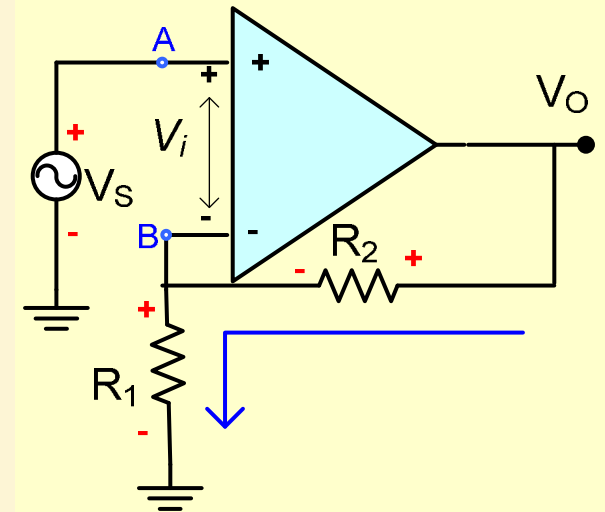


Las aplicaciones lineales utilizan el dispositivo realimentado en forma negativa (retroalimentación)

Para identificar, si un circuito está realimentado negativamente, se supone una variación en la salida y se analiza cómo afecta a la tensión diferencial de entrada v_i

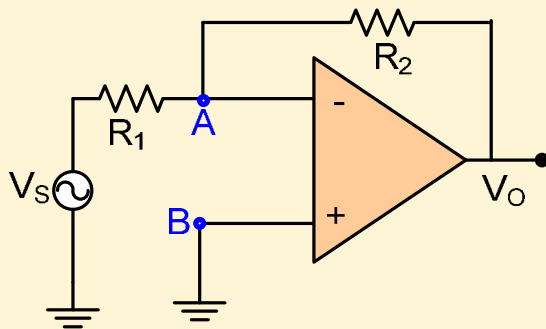
Para el ejemplo propuesto:

Cuando $V_o \uparrow \rightarrow V_{R1} \uparrow \rightarrow v_i \downarrow \rightarrow V_o \downarrow$



REALIMENTACION NEGATIVA

TEMA 3



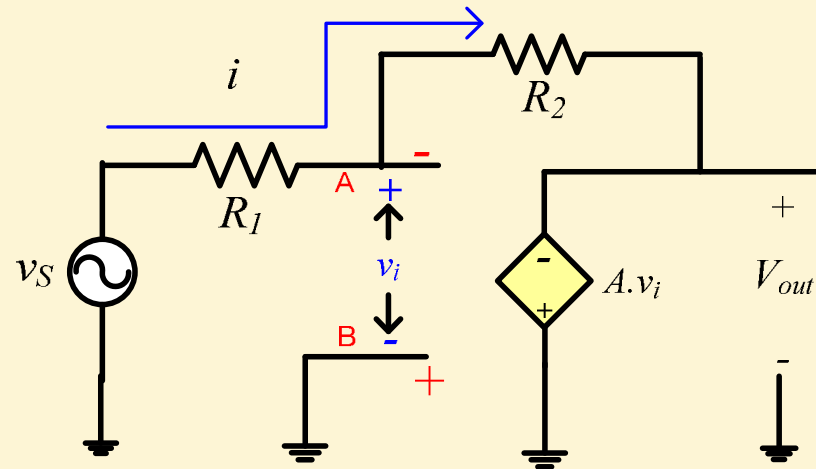
$$1) \quad -v_i + i.R_2 - A.v_i = 0$$

$$\Rightarrow i.R_2 = v_i + A.v_i = (1 + A).v_i$$

$$2) \quad v_s = i.R_1 + v_i$$

$$\Rightarrow v_s = \frac{(1 + A).v_i.R_1}{R_2} + v_i$$

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



$$3) \quad v_o = -A.v_i$$

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

$$4) \quad A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{R_2}{\frac{R_2}{A} + \left(\frac{1}{A} + 1\right).R_1} \approx -\frac{R_2}{R_1}$$

Suponiendo A infinita, R_i infinita, R_o cero y $-V_{cc} \leq V_{out} \leq +V_{cc}$

AXIOMAS DEL AOP IDEAL

TEMA 3

A partir de las características del AO ideal, se pueden deducir dos propiedades adicionales:

$$v_i = \frac{v_S}{1 + \frac{R_1}{R_2}(1 + A)}$$

$$\text{Si } A \rightarrow \infty \therefore v_i \cong 0$$

1.- Como la ganancia en tensión es infinita, cualquier señal de salida que se desarrolle, será el resultado de una señal de entrada infinitesimalmente pequeña, y la tensión de entrada V_i es nula.

En otras palabras, entre los terminales no inversor (+) e inversor (-) existe lo que se conoce como “corto circuito virtual”.

2.- Como la resistencia de entrada es infinita, las corrientes que circula en ambos terminales de entrada son cero, o sea:

No existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada.

O sea, al Aop no le entra ni sale corriente por sus terminales de entrada

Estas dos propiedades integran el concepto de

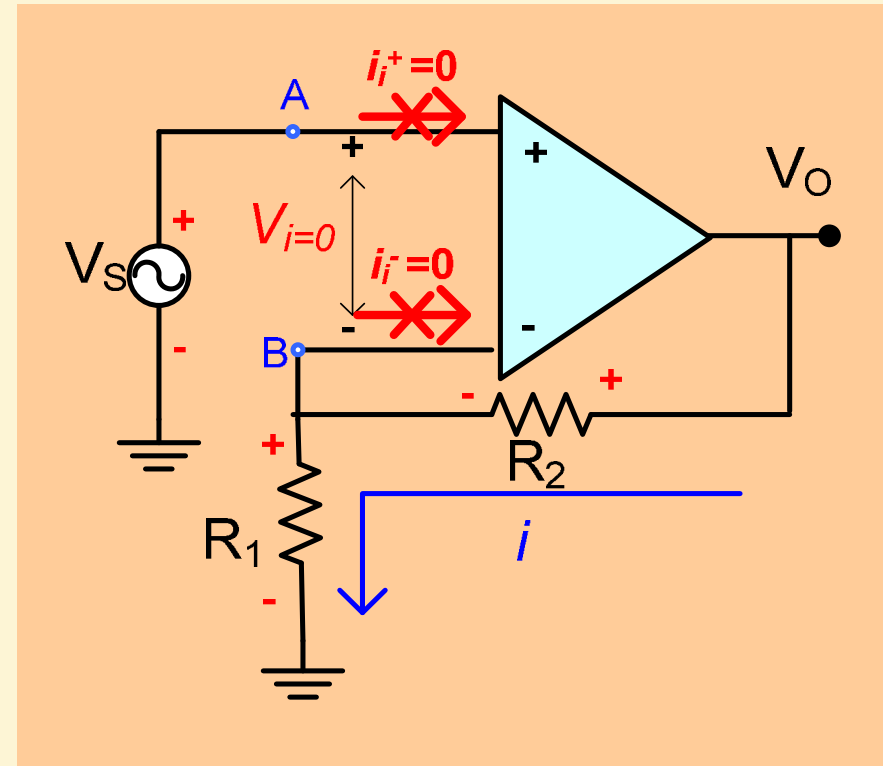
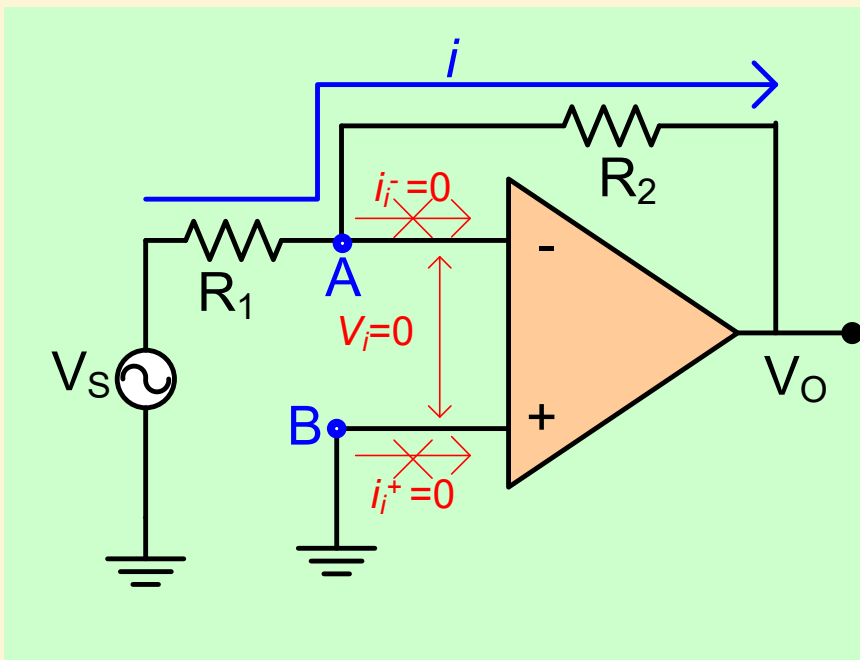
“cortocircuito virtual”

AXIOMAS DEL AOP IDEAL

TEMA 3

Estas dos propiedades pueden considerarse como **axiomas del AO**. Con ellas se puede deducir el funcionamiento de casi todos los circuitos con amplificadores operacionales.

Ejemplos:



Se debe aclarar que cuando se cumplen los axiomas:

los circuitos lineales con AOP son independientes de:

- ***La ganancia interna del AOP. Y dependerá únicamente de los valores de los componentes externos del AOP (resistencias, capacitores, etc)***
- ***Los valores de las resistencias de entrada y de salida, R_{in} y R_{out} , del AOP***

AXIOMAS DEL AOP IDEAL

TEMA 3

OJO!!! Muy importante!!!

En síntesis: 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)**

Caso contrario:

$V_i \neq 0 \rightarrow$ modo de funcionamiento **no lineal**

\rightarrow **No se puede aplicar el método del cortocircuito virtual**

PRINCIPALES CONFIGURACIONES LINEALES

TEMA 3

Los amplificadores operacionales se pueden conectar según dos circuitos amplificadores básicos: las configuraciones

- *Inversora y*
- *No-inversora.*

En general, todos los circuitos con AO son variaciones estrechamente relacionadas de estas dos configuraciones, más otro circuito básico que resulta de una combinación de los dos primeros: el amplificador diferencial con AO.

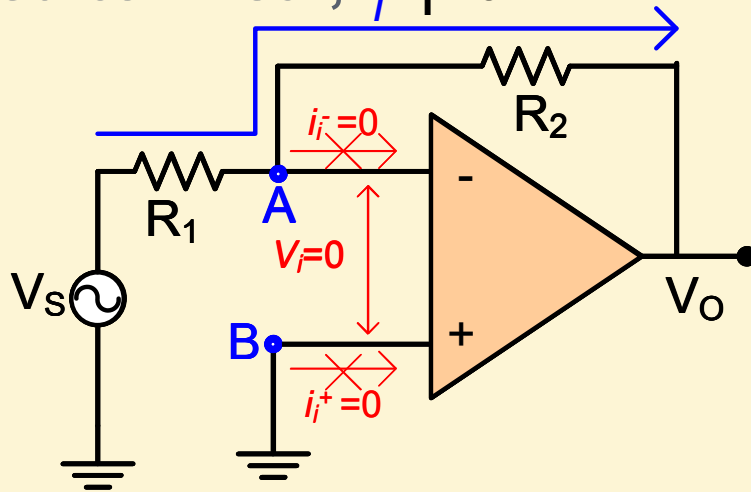
AMPLIFICADOR INVERSOR

TEMA 3

Punto de partida:
circuito lineal, $V_i=0$



Análisis por corto circuito virtual



Al punto "A" se le denomina **masa virtual**: nodo de tensión cero respecto a masa pero que no está puesto a masa.

1) $v_B = 0$

$v_A(t) = v_B(t) \Rightarrow v_A(t) = 0$

2) $i = \frac{v_S}{R_1}$

3) $i = -\frac{v_o}{R_2}$

En lazo cerrado, la entrada (-) se iguala al potencial de la entrada (+)

Esta tensión puede ser masa (como en la figura), o cualquier otro potencial.

$$A_V = \frac{v_o(t)}{v_S(t)} = -\frac{R_2}{R_1}$$

AMPLIFICADOR INVERSOR

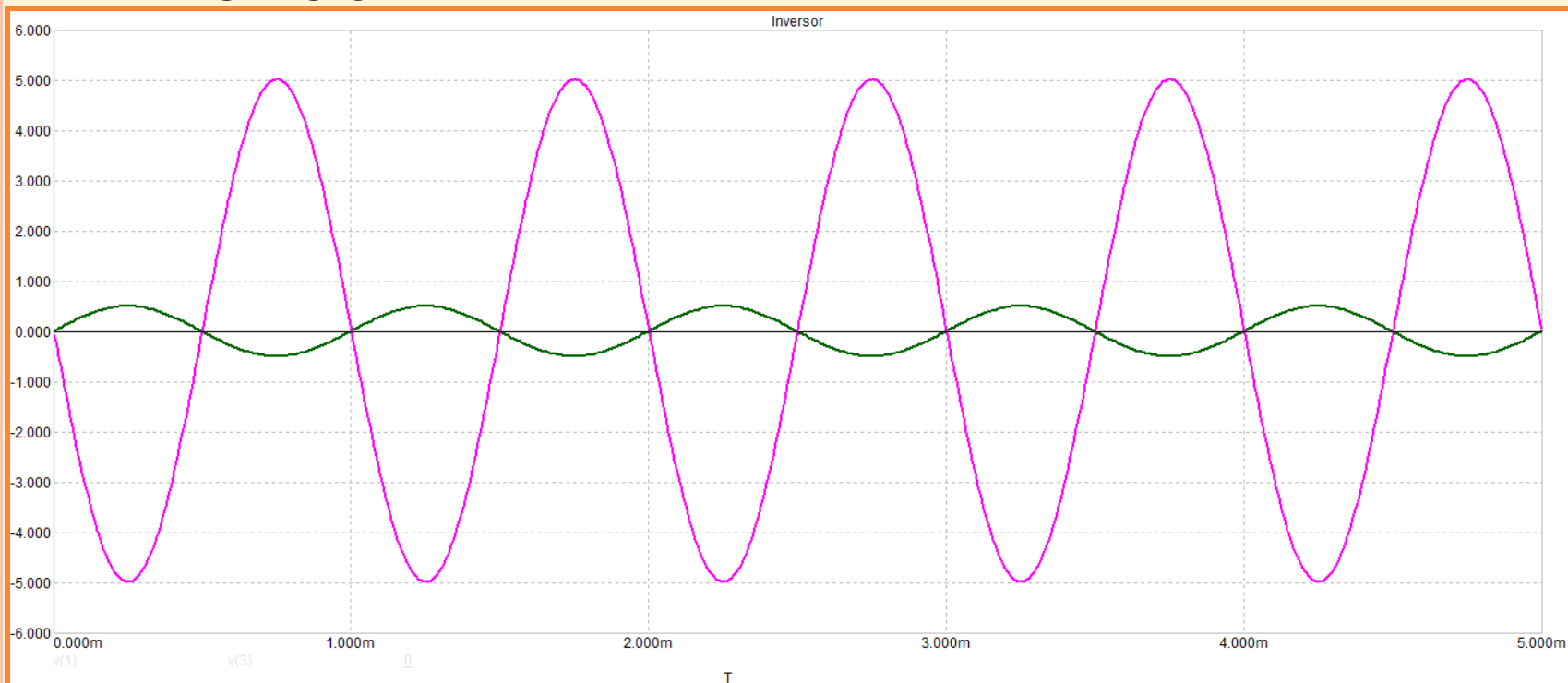
TEMA 3

○ Simulación

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

$$A_V = -\frac{R_2}{R_1} = -10$$

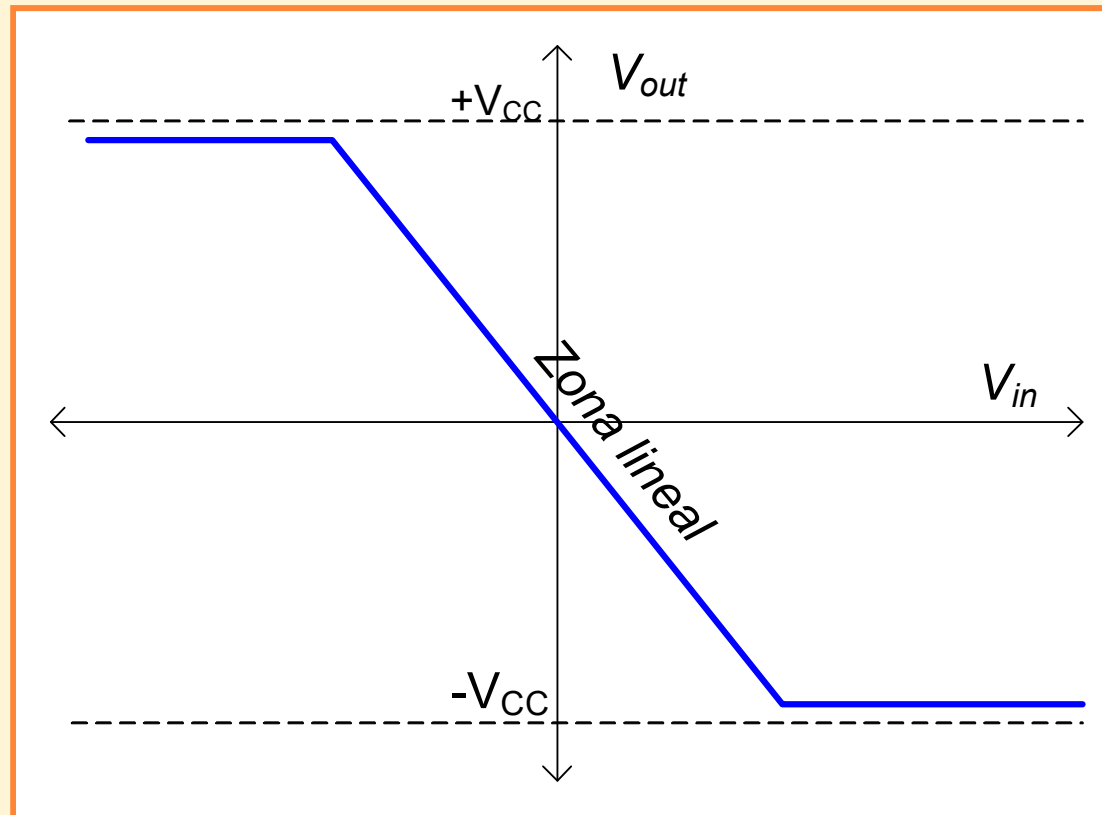
VER SIMULACION



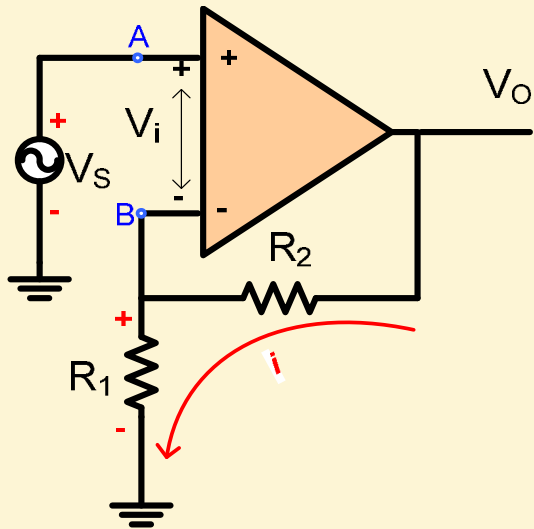
$$v_o(t) = 5 \text{ sen } (2\pi \cdot 1000 t - \pi) \text{ [V]} = -5 \text{ sen } (2\pi \cdot 1000 t) \text{ [V]}$$

22

Gráfica de Transferencia



Punto de partida:
circuito lineal,



Análisis por corto circuito virtual

Con A infinito

$$1) V_A = V_B$$

$$V_A = V_S \Rightarrow V_B = V_S \Rightarrow$$

$$V_B = V_{R1} \Rightarrow V_S = V_{R1}$$

$$2) v_S = i \cdot R_1$$

$$v_o = i \cdot (R_1 + R_2)$$

$$\therefore A_V = \frac{v_o}{v_S} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

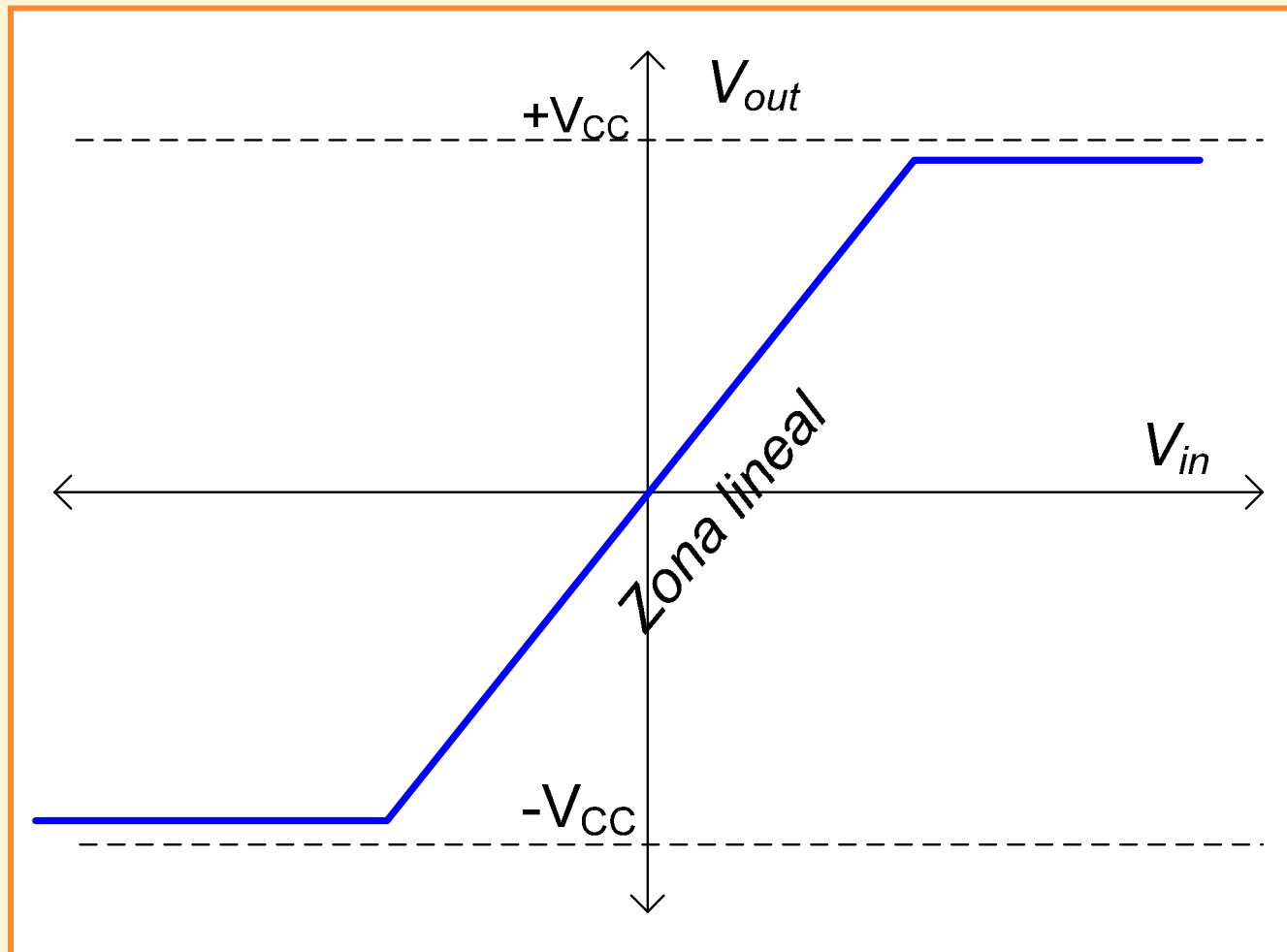
$$A_V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}}}$$

Con A finita

Amplificador de ganancia positiva ≥ 1

Gráfica de Transferencia

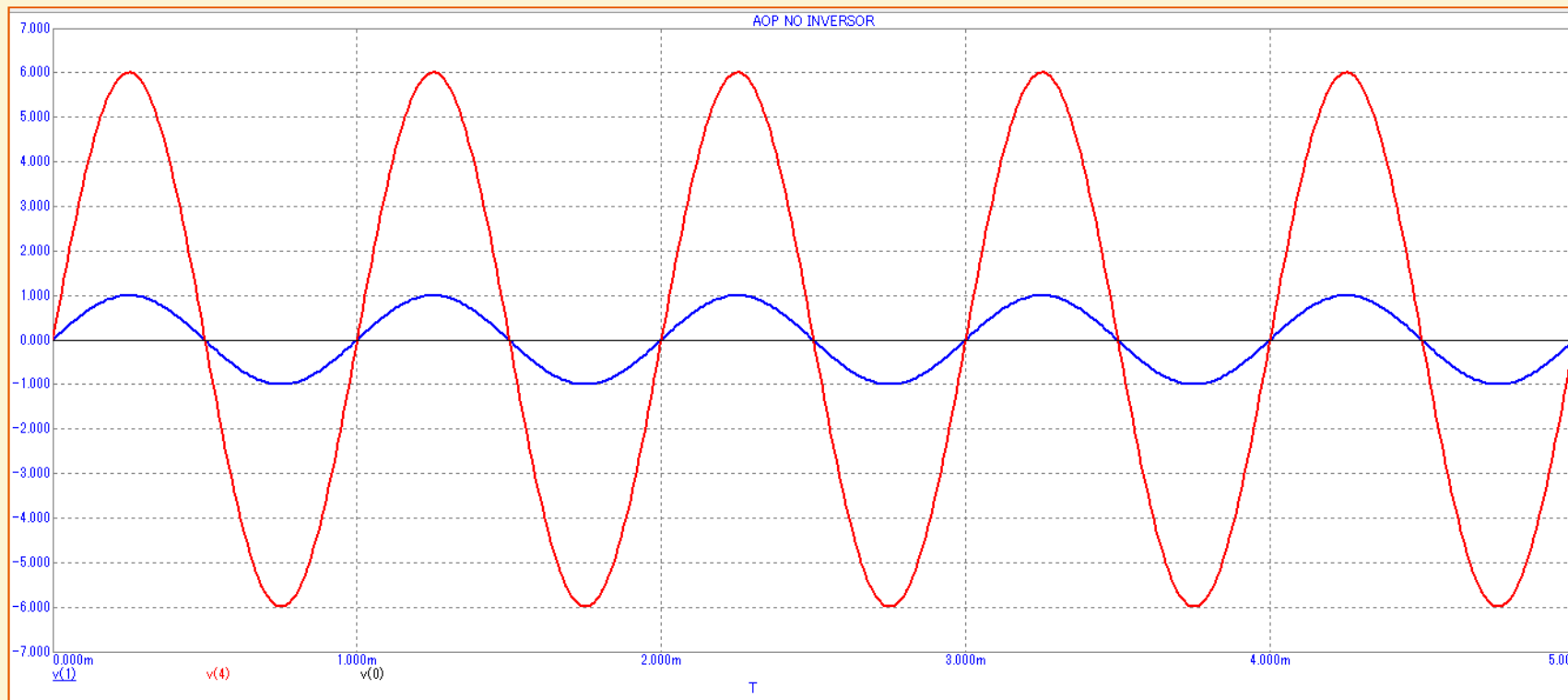


AMPLIFICADOR NO INVERSOR

TEMA 3

- Simulación $v_S(t) = 1 \text{ sen}(2\pi \cdot 1000 t)$ [V] $R_1 = 1\text{K}\Omega$ $R_2 = 5\text{K}\Omega$

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

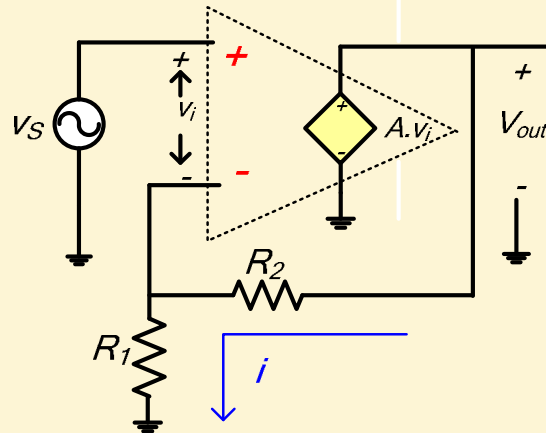
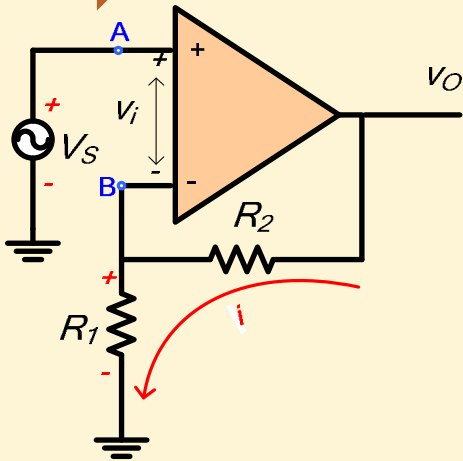


$$v_O(t) = 6 \text{ sen}(2\pi \cdot 1000 t)$$
 [V]

26

AMPLIFICADOR NO INVERSOR

➔ Análisis a partir del modelo



$$3) v_o = A v_i$$

VER SIMULACIÓN

$$1) - A v_i + i R_2 + i R_1 = 0$$

$$\Rightarrow i = \frac{A v_i}{R_1 + R_2}$$

$$2) v_s = v_i + i \cdot R_1$$

$$v_i = v_s - i \cdot R_1$$

$$v_i = v_s - \frac{A v_i}{R_1 + R_2} \cdot R_1$$

$$v_s = \left(1 + \frac{A R_1}{R_1 + R_2} \right) v_i$$

$$4) A_V = \frac{v_o}{v_s} = \frac{A v_i}{\left(1 + \frac{A R_1}{R_1 + R_2} \right) v_i}$$

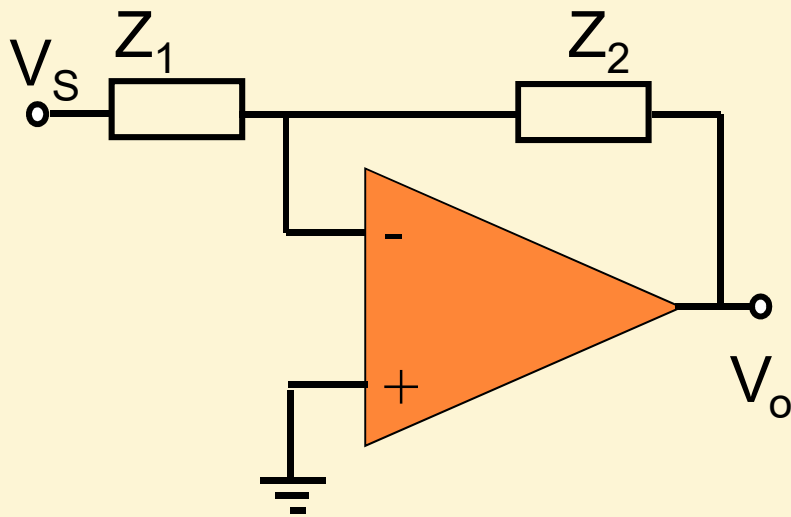
$$A_V = \frac{1}{\frac{1}{A} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}}}$$

Con A finita

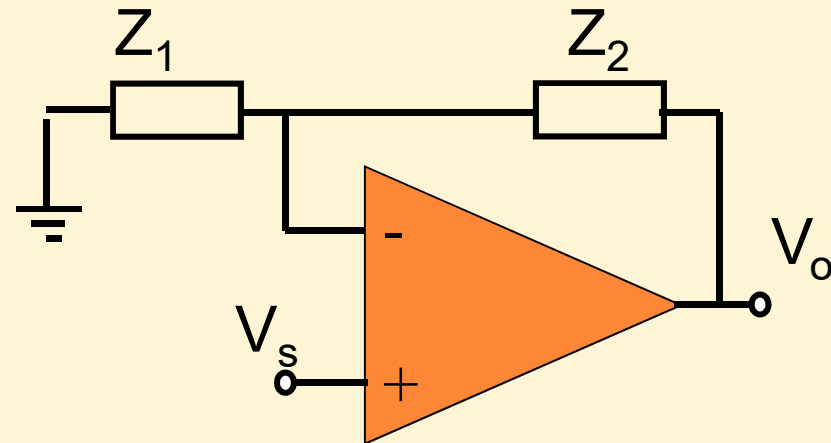
RESUMEN: PRINCIPALES CONFIGURACIONES LINEALES

TEMA 3



$$A_v = \frac{V_o}{V_S} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

Amplificador
Inversor

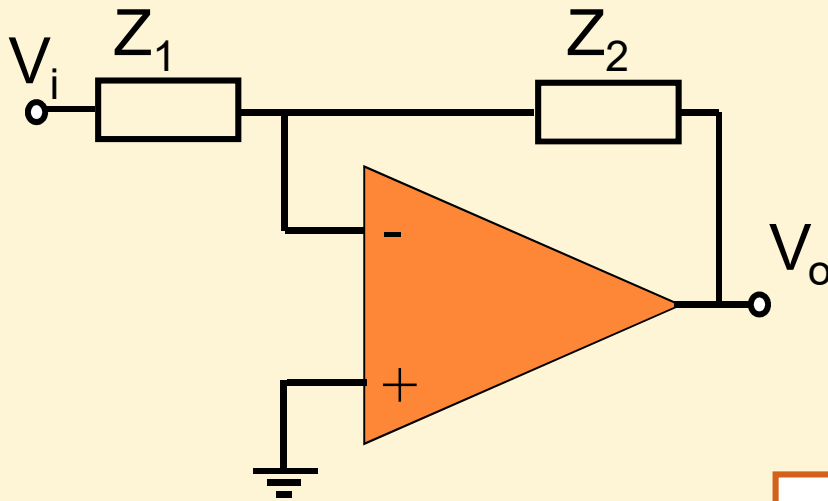


$$A_v = \frac{V_o}{V_S} = 1 + \frac{Z_2}{Z_1}$$

Amplificador no
Inversor

RESUMEN- AMPLIF. INVERSOR O CAMBIADOR DE ESCALA NEGATIVO

TEMA 3

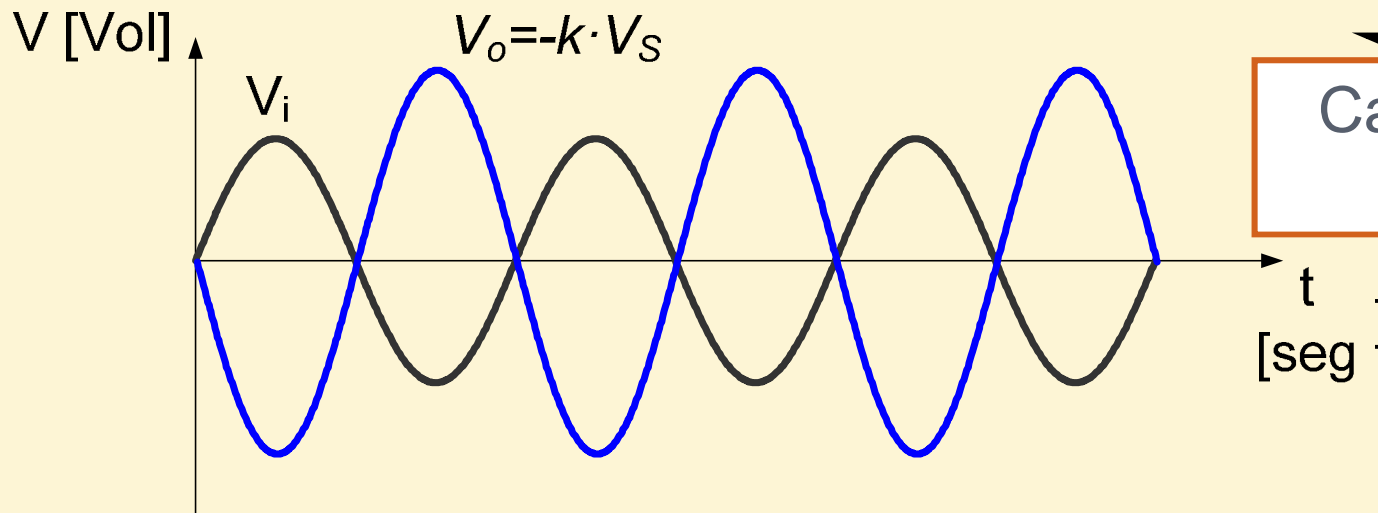


Si en el circuito $Z_2 = k \cdot Z_1$

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

$A_v = -k$ es decir $V_o = -k \cdot V_s$

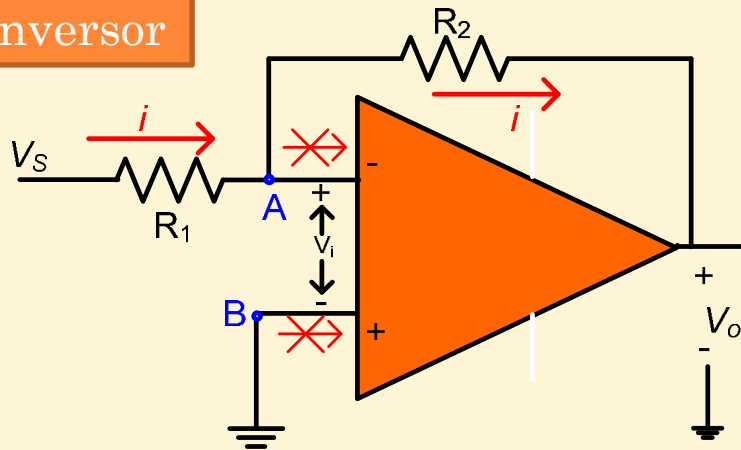
Caso particular:
 $k = -1$



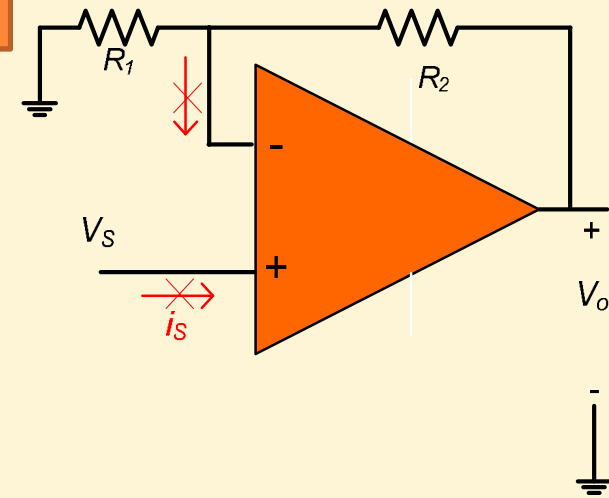
IMPEDANCIA DE ENTRADA

TEMA 3

Inversor



No Inversor



$$Z_{in} = \frac{V_S}{i_S}$$

$$i_S = i$$

$$V_A = 0V \Rightarrow V_{R1} = V_S$$

$$Z_{in} = \frac{V_S}{i_S} = \frac{V_{R1}}{i}$$

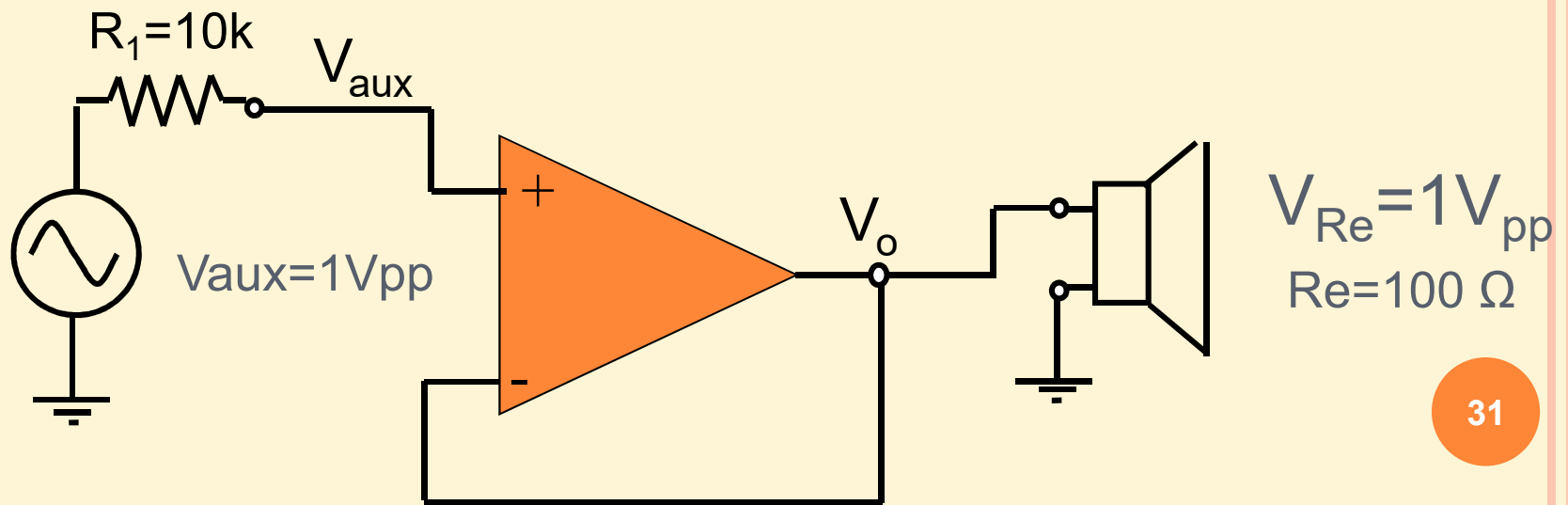
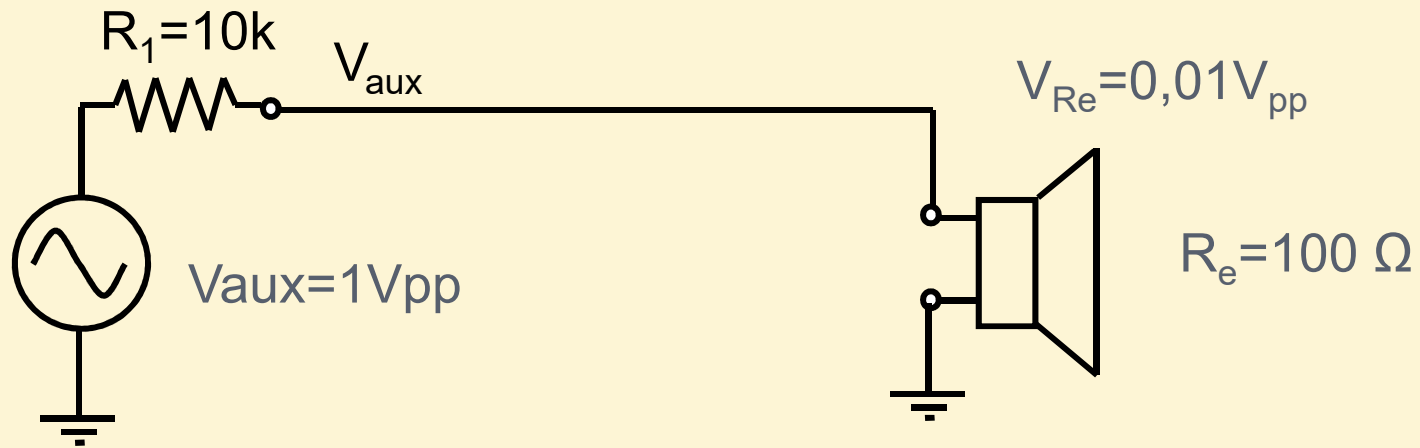
$$Z_{in} = R_1$$

$$i_S = 0$$

$$Z_{in} = \frac{V_S}{i_S} = \infty$$

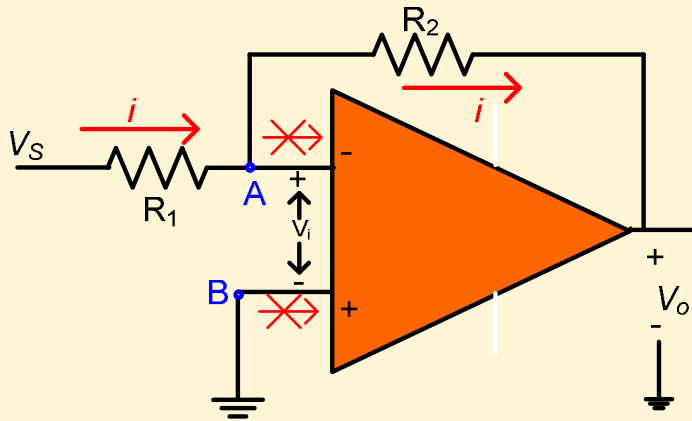
EJEMPLO DE APLICACIÓN

TEMA 3



IMPEDANCIA DE SALIDA

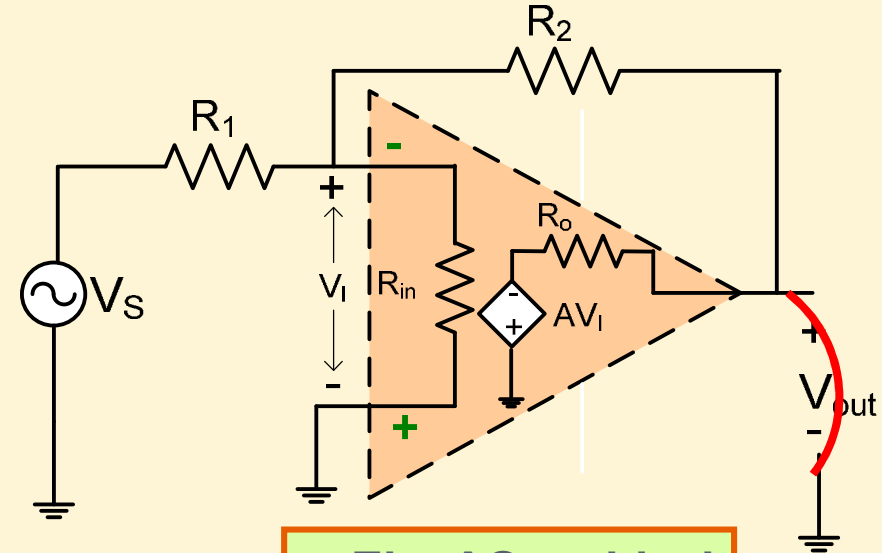
TEMA 3



$$Z_{out} = \frac{V_{O \text{ vacio}}}{i_{CC}}$$

$$V_{O \text{ vacio}} = -\frac{R_2}{R_1} V_s$$

$$i_{CC} = -\frac{A V_i}{R_o}$$



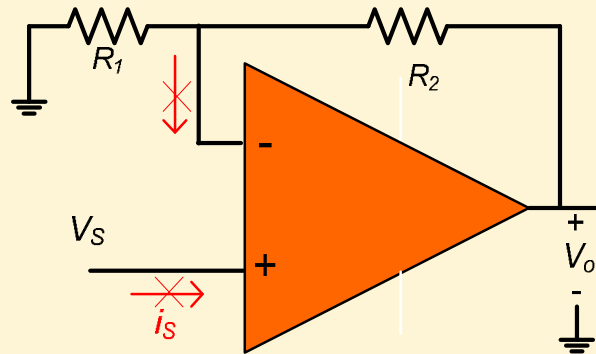
El AOp ideal
tiene $R_o = 0$

$$i_{CC} = -\frac{A V_i}{R_o} = \infty$$

$$\therefore Z_{out} = \frac{V_{O \text{ vacio}}}{i_{CC}} = \frac{-\frac{R_2}{R_1} V_s}{\infty} = 0$$

IMPEDANCIA DE SALIDA

TEMA 3



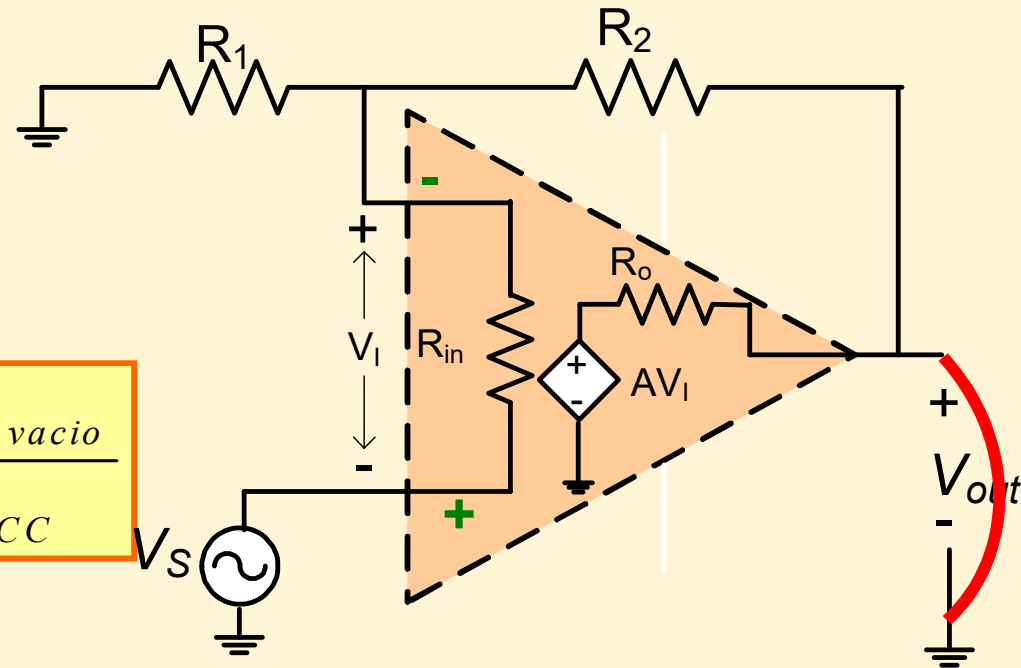
$$Z_{out} = \frac{V_{O \text{ vacio}}}{i_{CC}}$$

$$V_{O \text{ vacio}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_s$$

$$i_{CC} = \frac{A V_i}{R_o}$$

$$i_{CC} = \frac{A V_i}{R_o} = \infty$$

$$\therefore Z_{out} = \frac{V_{O \text{ vacio}}}{i_{CC}} = \frac{\left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_s}{\infty} = 0$$



El AOp ideal
tiene $R_o = 0$