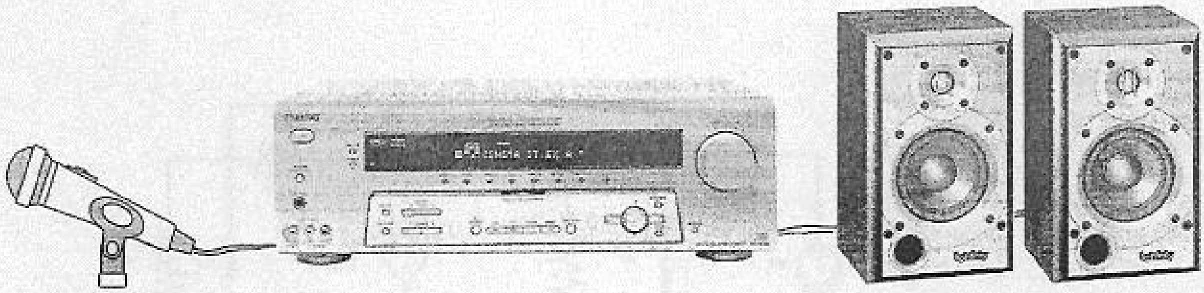
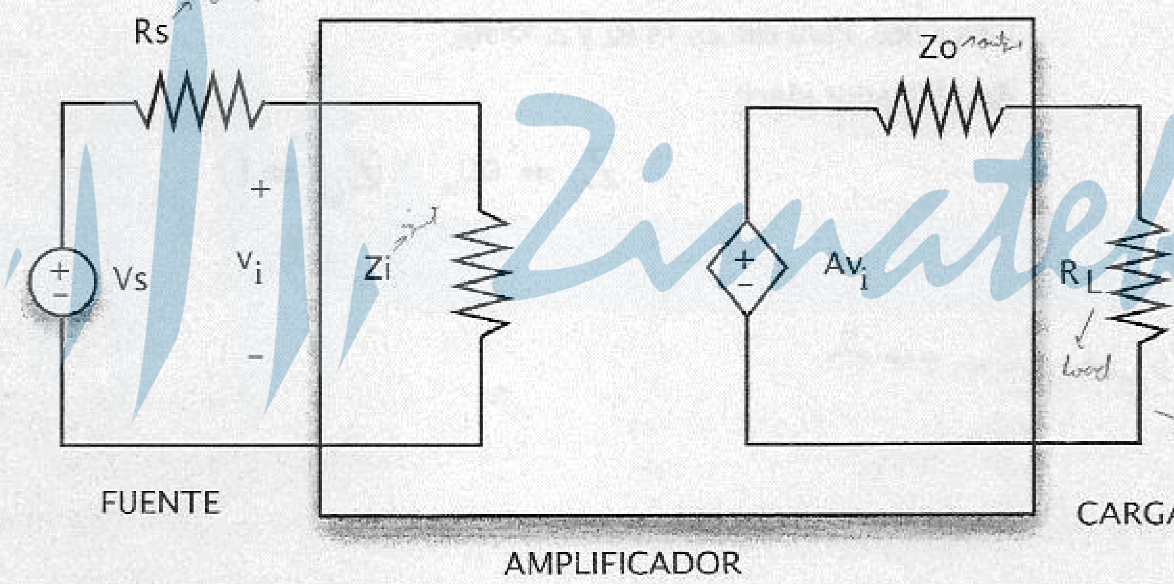
INTRODUCCION A LOS AMPLIFICADORES



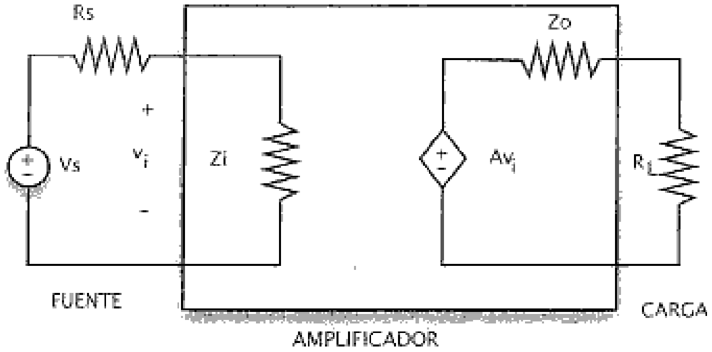
Equivalente Thevenin



No hay fuentes
pq. a la carga
hay fuentes
independientes

Z_i: Impedancia de entrada del amplificador.
A: ganancia intrínseca del amplificador.
Z_o: Impedancia de salida del amplificador

Interpretación de los parámetros **A, Z_i y Z_o.**



$$A_{SYS} = \frac{v_O}{v_S} = A \underbrace{\frac{R_L}{Z_O + R_L}}_{\leq 1} \underbrace{\frac{Z_i}{R_S + Z_i}}_{\leq 1}$$

La ganancia total del sistema será mayor cuánto más próximo a 1 sean las dos fracciones. Para ello $Z_O << R_L$ y $Z_i >> R_S$.

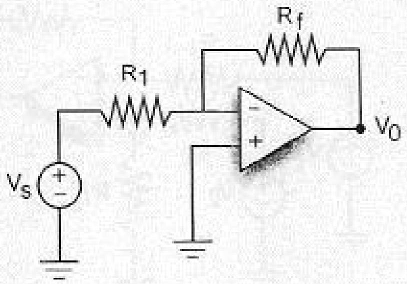
Amplificador ideal:

$$Z_i = \infty, \; Z_O = 0$$

Todo esto se puede aplicar a circuitos

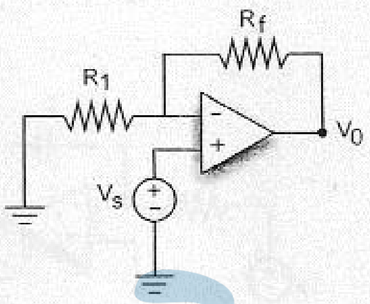
AMPLIFICADORES OPERACIONALES: CIRCUITOS BÁSICOS

1.-Amplificador inversor



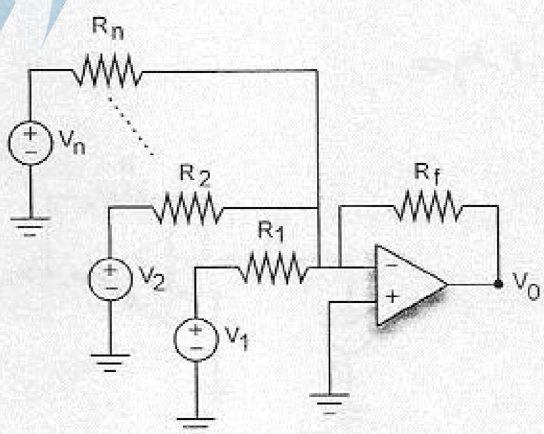
$$A = \frac{v_0}{v_S} = -\frac{R_f}{R_1}$$

2.-Amplificador no inversor → el inversor cambiado de sitio la pila



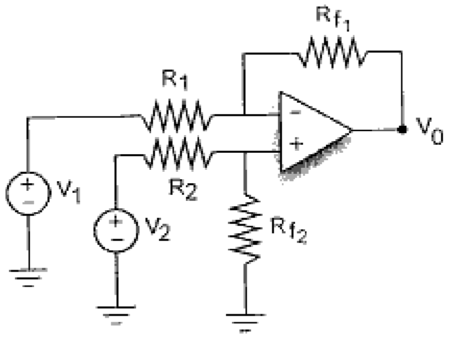
$$A = \frac{v_0}{v_S} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

3.-Sumador // Muchos inversores en paralelo



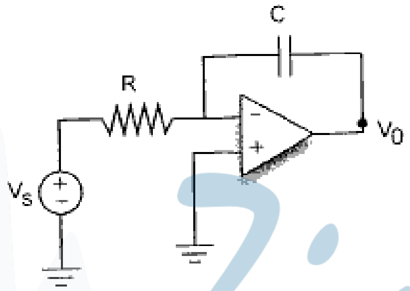
$$v_0 = -R_f\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \ldots + \frac{V_n}{R_n}\right)$$

4.-Amplificador Diferencial → resta al + y al menos en voltaje salida
Amplifica (+) − (−)



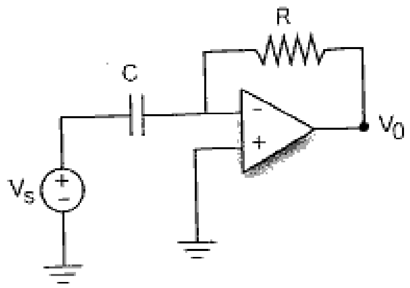
$$A = \frac{v_0}{(v_2 - v_1)} = -\frac{R_f}{R_1} \text{ si se cumple que } \frac{R_{f_1}}{R_1} = \frac{R_{f_2}}{R_2}$$

5.-Integrador → inversor con un condensador en vez de R_f



$$v_0 = -\frac{1}{CR}\int_{t_o}^{T} v_s dt$$

6.-Derivador → contrario al integrador



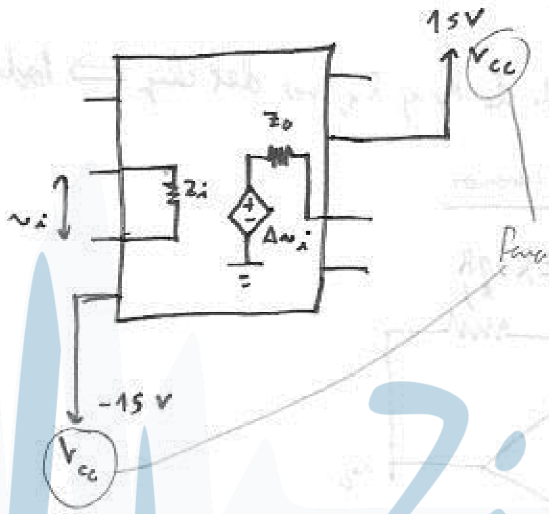
$$v_0 = -CR\frac{dv_S}{dt}$$

7: AMPLIFICADORES

7.2- Amplificador operacional

• El siguiente circuito amplifica muy bien ($Z_i >>>; Z_0 <<<; A >>>$):

$\Updownarrow$ → En el caso del amplificador 741

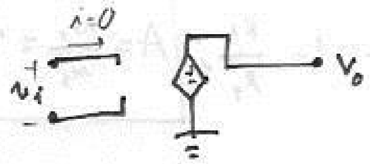


• Su símbolo es: si esto está al revés (▷) $v_o = -Av_i$

$v_o = Av_i$ (en el caso ideal con $Z_o = 0$)

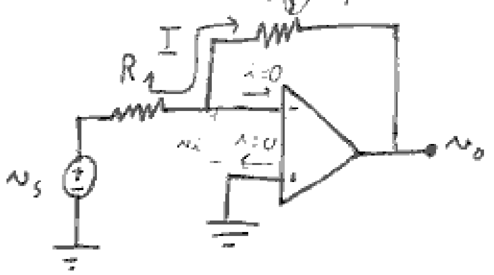
En el caso ideal $\begin{cases} A = \infty \\ Z_i = \infty \\ Z_0 = 0 \end{cases} \Longrightarrow v_i = 0 \; \left(\frac{v_o}{A}\right); \; I_i = 0$

$\Downarrow$



7.3- Aplicaciones

1- AMPLIFICADOR INVERSOR



Como $v_i = 0$, es como si R_1 estuviera a Tierra (cortocircuito virtual). Además, $i = 0$

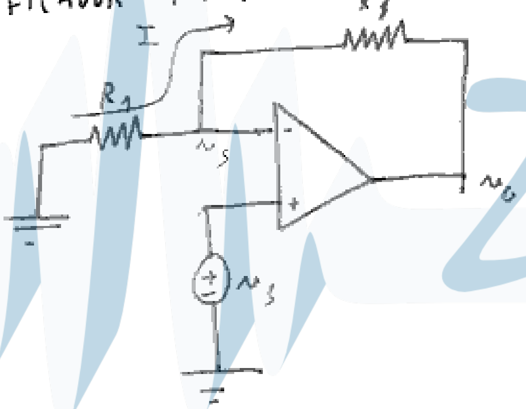
$$\begin{cases} v_s - 0 = I R_1 \\ 0 - v_o = I R_f \end{cases}$$

$$\boxed{\frac{v_o}{v_s} = - \frac{R_f}{R_1}}$$

invierte la fase

- La ganancia sólo depende de R_f y R_1, no del chip ⟹ podemos construir un circuito que amplifique lo que queramos

2- AMPLIFICADOR NO-INVERSOR

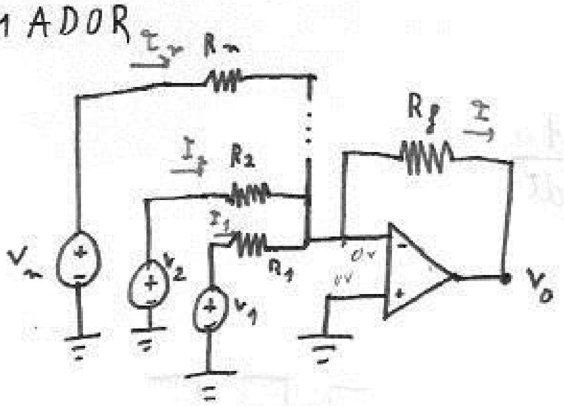


$$\begin{cases} v_s - 0 = -I R_1 \\ v_o - v_s = -I R_f \end{cases}$$

$$\frac{v_o - v_s}{v_s} = \frac{R_f}{R_1}$$

$$\frac{v_o}{v_s} - 1 = \frac{R_f}{R_1} \; ; \; \boxed{A = \frac{v_o}{v_s} = 1 + \frac{R_f}{R_1}}$$

3- SUMADOR



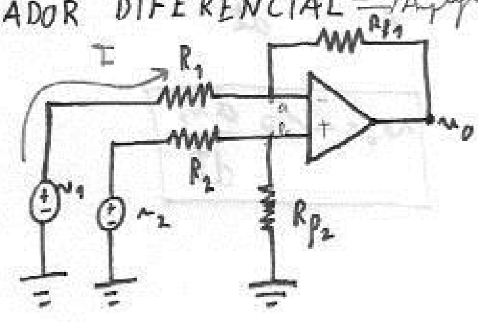
$$\begin{cases} V_0 - 0 = -I R_f \\ V_1 - 0 = I_1 R_1 ; I_1 = \frac{V_1}{R_1} \\ V_2 - 0 = I_2 R_2 ; I_2 = \frac{V_2}{R_2} \\ \vdots \\ V_n - 0 = I_n R_n ; I_n = \frac{V_n}{R_n} \\ I = \sum_{i=1}^{n} I_i \Rightarrow I = \sum_{i=1}^{n} \frac{V_n}{R_n} \end{cases}$$

$\Downarrow$ Ab 1ª

$$V_0 = -R_f \sum_{i=1}^{n} \frac{V_n}{R_n}$$

$$\boxed{V_0 = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)}$$

4- AMPLIFICADOR DIFERENCIAL $\Rightarrow$ Amplifica diferencia de tensiones



$$v_a = v_e = v_2 \frac{R_{f_2}}{R_2 + R_{f_2}}$$

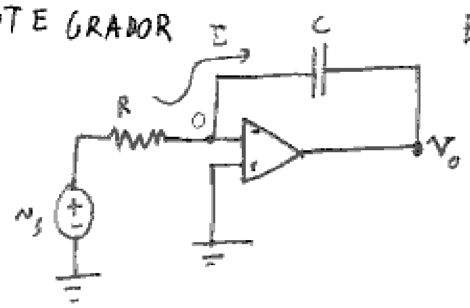
División de Tensión

$$\begin{cases} v_1 - v_a = I R_1 \\ v_a - v_0 = I R_{f_1} \end{cases}$$

$(\dots)$

$$\frac{R_{f_1}}{R_1} = \frac{R_{f_2}}{R_2} \Rightarrow \boxed{\frac{v_0}{v_2 - v_1} = -\frac{R_{f_1}}{R_1}}$$

5- INTEGRADOR

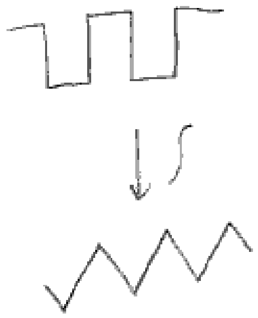


En condensador: $Q = C v$

$$\Downarrow$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = C\frac{dv}{dt}$$

$$\begin{cases} C\dfrac{dv_o}{dt} = -I \\ v_s - 0 = I \cdot R \end{cases}$$

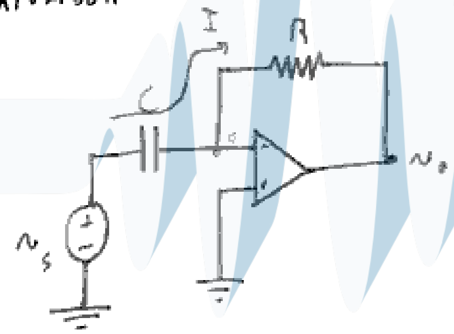


$$\frac{v_s}{R} = -C\frac{dv_o}{dt}$$

$$\int dv_o = \int -\frac{v_s}{CR}\,dt$$

$$\boxed{v_o = -\frac{1}{CR}\int_{t_0}^{t} v_s\,dt}$$

6- DERIVADOR



$$\begin{cases} I = C\dfrac{dv_s}{dt} \\ v_o - 0 = -IR \end{cases}$$

$$-\frac{v_o}{R} = C\frac{dv_s}{dt}$$

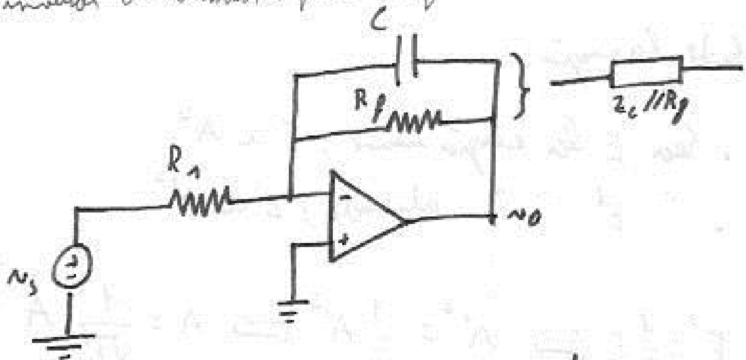
$$\boxed{v_o = -CR\frac{dv_s}{dt}}$$

APLICACIONES CON AMPLIFICADOR OPERACIONAL

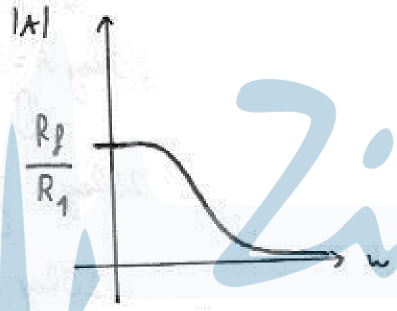
FILTROS ACTIVOS

- Hacemos filtros, no pasivos, sino activos (además de filtrar amplifican)

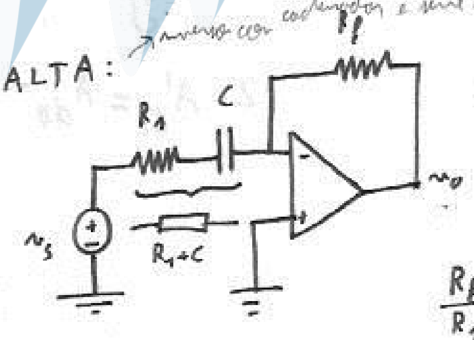
PASA-BAJA: inversor con condensador en paralelo a R_f



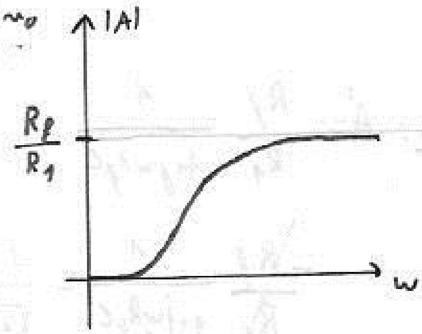
Esto es un inversor: $A = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{Z_c // R_f}{R_1} = \frac{-\frac{\frac{1}{j\omega C} R_f}{\frac{1}{j\omega C} + R_f}}{R_1} = \boxed{-\frac{R_f}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega C R_f} = \frac{v_o}{v_s}}$



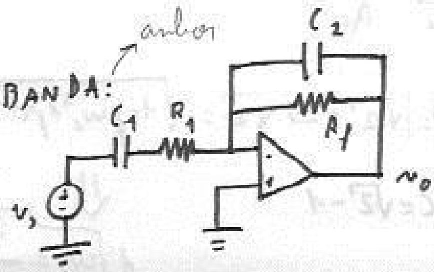
PASA-ALTA: inversor con condensador en serie con R_1



$A = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{R_f}{R_1 + Z_c} = -\frac{R_f}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} = \boxed{-\frac{j\omega C R_f}{1 + j\omega C R_1} = \frac{v_o}{v_s}}$



PASA-BANDA: ambos



C_1 y C_2 varían la banda

• **FRECUENCIA DE CORTE** $\equiv$ frecuencia a la cual la señal ha perdido 3 dB (ingeniería)

$\equiv$ " " " " " " " $\frac{1}{2}$ de su energía (física)

$\equiv$ " " " " " " " ≈ 30% de amplitud

Ambas son equivalentes:

$$3dB = 3 \cdot 20 \cdot \log A \text{ (salvo cte.)}$$

Partiremos de todo la energía:

. Sea E la energía inicial ; $E \propto A^2$

. " E' " " atenuada ; $E' \propto A'^2$

$$E' = \frac{1}{2}E \iff A'^2 = \frac{1}{2}A^2 \iff A' = \overbrace{\frac{1}{\sqrt{2}}}^{\approx 0'7} A$$

$\Updownarrow$ → [illegible]

$$20 \log A' = 20 \log \frac{1}{\sqrt{2}} A$$
$$\Updownarrow$$
$$20 \log A' = 20 (\log A - \log \sqrt{2})$$
$$\Updownarrow$$
$$20 \log A' = 20 \log A - 20 \cdot \frac{1}{2} \log 2$$
$$\Updownarrow$$
$$20 \log A' = 20 \log A - 10 \underbrace{\log 2}_{0'3010}$$
$$\Updownarrow$$
$$A'_{dB} \simeq A_{dB} - 3 \qquad \text{CQD}$$

- **Filtro paso bajo**: $A' = -\frac{R_f}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega R_f C}$

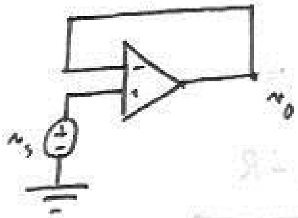
$$\cancel{-\frac{R_f}{R_1}} \frac{1}{1 + j\omega_c R_f C} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cancel{-\frac{R_f}{R_1}}$$

[illegible]

$$|1 + j\omega_c R_f C| = |\sqrt{2}| \Rightarrow \sqrt{2} = \sqrt{1 + \omega_c^2 R_f^2 C^2}$$
$$\Downarrow$$
$$\boxed{\omega_c = \frac{1}{C R_f}} \Rightarrow \text{Diseño el filtro moviendo } C \text{ y } R_f$$

SEGUIDOR DE TENSIÓN

· Tiene la misma v en entrada y salida



Es un no inversor con resistencias:

· $R_1 = \infty$

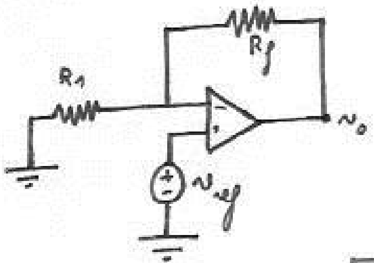
· $R_f = 0 \implies A = v_0/v_s = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 = \frac{v_0}{v_s}$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{v_0 = v_s}$$

· La utilidad es la siguiente: en realidad las fuentes tienen una limitación (una pila de 1'5 V no es capaz de dar 1'5 A) $\implies$ el seguidor de tensión, al tener diferentes alimentaciones internas, es capaz de dar cualquier corriente (prácticamente): va a mantener la tensión y amplía el rango de corrientes al que pueda trabajar la pila.

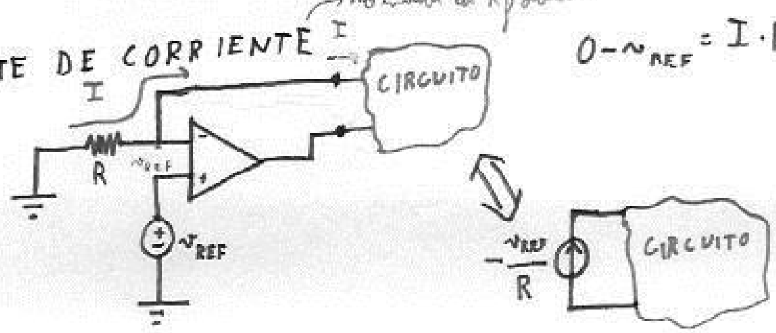
FUENTE DE TENSIÓN: si sólo tengo una pila, pero quiero otro voltaje.



· Es un amplificador no inversor: $\boxed{v_0 = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) v_{ref}}$

FUENTE DE CORRIENTE

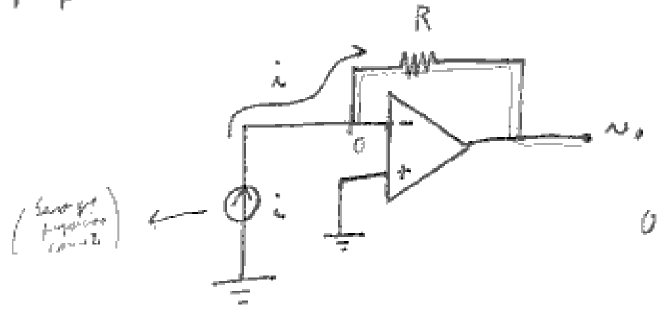
No varía en R polarizado



$0 - v_{REF} = I \cdot R \implies \boxed{I = -\frac{v_{REF}}{R}}$ que no depende del circuito en sí!!

CONVERSOR CORRIENTE-TENSIÓN

. Útil porque muchos sensores proporcionan corriente y queremos leer la tensión.

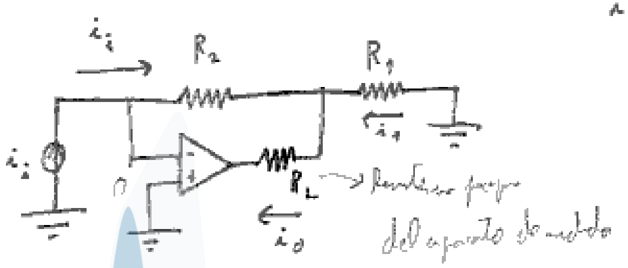


$$0 - v_o = iR$$

$$\boxed{v_o = -iR}$$

AMPLIFICADOR DE CORRIENTE

. Amplifica corriente



$$i_o = i_i + i_1$$

$$0 - 0 = i_i R_2 - i_1 R_1$$

$$\Downarrow$$

$$i_1 = i_i \frac{R_2}{R_1}$$

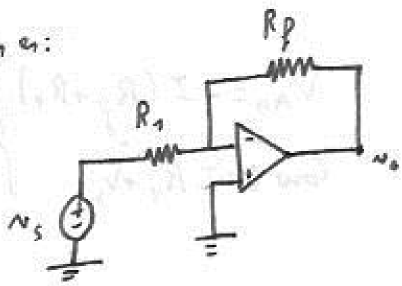
$$i_o = i_i + i_1 = i_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\boxed{A_I = \frac{i_o}{i_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

¡que sólo depende del amplificador, no del aparato de medida!!

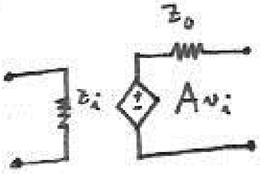
IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA DE UN AMPLIFICADOR

. El amplificador inversor es:



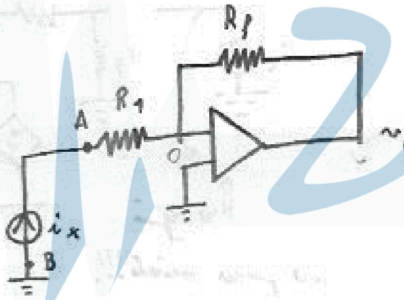
$$A = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{R_f}{R_1}$$

Como es un amplificador, se puede sustituir por el modelo que vimos al principio del tema:



Esto es el equivalente Thevenin. Para calcular las Z:

$\underline{Z_i}$:



$V_{AB} = i_x Z_i + V_{TH}$

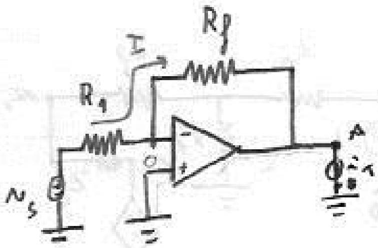
Por cortocircuito virtual:

$V_{AB} = i_x R_1$

$\Downarrow$

$$\boxed{Z_i = R_1}$$

$\underline{Z_o}$:



$v_s = I R_1$

$V_{AB} = -I R_f$

$\Downarrow$

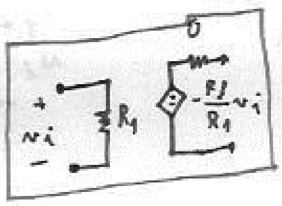
$V_{AB} = -v_s \frac{R_f}{R_1} \Rightarrow$ No aparece i_x!!!

$\Downarrow$

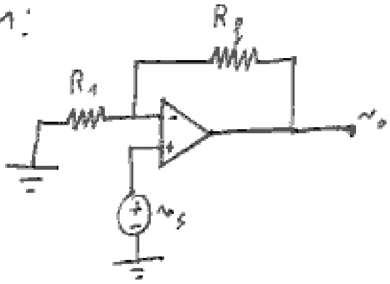
Me queda sólo V_{TH}, ya que

$$\boxed{Z_o = 0}$$

$(i_x R_{TH} = 0 \Rightarrow R_{TH} = Z_o = 0)$

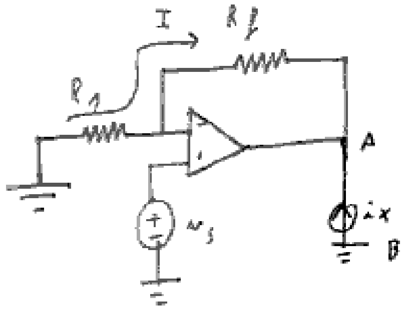


· El no inversor:



$$A = 1 + \frac{R_f}{R_1} = \frac{v_o}{v_s}$$

· Z_o:



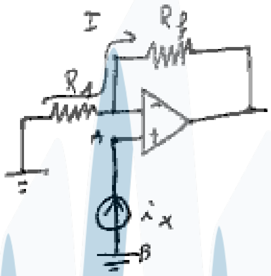
$$\left.\begin{array}{l} V_{AB} = -I(R_f + R_1) \\ \text{Como } 0 = I R_1 + V_s \end{array}\right\} \Rightarrow V_{AB} = -\frac{V_s}{R_1}(R_f + R_1)$$

→ No depende de i_x!!!

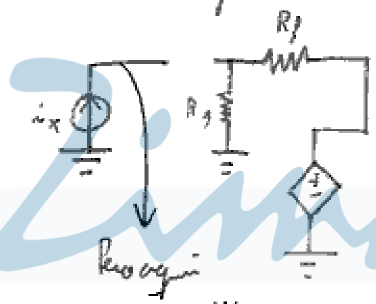
$$\Downarrow$$

$$\boxed{Z_o = 0}$$

· Z_i:

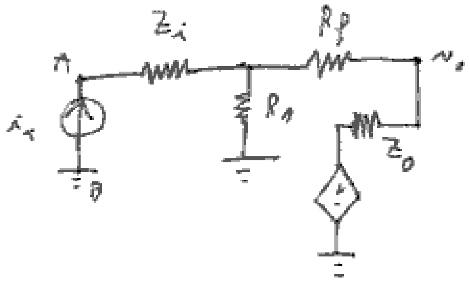


⟹ Es un circuito mal definido:



Pero aquí no pasa corriente!!!

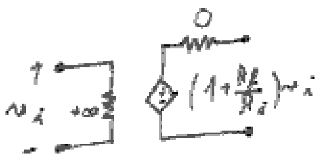
Esto es resultado de idealizar el amplificador operacional. En realidad es:



$$V_{AB} = i_x Z_i + \ldots = i_x \underbrace{(Z_i + \ldots)}_{R_{TH}} + \ldots$$

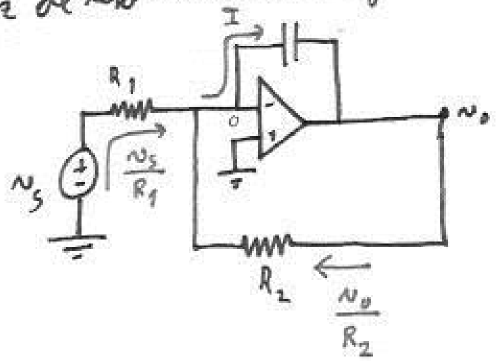
Como $Z_i \to +\infty$, $R_{TH} \to +\infty$

$$\boxed{Z_i = +\infty}$$



CÁLCULO ANALÓGICO

· Este chip es capaz de resolver ecuaciones diferenciales. Por ejemplo:



$$I = C\frac{d(0-v_0)}{dt} = -C\dot{v}_0$$

Pero $I = \frac{v_s}{R_1} + \frac{v_0}{R_2}$

$$-C\dot{v}_0 = \frac{v_s}{R_1} + \frac{v_0}{R_2}$$

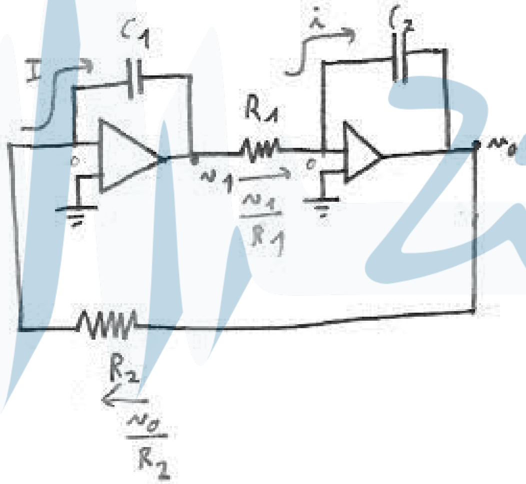
$$\boxed{C\dot{v}_0 + \frac{v_0}{R_2} + \frac{v_s}{R_1} = 0}$$

$\Downarrow$

¡Una ED!!!

– Si llevo v_0 a un plotter, tendré dibujada la solución

· Otro ejemplo:



$I = -C\dot{v}_1$
$I = \frac{v_0}{R_2}$ $\Rightarrow$ $-C\dot{v}_1 = \frac{v_0}{R_2}$

$i = -C_2\dot{v}_0$
$i = \frac{v_1}{R_1}$ $\Rightarrow$ $\frac{v_1}{R_1} = -C_2\dot{v}_0 = -C_1(-R_1C_2\ddot{v}_0$

$$\boxed{v_0 = C_1C_2R_1R_2\ddot{v}_0}$$

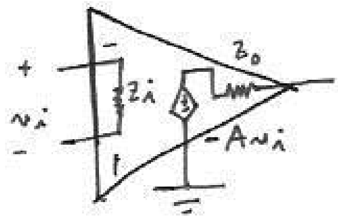
Con un inversor tengo el oscilador armónico

AMPLIFICADOR OPERACIONAL REAL

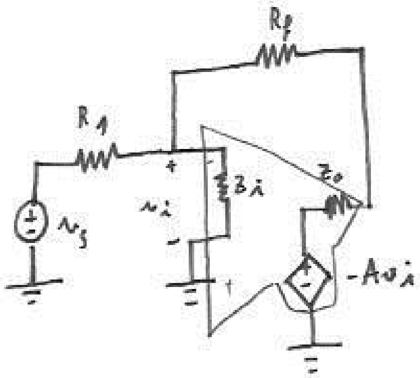
· Ahora $Z_i < \infty$

$Z_o > 0$

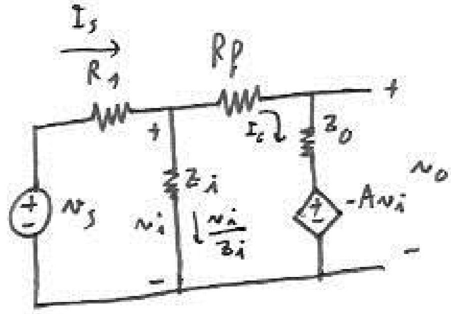
$A < \infty$



Veamos un inversor:



$\Longleftrightarrow$



$$\begin{cases} 0 = I_s \cdot R_1 + v_i - v_s \\ 0 = I_0 R_p + I_0 Z_o - A v_i - v_i \\ I_s - \frac{v_i}{Z_i} = I_o \end{cases}$$

(...)

$$\boxed{\frac{v_o}{v_s} = \frac{Z_i R_p (Z_o - A R_p)}{(R_p + Z_o)(R_1 R_p + Z_i R_p + Z_i R_1) - R_1 Z_i (Z_o - A R_p)}}$$

Si $A \to +\infty$, $\frac{v_o}{v_s} = \frac{-Z_i R_f^2}{R_1 Z_i R_p} = -\frac{R_p}{R_i}$, recuperamos el caso ideal