

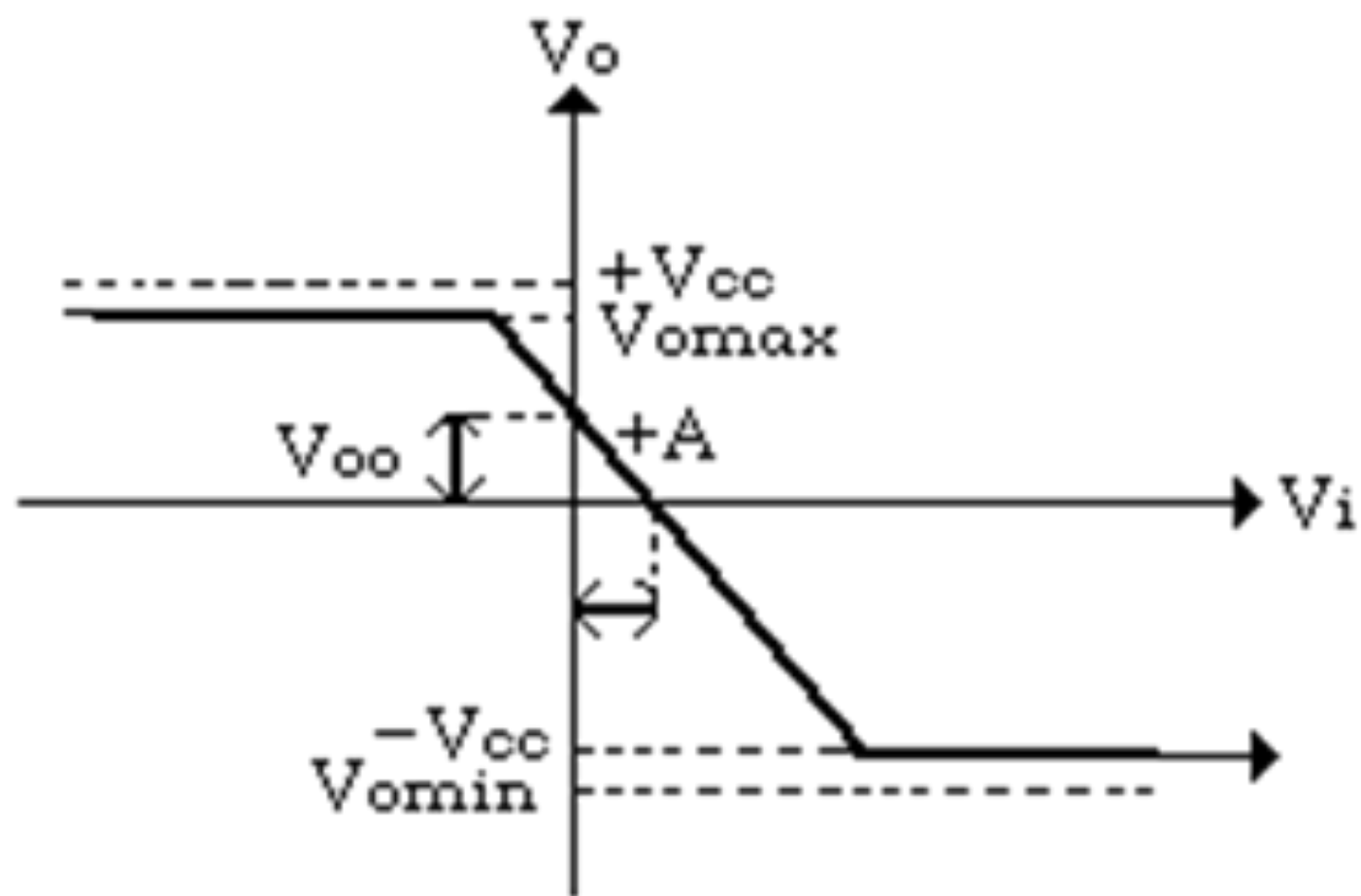
Tema 6. Amp.Ops.

El amplificador operacional real (no ideal)

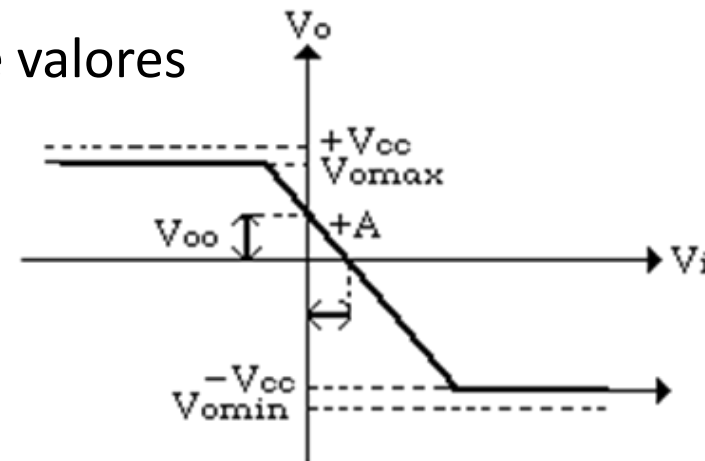
Tema 6 (parte 4) en moodle

El amplificador operacional no ideal.

- Tensiones de offset
- Corrientes de polarización
- Respuesta en frecuencia / Ancho de banda (BW)
 - Respuesta al escalón → estabilidad de un sistema.
- Slew-Rate
- Impedancia de entrada

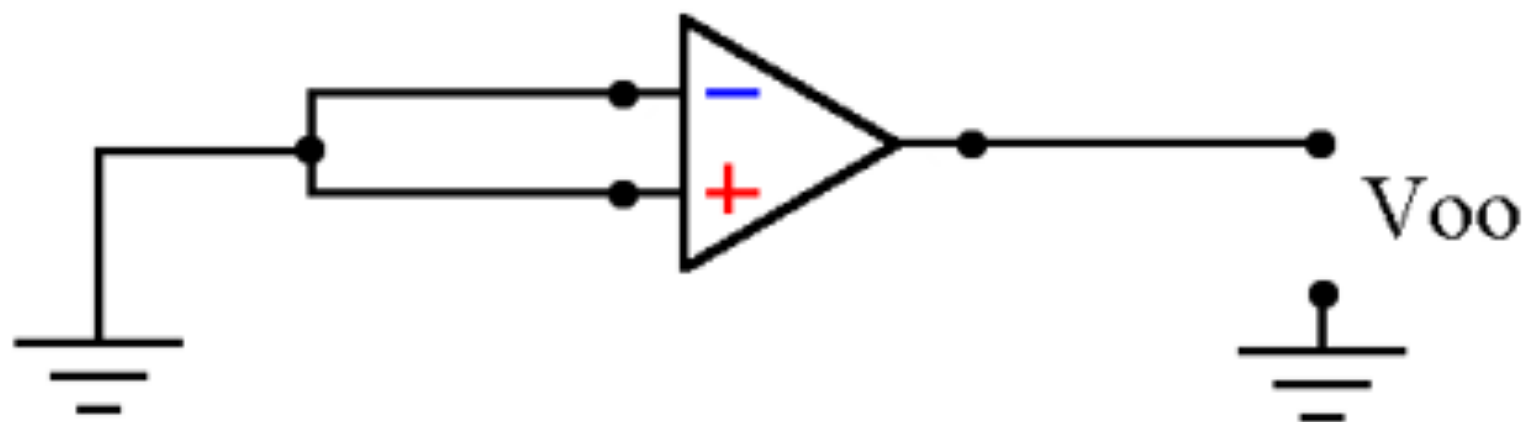
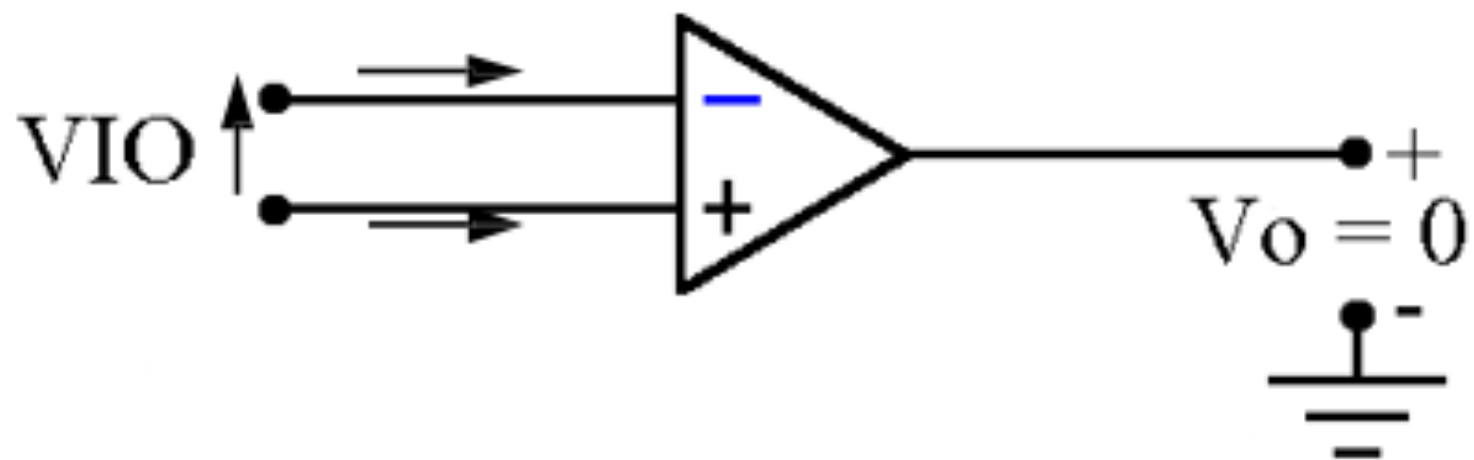


- Para una tensión de entrada nula, la tensión de salida ya no lo es, tensión de entrada de offset, cuyos valores típicos están entre 0,1 mv y 30 mv.
- La ganancia en lazo abierto ya no es infinita, sino de un valor finito A , que suele ser del orden de 10^6 .
- La excursión máxima de la señal de salida ya no es $\pm V_{cc}$, sino algo inferior, debido a que la tensión de saturación de los transistores de salida en la práctica no es nula.
- La impedancia de entrada en los amplificadores operacionales reales tampoco es infinita. Los valores típicos oscilan entre 100 K y 10⁶ M Ohmios
- La resistencia de salida, que en el amplificador ideal era nula, adquiere valores comprendidos entre 6 y 100 ohmios

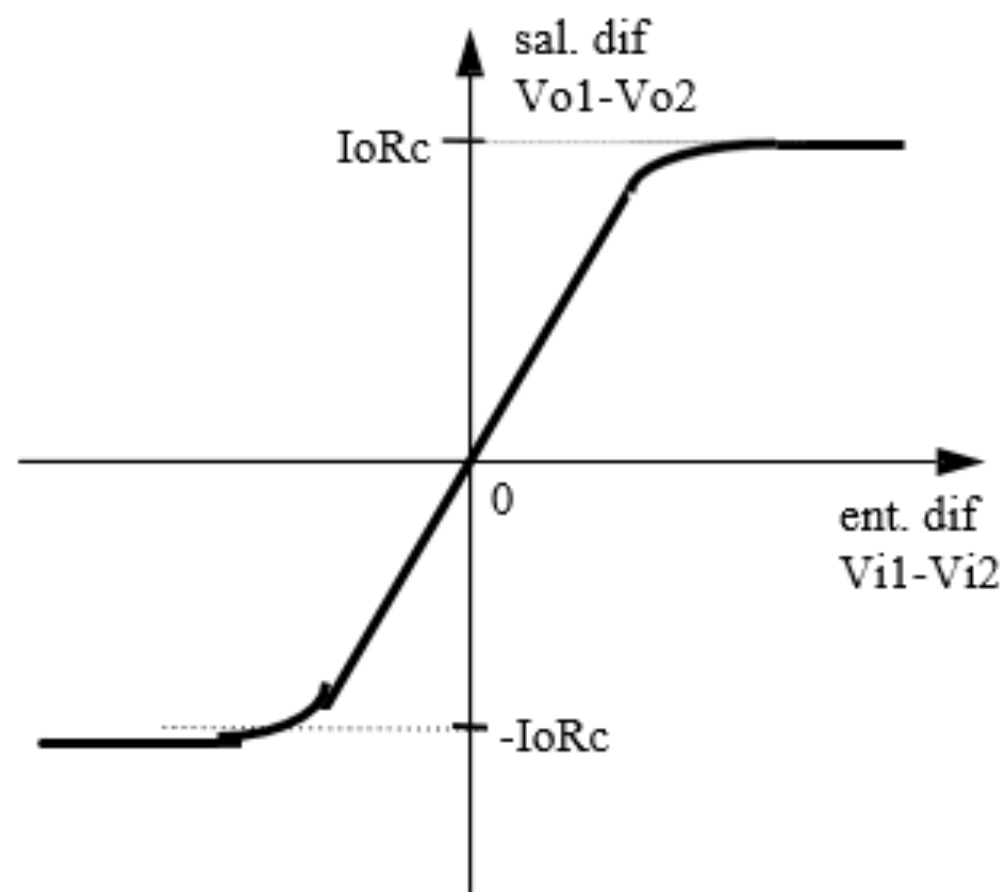


Tensiones de offset

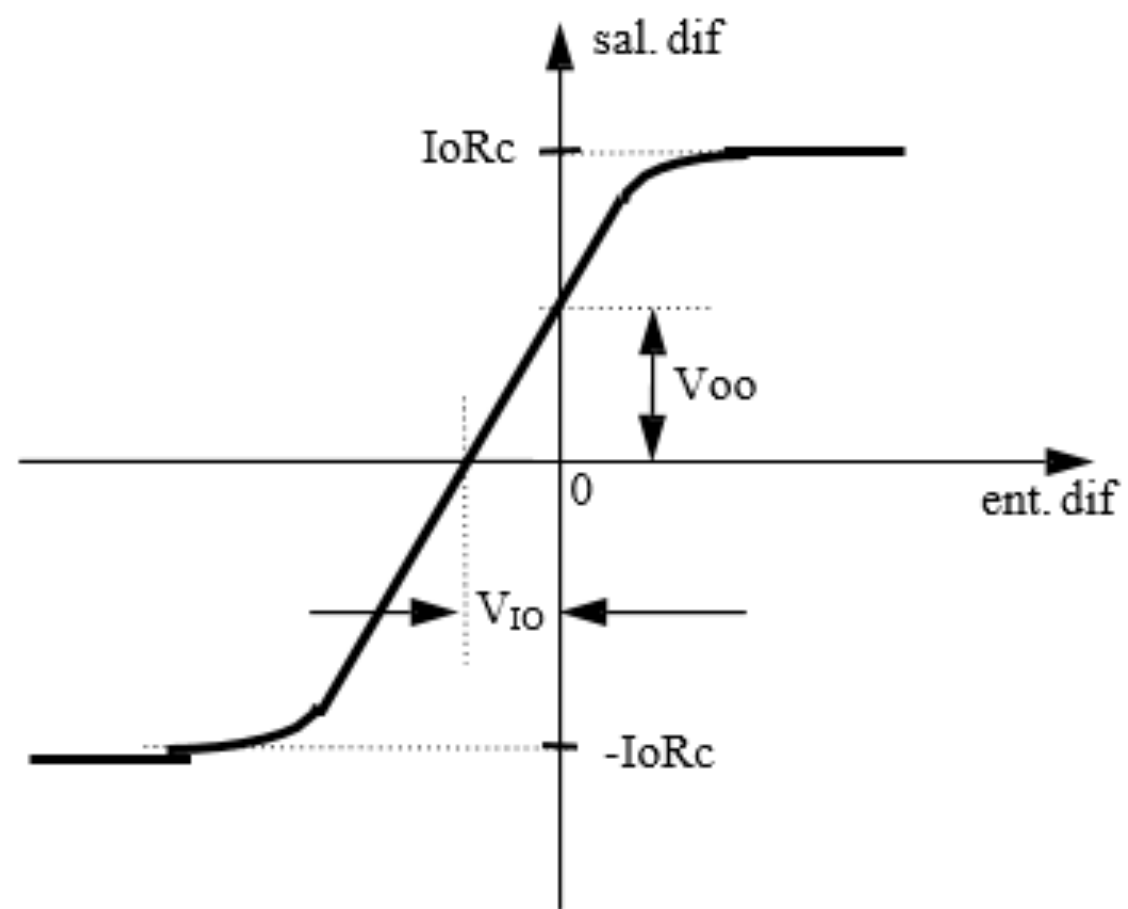
- Tensiones de offset de entrada : Es la tensión V_{IO} que debe aplicarse a los terminales de entrada del AO para equilibrar el amplificador, es decir, hacer su salida nula $V_O = 0$.
- Tensión de offset de salida: Es la tensión de salida del A.O. cuando los terminales de entrada están conectados a tierra (V_{OO}).



Ideal



Real



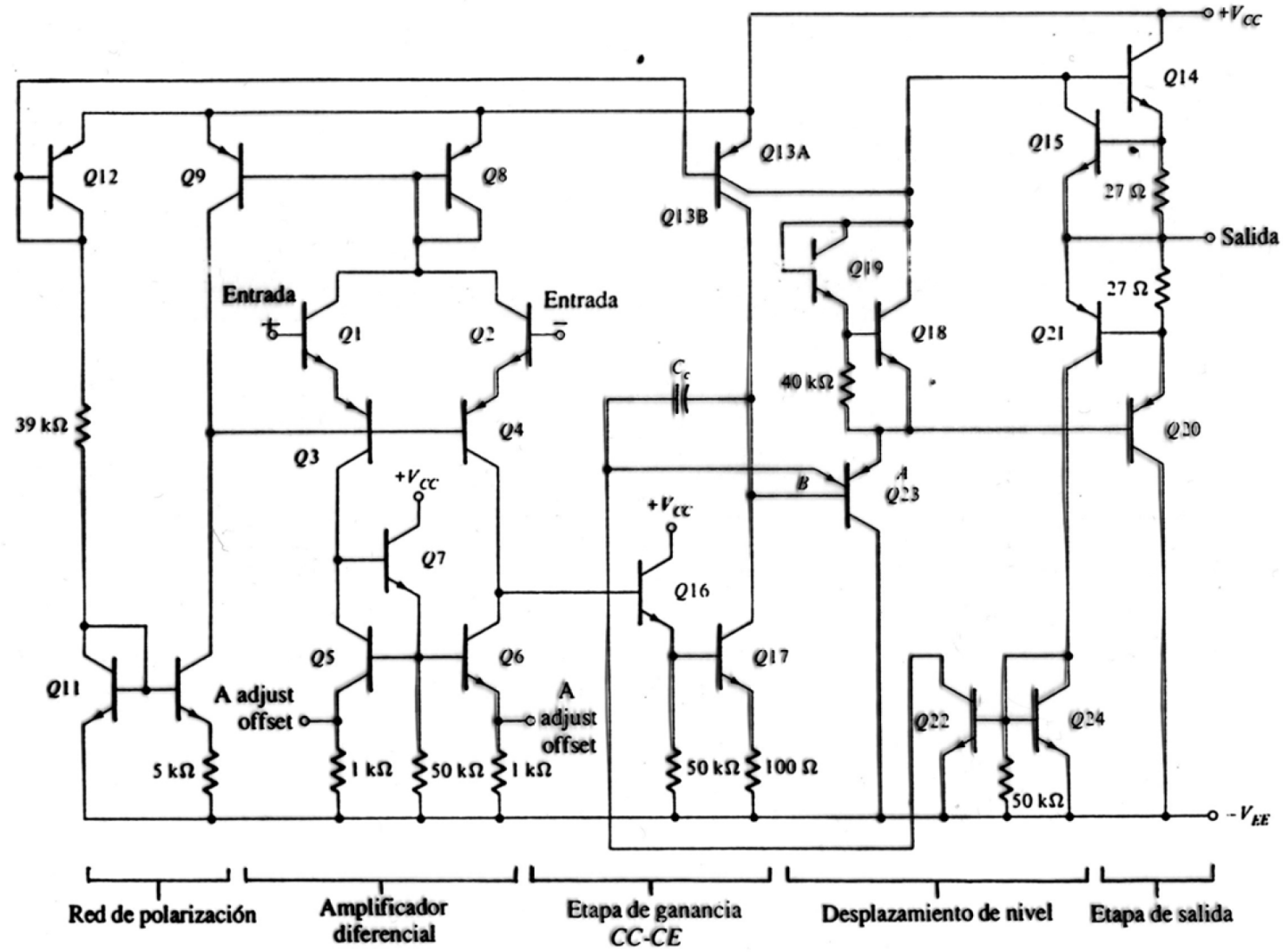
Corrientes de polarización

Se define la **corriente de offset de entrada** como la corriente I_{io} diferencia entre las corrientes separadas que entran en los terminales de entrada del A.O. cuando está equilibrado ($V_o = 0$ V)

$$I_{io} = I_{B1} - I_{B2} .$$

Se define la “**corriente de polarización de entrada**” como la semisuma de las corrientes separadas que fluyen por los terminales de entrada en un amplificador equilibrado (con $V_o = 0$ V.)

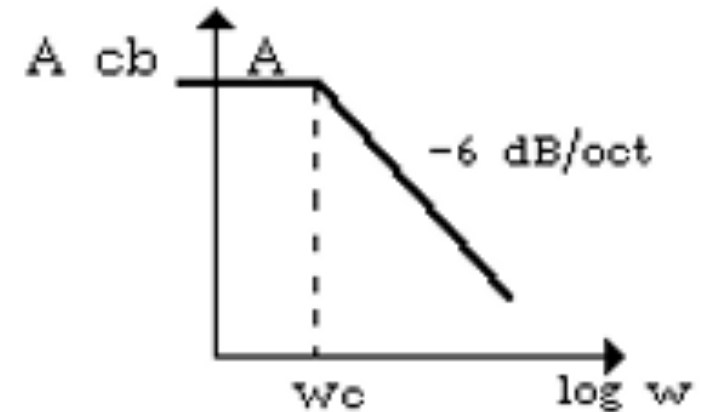
$$I_B = \frac{(I_{B1} + I_{B2})}{2}$$



. Diagrama esquemático del Amp-Op tipo 741.

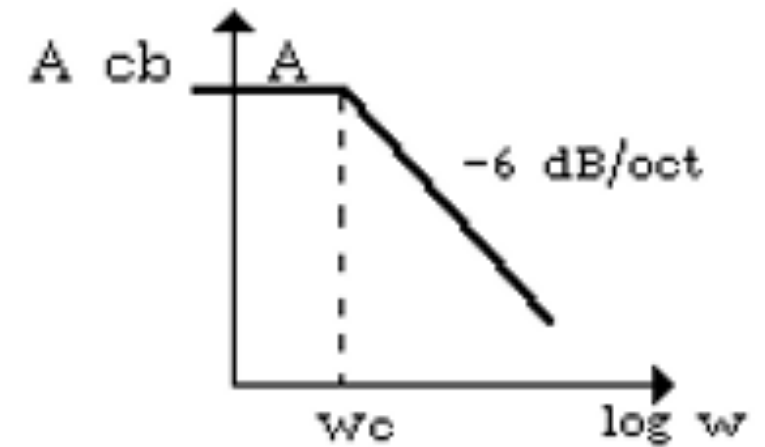
Respuesta en frecuencia

- En los AO ideales se ha supuesto infinita pero en la realidad, aparece una frecuencia de corte superior. Debido a estar construido con varias etapas, la respuestas en alta frecuencia puede tener caídas de 18 dB/oct o superiores.
- Este hecho significa tener tres o más polos en la función de transferencia y por lo tanto, pueden aparecer inestabilidades cuando se le realimenta.



Respuesta en frecuencia

- Para evitar las inestabilidades, aún en el caso del 100% de realimentación cuando se usa como seguidor, se incluyen en los circuitos redes de compensación por polo dominante, con la consiguiente pérdida de ancho de banda.
- En un A.O. compensado por polo dominante, el módulo de la ganancia en lazo abierto tiene la siguiente representación.



Efecto de la realimentación sobre el ancho de banda (BW)

- La función de transferencia (ganancia) de un amplificador con realimentación viene dada de forma general por:

$$A_f = \frac{A}{(1 + \beta \cdot A)}$$

- siendo A y β funciones de la variable compleja ' s ' (Laplace).

Efecto de la realimentación sobre el ancho de banda (BW)

- Para ver el efecto de la realimentación vamos a suponer que A es una función de transferencia de un solo polo simple (primer orden).

$$A(j\omega) = \frac{A_o}{(1 + j\omega T)}$$

- se obtiene una nueva función de transferencia con ganancia a frecuencias medias A_{of} y nueva frecuencia de corte $\omega_{c1} = 1 / T$.

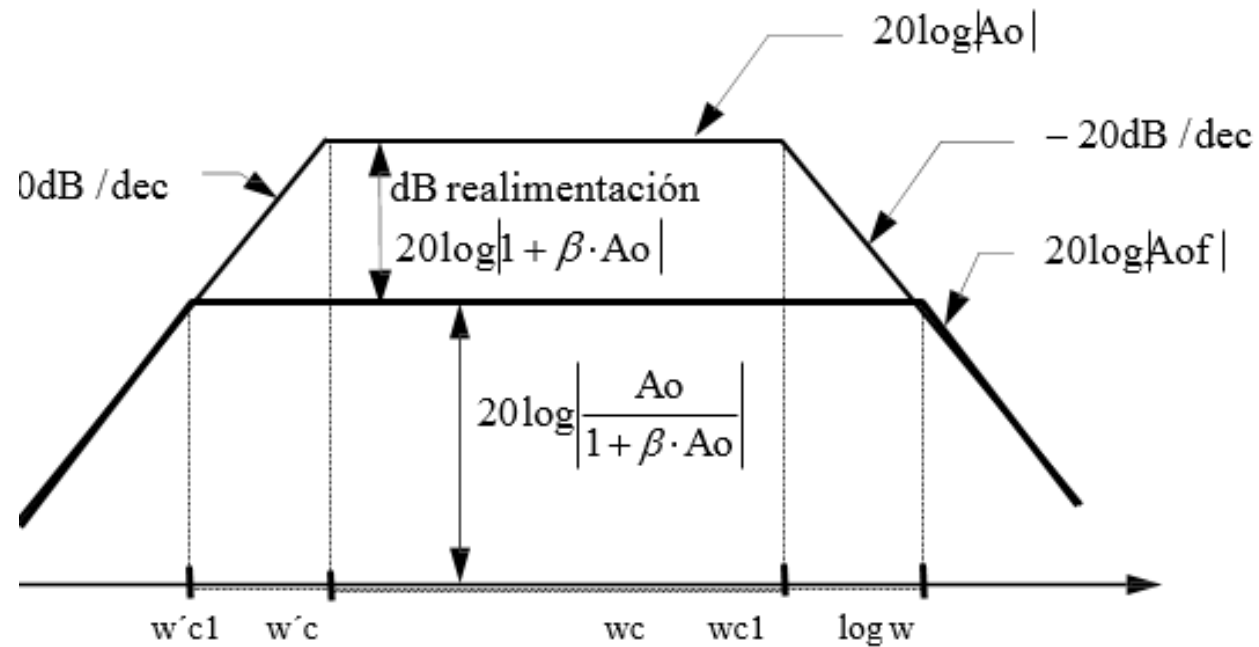
Efecto de la realimentación sobre el ancho de banda (BW)

- Si se realiza un estudio similar para una función de transferencia de la forma (un cero en el origen más un polo):

$$A = \frac{A_o \cdot j\omega}{(1 + j\omega T)}$$

se obtendría el efecto de la realimentación a bajas frecuencias, con una respuesta similar a la obtenida a altas frecuencias.

Efecto de la realimentación sobre el ancho de banda (BW)



Se mantiene constante el producto
ganancia frecuencia de corte:

$$A_{of} \cdot w_{c1} = A_o \cdot w_c$$

Se observa que $A_{of} < A_o$ y $w_{c1} > w_c$,
luego la ganancia cae y la frecuencia de
corte aumenta elevando el ancho de
banda.

Respuesta al escalón unitario

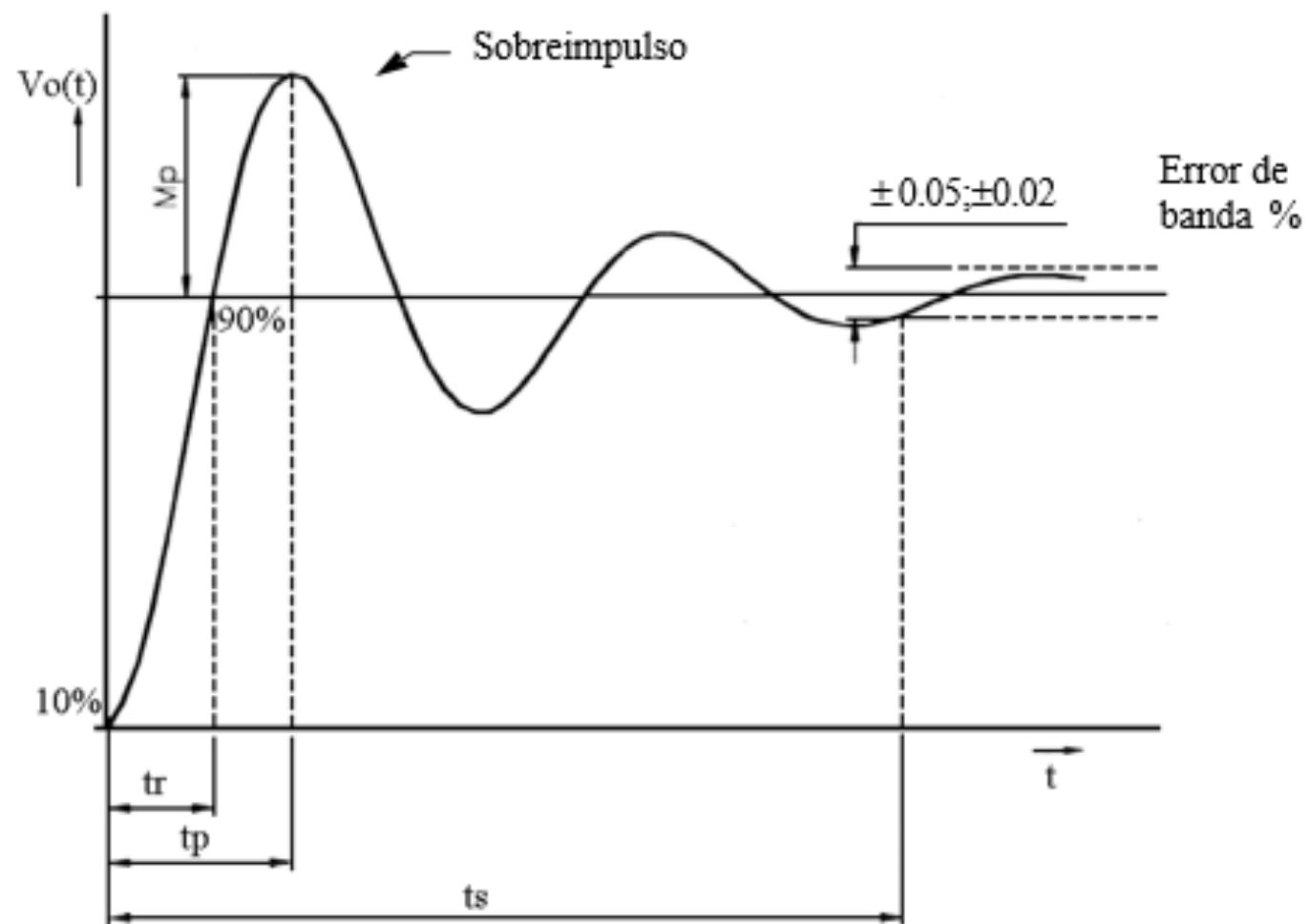
- La respuesta al escalón de este amplificador depende evidentemente del valor del ζ , coeficiente de amortiguamiento. se tienen tres casos:

Subamortiguamiento $\zeta < 1$, amortiguamiento crítico $\zeta = 1$ y sobreamortiguamiento $\zeta > 1$.

$$A(s) = \frac{A_o}{(1+sT_1) \cdot (1+sT_2)}$$

$$A_f(s) = \frac{\frac{A_o}{1+A_o\beta} \cdot \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \cdot \omega_n s + \omega_n^2} = \frac{A_o f \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \cdot \omega_n s + \omega_n^2}$$

Respuesta al escalón unitario



Estabilidad

- En general y de lo visto podemos decir que un sistema (en nuestro caso amplificador) será estable si para cualquier perturbación (ent. escalón por ejemplo), la respuesta transitoria desaparece espontáneamente (se extingue).
- Por el contrario habrá inestabilidad si la perturbación transitoria persiste indefinidamente o aumenta indefinidamente hasta ser limitada por una no linealidad del sistema.

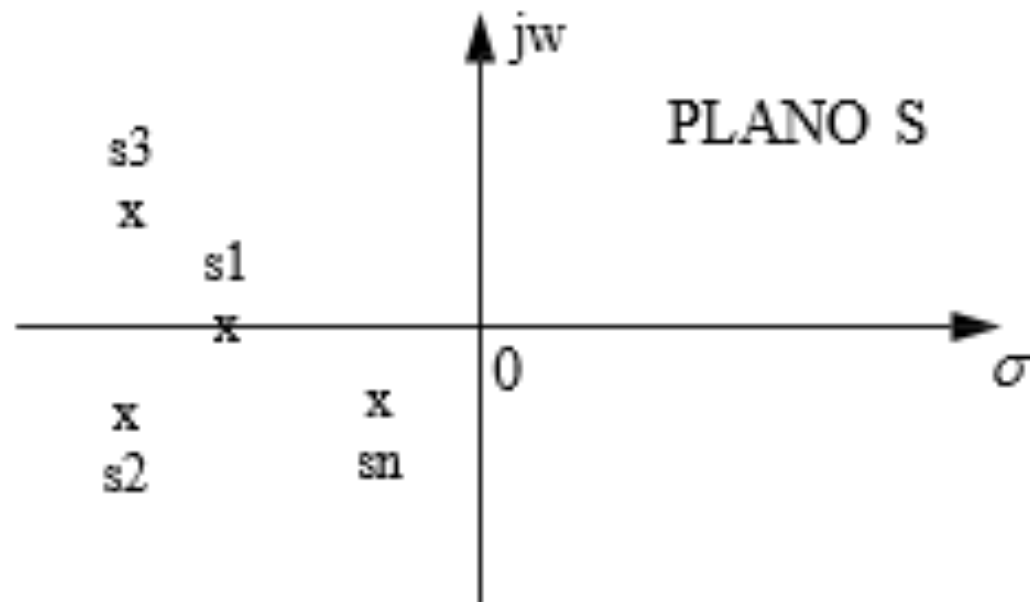
$$A_f(s) = \frac{A}{1 + A\beta}$$

Estabilidad

Luego en conclusión, para la estabilidad los polos (denominador) de $Af(s)$ deben tener soluciones (raíces) negativas.

$$Af(s) = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$$1 + \beta \cdot A = (s - s_1) \cdot (s - s_2) \cdot \dots \cdot (s - s_n)$$



Estabilidad

- Sobre el diagrama de Bode de $A \beta$ (función de transferencia lazo abierto) se definen dos indicadores:

Margen de Ganancia (M.G.)

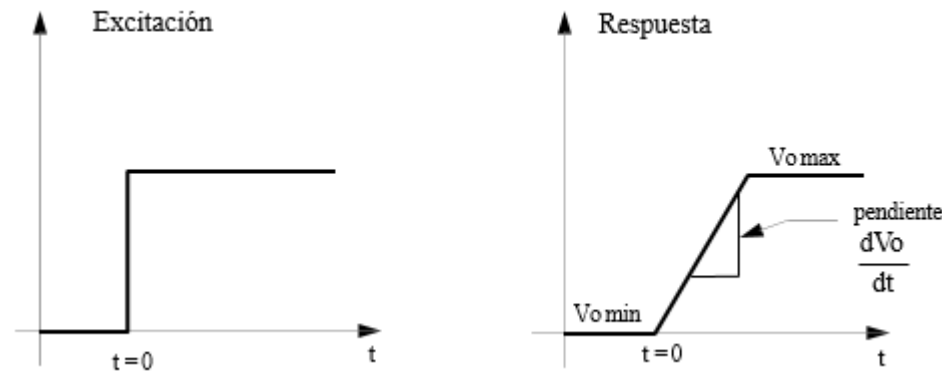
- Es el valor de $\beta \cdot A$ en dB a la frecuencia a la cual el ángulo de fase de $\beta \cdot A$ sea -180° . Si es negativo el sistema realimentado (A_f) será estable; si es positivo no.

Margen de fase (M.F.)

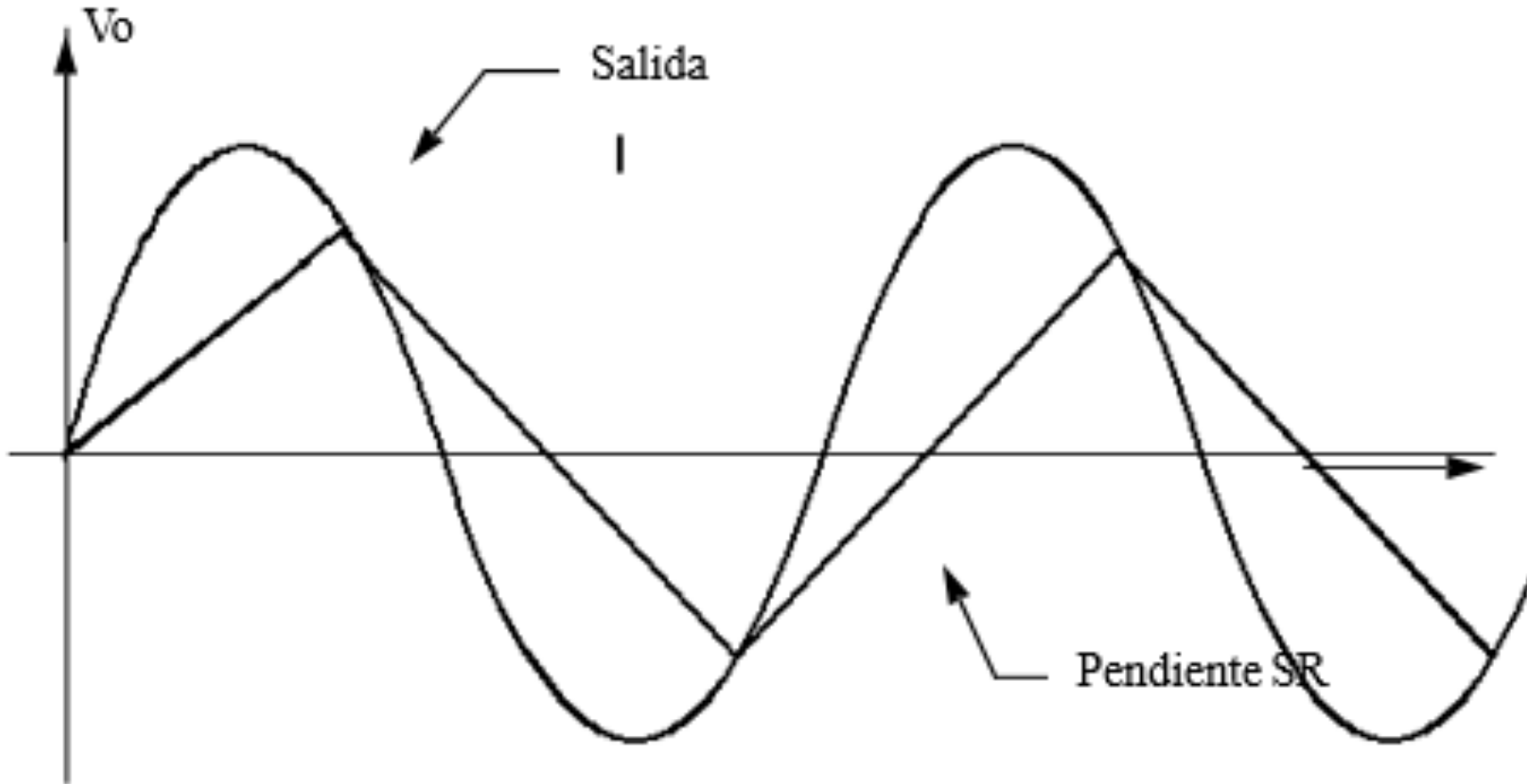
- Se denomina así al valor de ángulo de fase de $\beta \cdot A$ a la frecuencia a la cual la curva de amplitud es “0” dB, $+180^\circ$. Si la curva de fase está por encima del eje de -180° es estable.

Slew Rate

- Si se excita un A.O. con una señal rápida capaz de saturar el amplificador, la salida no responde inmediatamente. La señal de salida crece a una velocidad dV_o / dt determinada por las capacidades y corrientes internas,
- La velocidad máxima de respuesta de una A.O. se denomina Slew rate, y se mide en Voltios partido microsegundos.

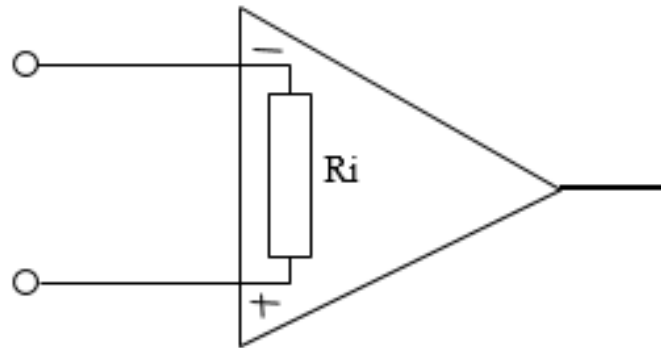


El Slew rate nos indica la relación entre la frecuencia y la amplitud de una señal que puede ser amplificada por el A.O.



Impedancia de entrada (Z_e)

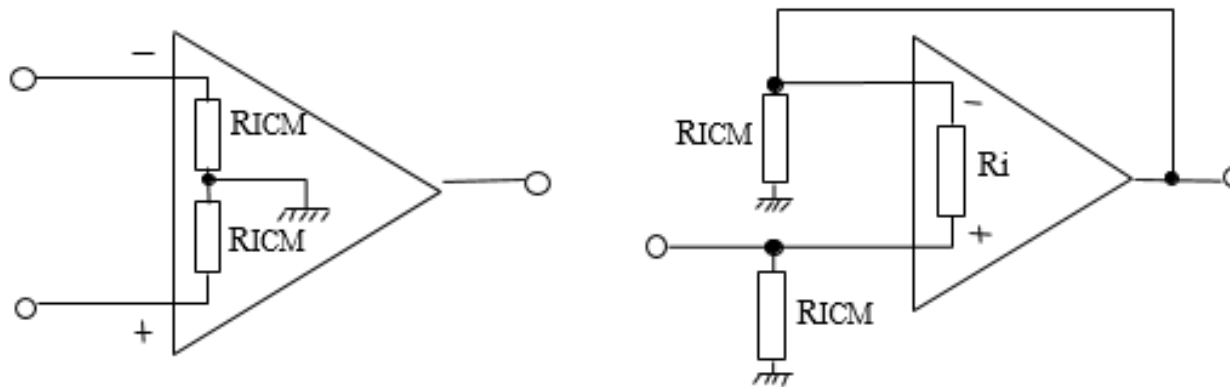
- Impedancia de entrada diferencial:
- Es la que aparece entre los terminales + y - del A.O. Para el caso ideal es ∞ y para el caso real varía según el tipo de amplificador diferencial de entrada que tenga el A.O. Suele ser del orden o superior a $10^5 \Omega$



Impedancia de entrada

Impedancia de entrada en modo común o factor de rechazo del modo común (CCMR):

- Está asociada a las señales de entrada al A.O. que se encuentran entre una entrada y tierra. El orden de magnitud de R_{ICM} es considerablemente mayor que el de la impedancia de entrada diferencial R_i , para los A.O.



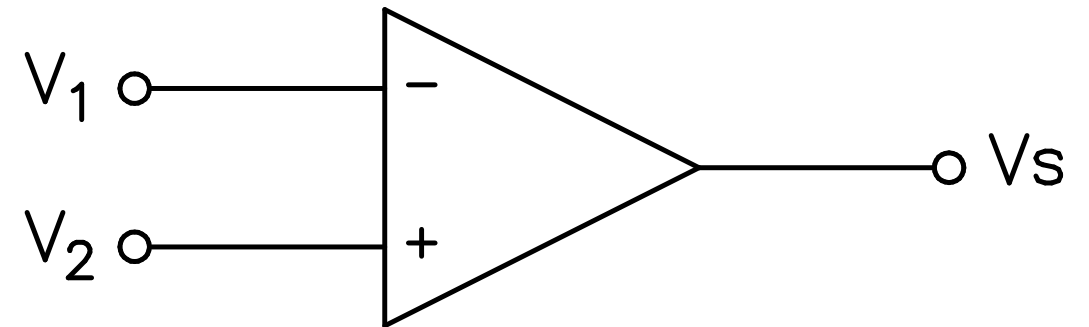
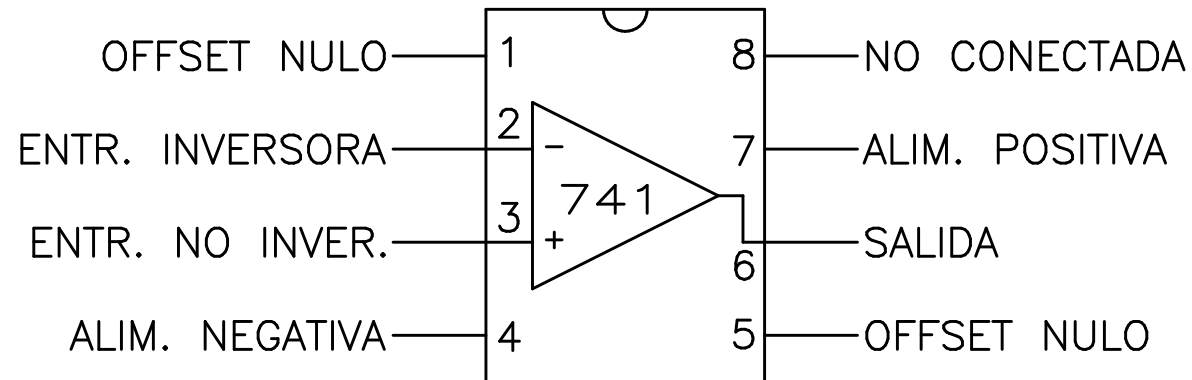
CMRR –factor de rechazo al modo común

- En un A.O ideal la salida es proporcional a la diferencia entre las entradas (amplificador diferencial) $V_o = A_d (V_1 - V_2)$ siendo A_d la ganancia en modo diferencial: $V_o = 0$ si $V_1 = V_2$
- En el A.O. real esto no se cumple y $V_o \neq 0$ si $V_1 = V_2$, se define el factor de rechazo del modo común como:

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} \frac{(\text{ganancia en modo diferencial})}{(\text{ganancia en modo común})}$$

Efectos en circuitos lineales con A.O.

- Efectos de las corrientes de polarización (pgs 22-23 apuntes)
- Efectos de la tensión de offset (pg 24)



Efectos en circuitos lineales con A.O.

- Ganancia en lazo abierto finita (A_{vo}) - pg 25.
- Impedancia de entrada infinita –pg 26
- Impedancia de salida no nula – pg 27.

Fin tema 6

AO no ideal