



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Sesión 23

Introducción al AO

Amplificador Operacional

Componentes y Circuitos Electrónicos

José A. Garcia Souto

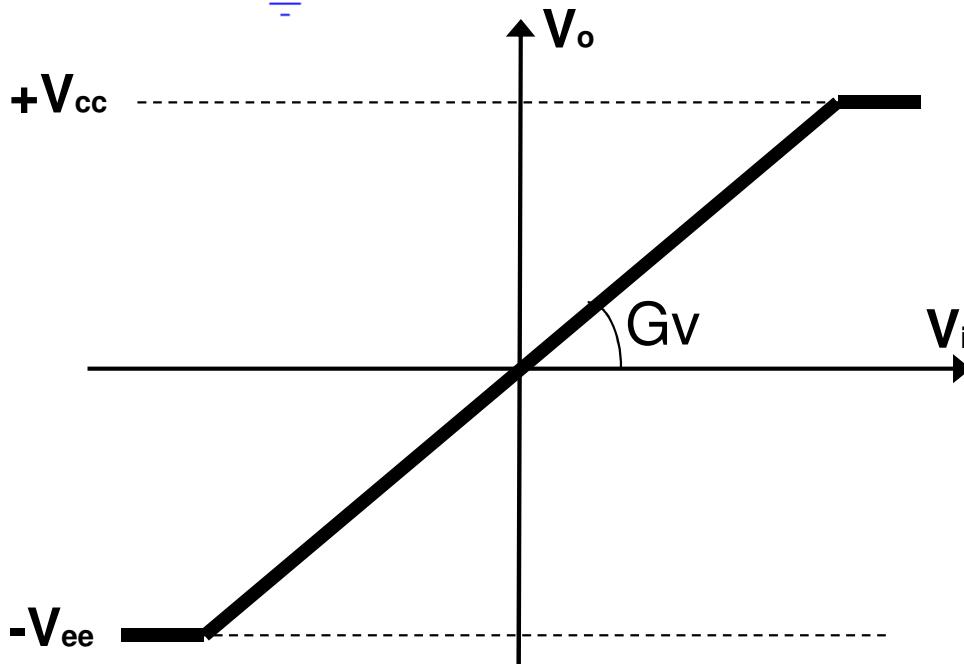
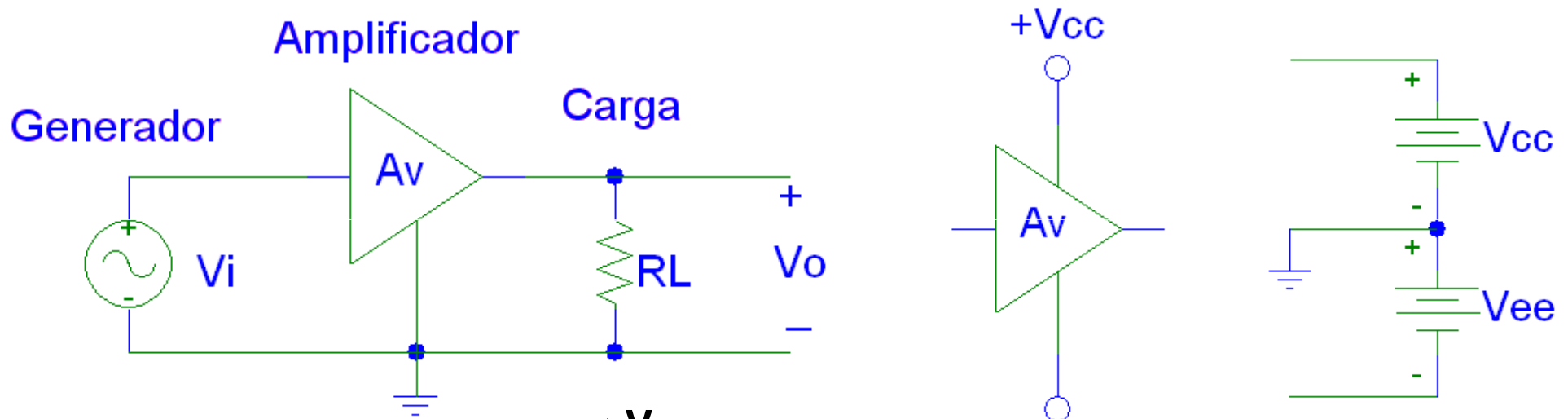
www.uc3m.es/portal/page/portal/dpto_tecnologia_electronica/Personal/JoseAntonioGarcia

Introducción al Amplificador Operacional

OBJETIVOS

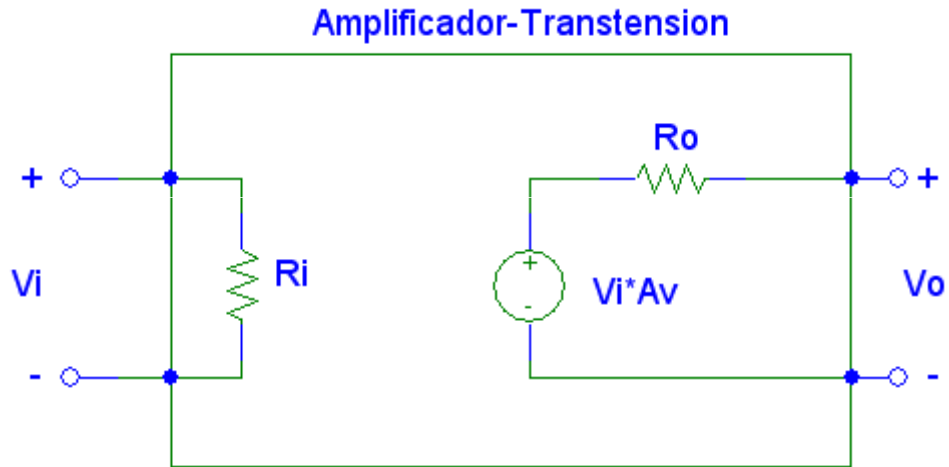
- Conocer los parámetros básicos de un amplificador operacional ideal
- Entender el procedimiento de análisis de circuitos lineales con amplificadores operacionales ideales: cortocircuito virtual
- Entender y utilizar el producto ganancia por ancho de banda

Introducción: Amplificador

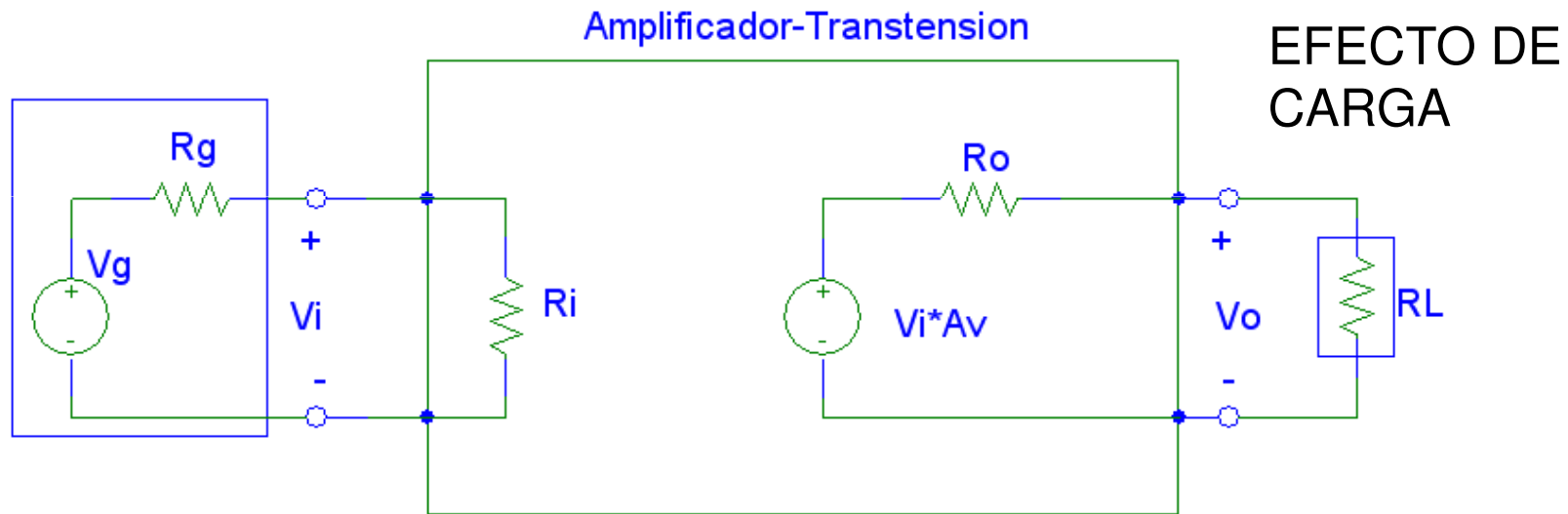
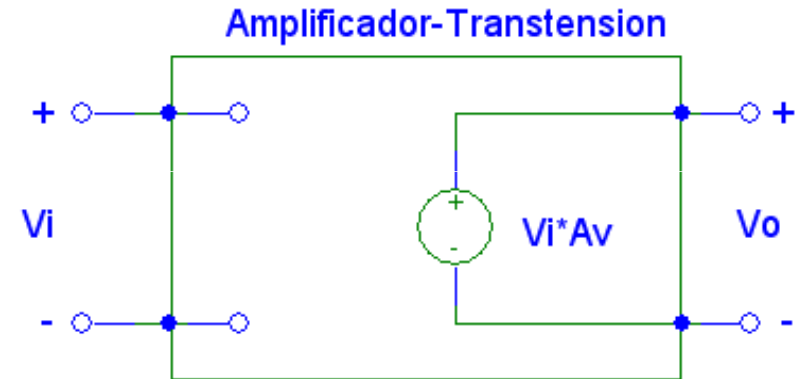


Introducción: Amplificador de tensión

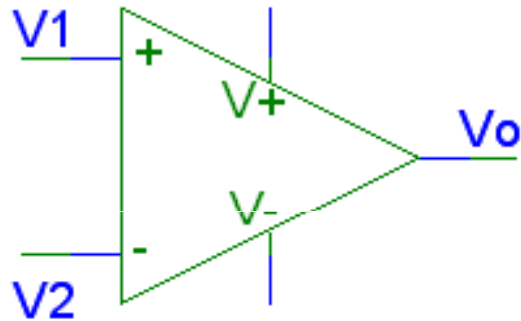
REAL



IDEAL



Introducción: Amplificador diferencial



Entrada diferencial

$$V_{id} = V_1 - V_2$$

Entrada en modo común

$$V_{ic} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Ganancia en modo diferencial y ganancia en modo común

$$V_o = A_{DM} \cdot V_{id} + A_{CM} \cdot V_{ic}$$

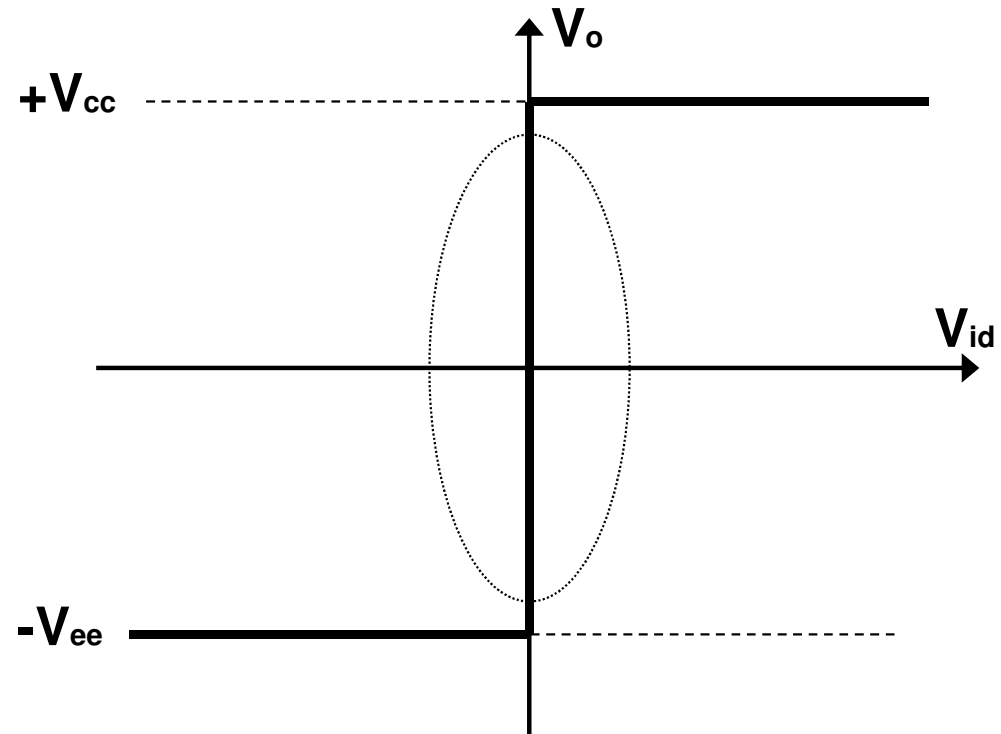
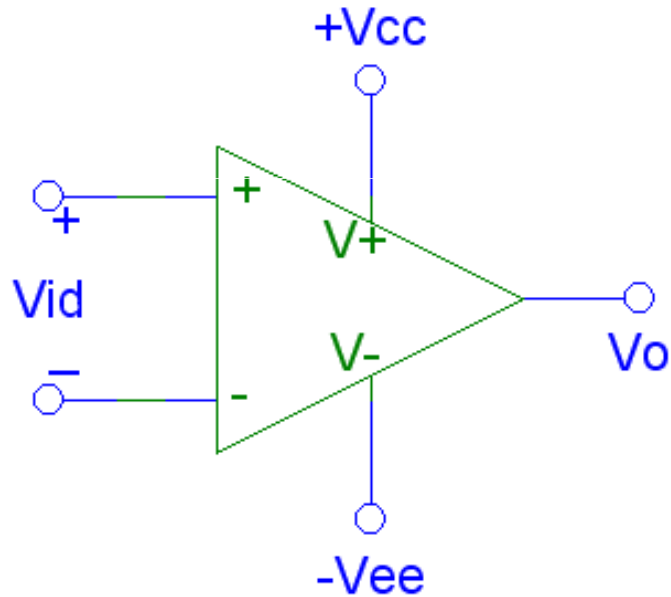
Relación de rechazo al modo común (CMRR)

$$V_o = A_{DM} \left(V_{id} + \frac{V_{ic}}{CMRR} \right)$$

Si $CMRR \rightarrow \infty$

$$V_o = A_{DM} \cdot V_{id}$$

Amplificador operacional IDEAL



Comportamiento Lineal

$$V_o = A_v \cdot V_{id}$$

En el rango de salida

$$-V_{ee} \leq v_o \leq +V_{cc}$$

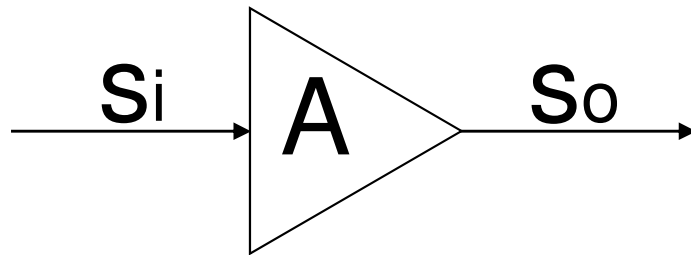
Idealmente $A_v \rightarrow \infty$

Parámetros del amplificador operacional IDEAL

- Ganancia en lazo abierto (A_v) $\rightarrow \infty$
- Impedancia de entrada (R_i) $\rightarrow \infty$
- Impedancia de salida (R_o) $\rightarrow 0$
- Rechazo al modo común (CMRR) $\rightarrow \infty$
- Ancho de banda (BW) $\rightarrow \infty$
- Corrientes entrada (polarización) $\rightarrow 0$
- Tensión de “offset” $\rightarrow 0$

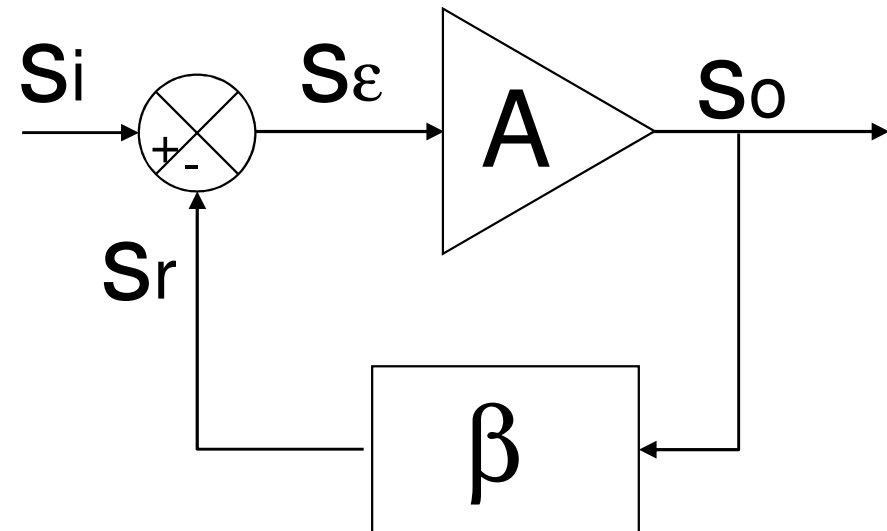
Introducción: Realimentación negativa

AMPLIFICACIÓN
EN LAZO ABIERTO



$$S_o = A \cdot S_i$$

AMPLIFICACIÓN
REALIMENTADA



$$S_o = G \cdot S_i$$

$$S_\epsilon = S_i - S_r$$

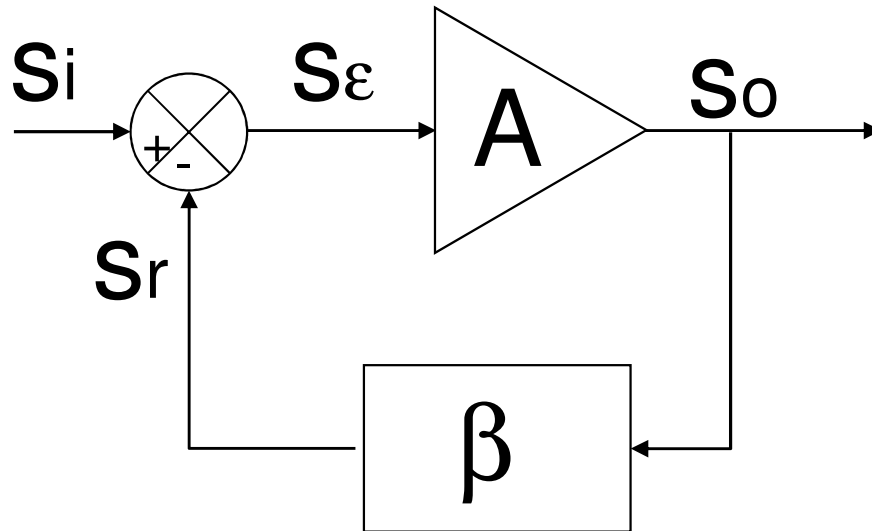
$$S_o = A \cdot S_\epsilon$$

$$S_r = \beta \cdot S_o$$

$$G = \frac{S_o}{S_i} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

Introducción: Realimentación negativa

AMPLIFICADOR IDEAL REALIMENTADO

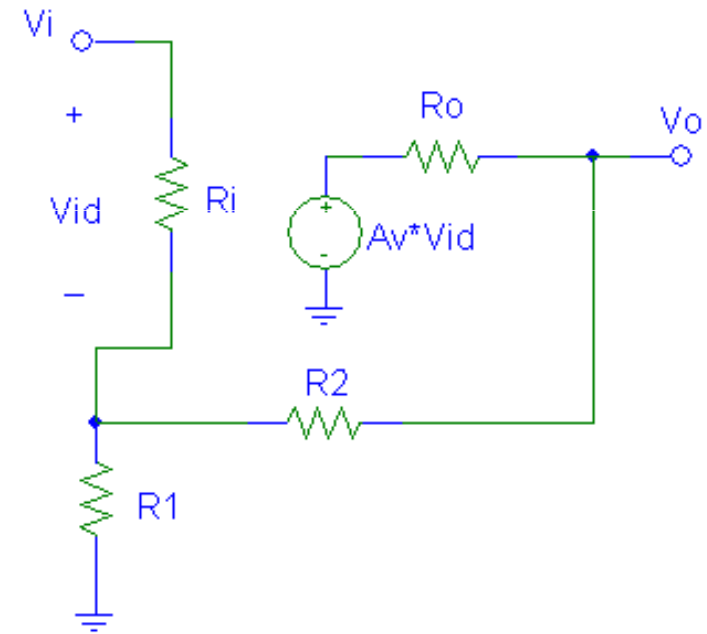
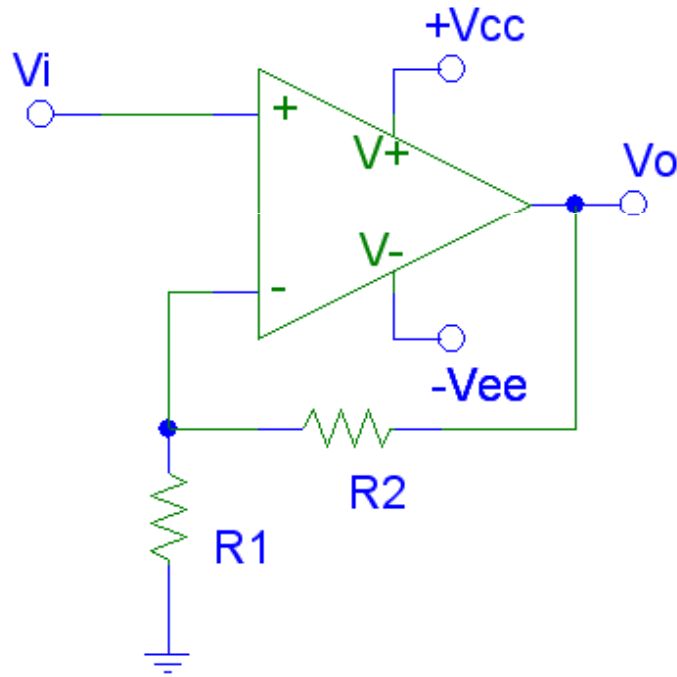


$$S_o = G \cdot S_i$$

$$G = \frac{S_o}{S_i} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$$\begin{array}{l} A\beta \gg 1 \\ [A \rightarrow \infty] \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} G \approx \frac{1}{\beta} \\ S_\epsilon \rightarrow 0 \end{array} \Rightarrow S_o \approx \frac{1}{\beta} \cdot S_i$$

Ejemplo: AO - no inversor

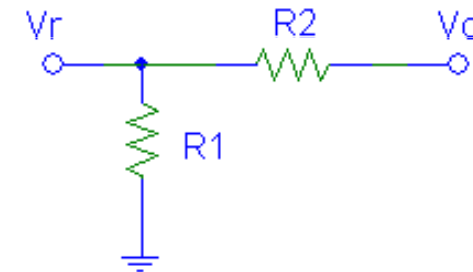


$$R_i \rightarrow \infty, R_o \rightarrow 0$$

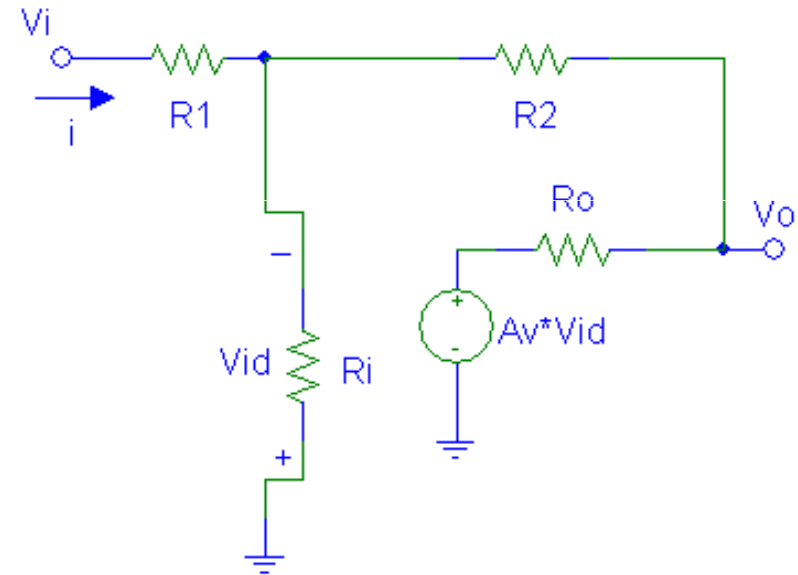
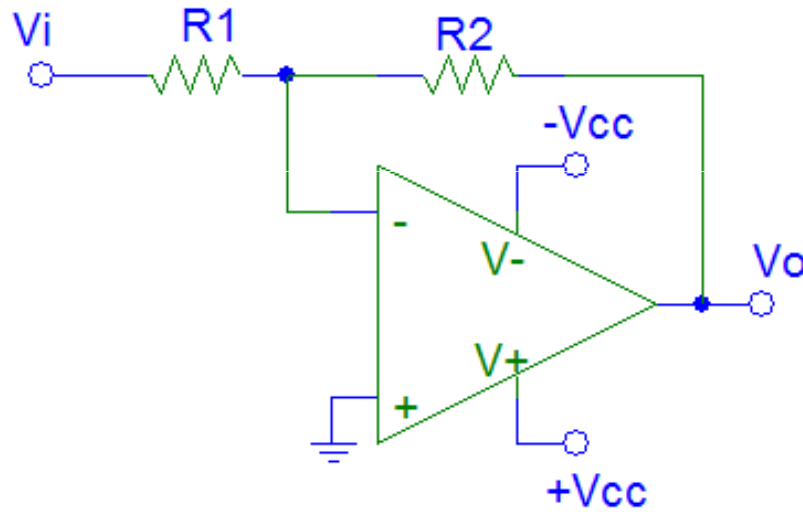
$$A_v \rightarrow \infty$$

$$G_v \approx \frac{A_v}{1 + A_v \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

$$G_v \approx 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



Ejemplo: AO - inversor



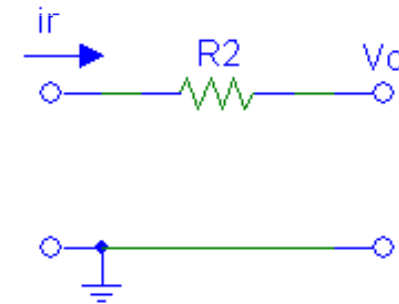
$$R_i \rightarrow \infty, R_o \rightarrow 0$$

+

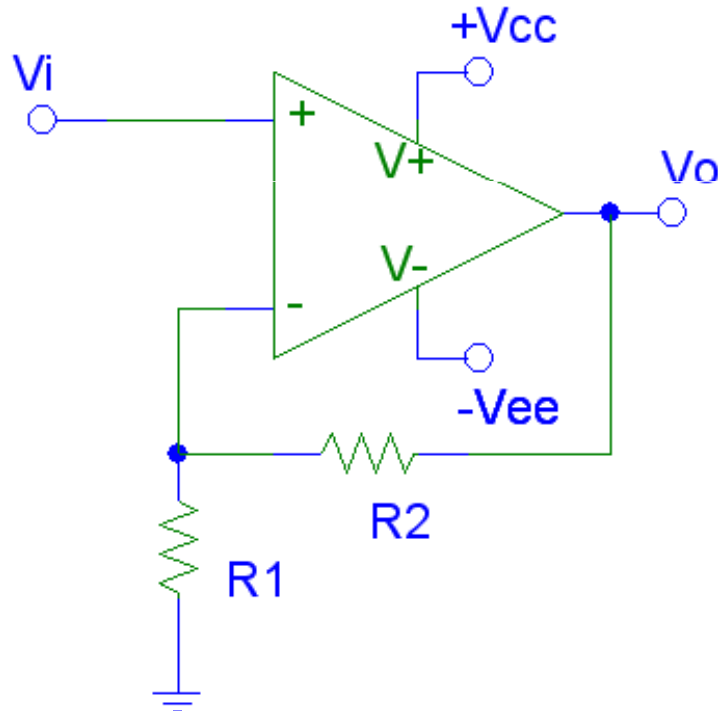
$$A_v \rightarrow \infty$$

$$G_v \approx -\frac{A_v (R_1 \parallel R_2)}{1 + \frac{A_v}{R_2} (R_1 \parallel R_2)} \cdot \frac{1}{R_1}$$

$$G_v \approx -\frac{R_2}{R_1}$$



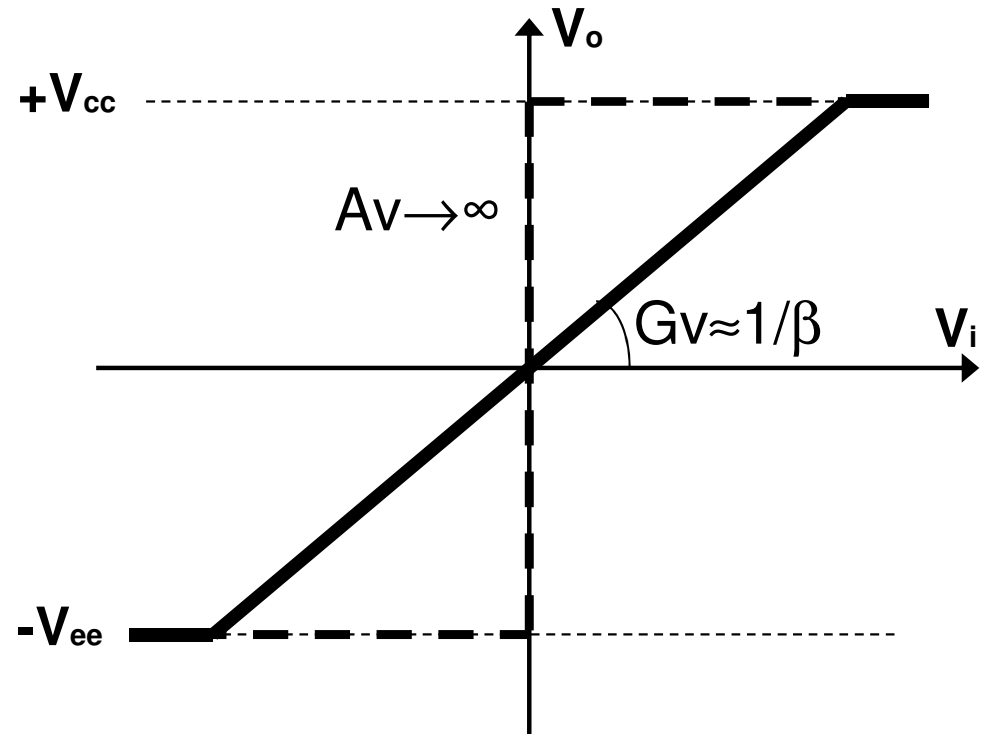
Aplicación lineal AO-IDEAL



Comportamiento Lineal

$$V_o = A_v \cdot V_{id}$$

Realimentación negativa

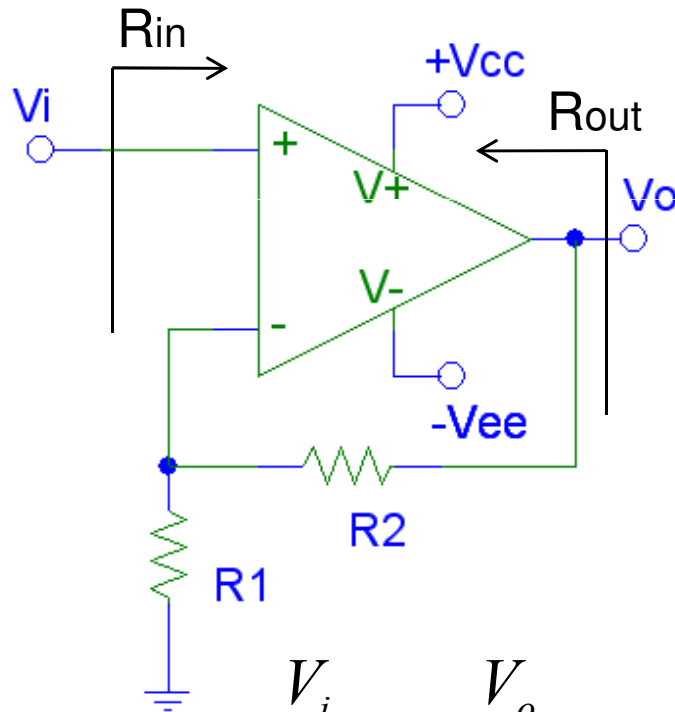


Cortocircuito virtual

$$V_{id} = 0$$

$$V_+ = V_-$$

Ejemplos: Cortocircuito virtual

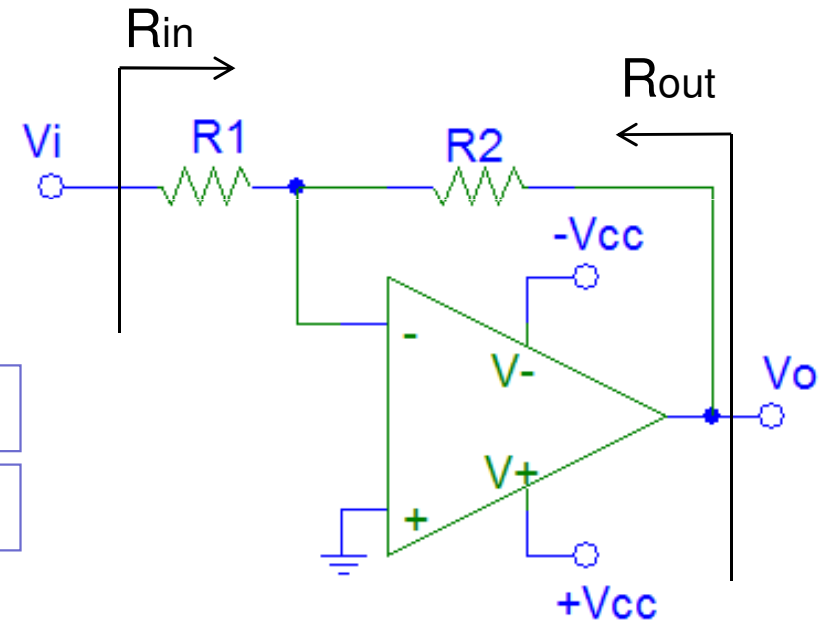


$$V_+ = V_-$$

$$i_+ = i_- = 0$$

$$\frac{V_i}{R_1} = \frac{V_o}{R_1 + R_2}$$

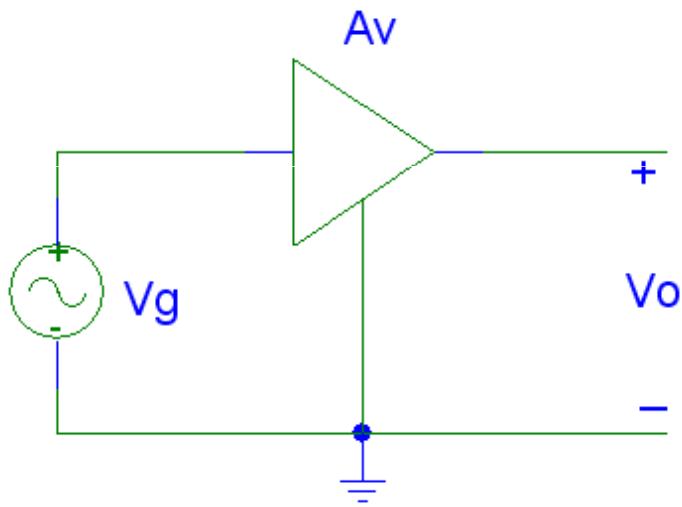
$$G_V = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \begin{array}{l} R_{in} \rightarrow \infty \\ R_{out} \rightarrow 0 \end{array}$$



$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2}$$

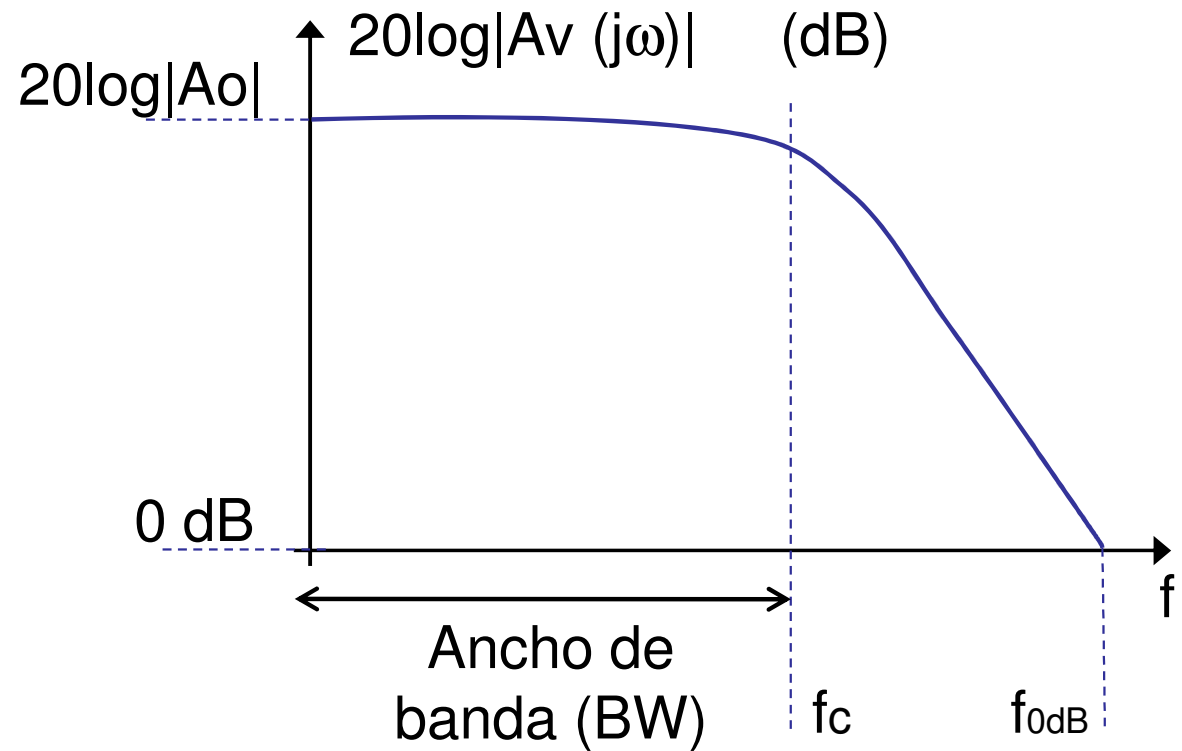
$$G_V = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \quad \begin{array}{l} R_{in} \rightarrow R_1 \\ R_{out} \rightarrow 0 \end{array}$$

Respuesta en frecuencia del amplificador operacional: acoplado en continua



$$A_V(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_g(j\omega)}$$

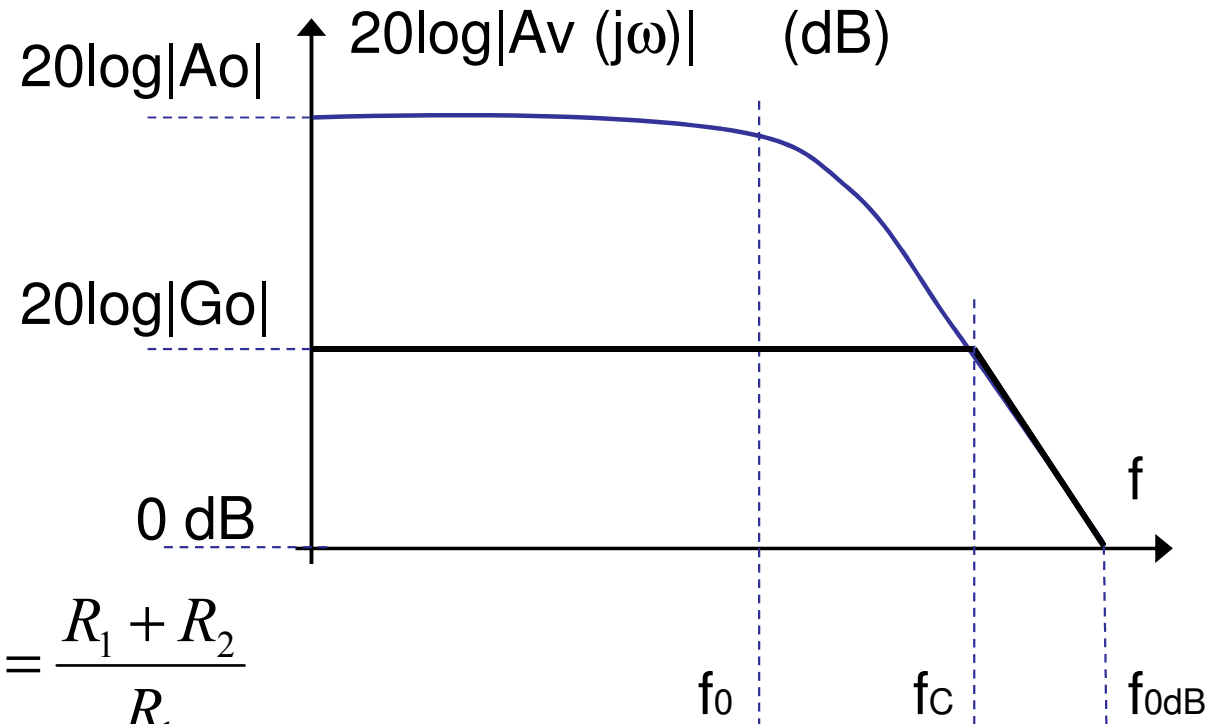
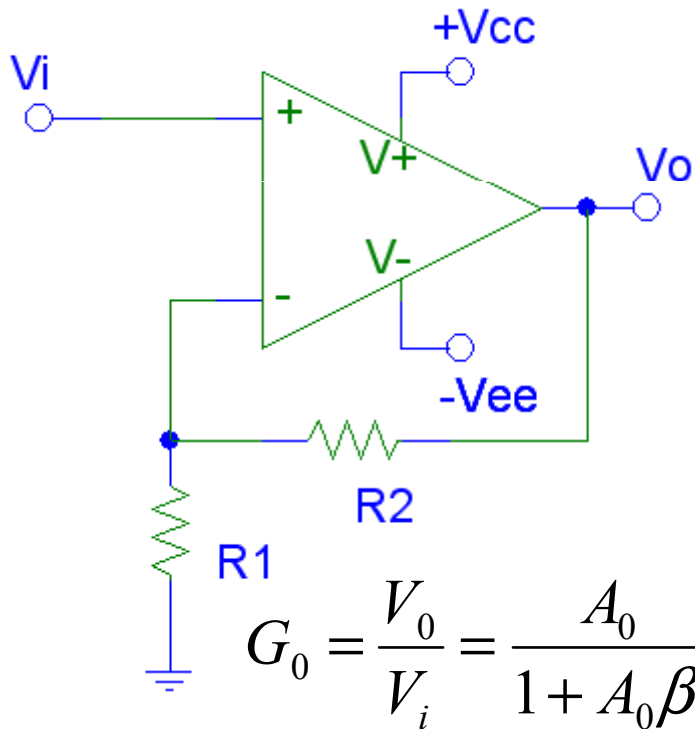
$$A_0 = A_V(\omega = 0)$$



Ganancia x Ancho de banda = constante

$$A_0 \cdot f_c = 1 \cdot f_{0dB}$$

Ganancia x Ancho de banda = constante



Ancho de banda en lazo abierto (f_0)

$$G_0 \cdot f_C = A_0 \cdot f_0 = f_{0dB}$$

Ancho de banda realimentado (f_C)

$$f_C = (1 + A_0\beta) \cdot f_0$$