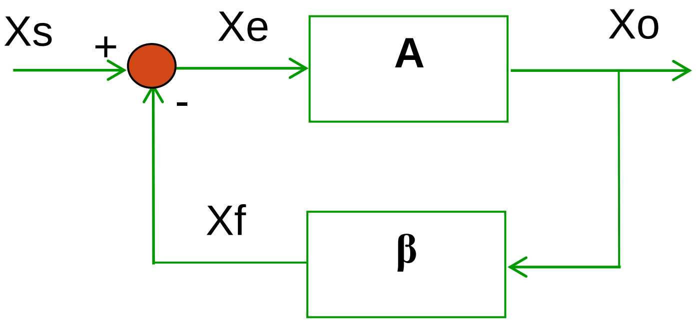
Circuitos Electrónicos I

Amplificadores Operacionales Realimentados

AMPLIFICADORES DE GANANCIA INFINITA REALIMENTADOS



$$\boxed{A_r \equiv \frac{Xo}{Xs} = \frac{A}{1+T} = \frac{A}{1+\beta \cdot A}}$$

$$\frac{A}{A_r} = 1 + T = 1 + \beta \cdot A$$

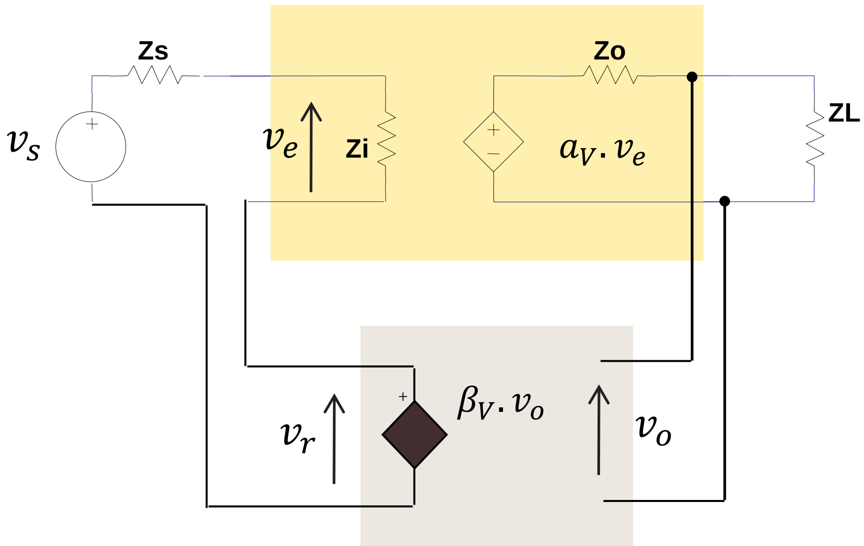
Si utilizamos un amplificador A con una ganancia mucho mayor a la Ar que deseamos:

$$\frac{A}{A_r} = 1 + T = 1 + \beta \cdot A \gg 1 \qquad 1 \ll 1 + \beta \cdot A \cong \beta \cdot A$$

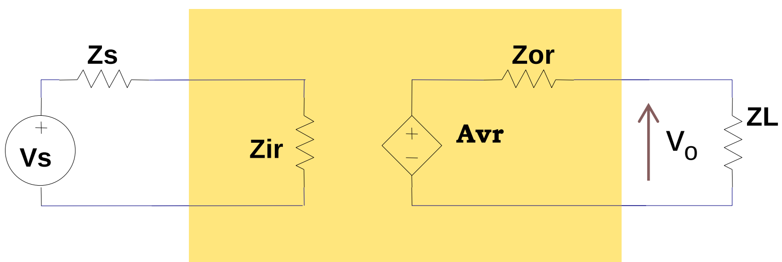
De lo que resulta: $\boxed{\beta \cong \frac{1}{A_r}}$ $\boxed{A_r \cong \frac{1}{\beta}}$

Es decir, la ganancia realimentada pasa a depender casi exclusivamente de β, siendo extremadamente insensible a no linealidades y variaciones paramétricas de A.

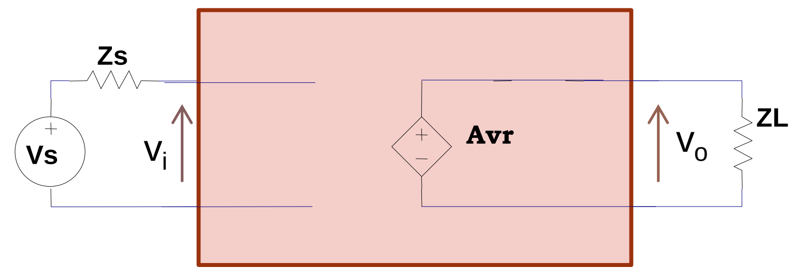
AMPLIFICADOR DE TENSIÓN DE GANANCIA INFINITA REALIMENTADO



$$\left.\begin{aligned} A_{Vr} &= \frac{a_V}{1 + a_V \cdot \beta_V} \\ Z_{ir} &\cong z_i(1 + a_V \cdot \beta_V) \\ Z_{or} &\cong \frac{z_o}{(1 + a_V \cdot \beta_V)} \end{aligned}\right\} \xrightarrow{a_V\to\infty} \left\{\begin{aligned} A_{Vr} &= \frac{1}{\beta_V} \\ Z_{ir} &= \infty \\ Z_{or} &= 0 \end{aligned}\right.$$

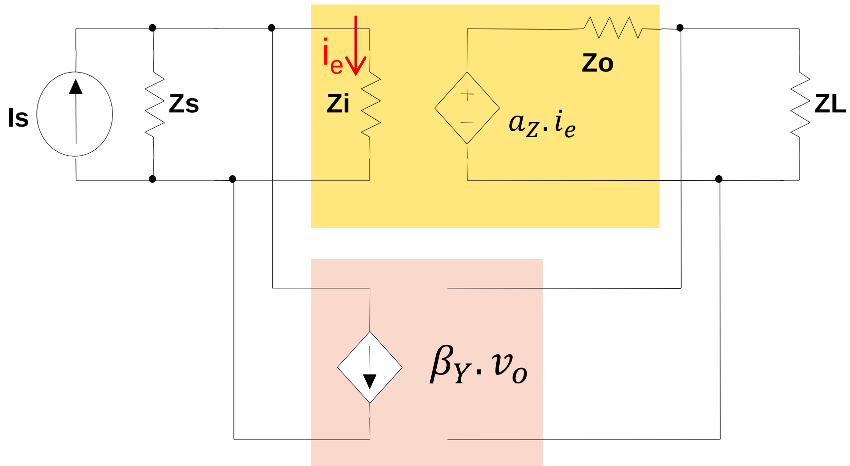


$$\xrightarrow{a_V\to\infty}$$

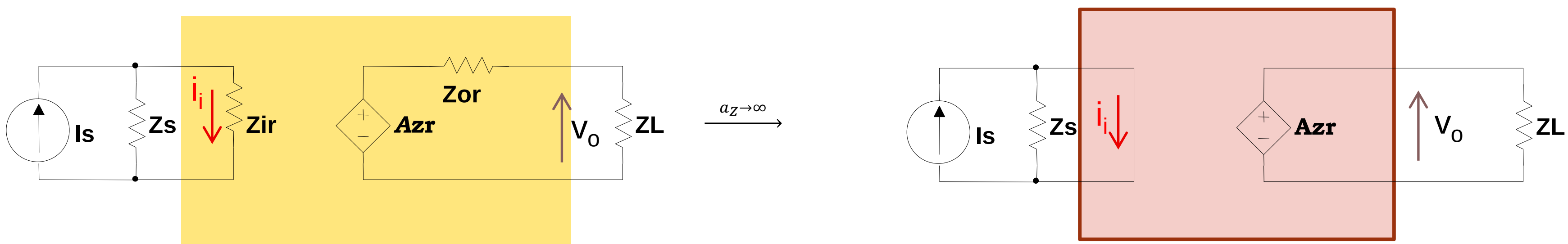


Si un amplificador de ganancia infinita es realimentado en la topología serie-paralelo, se obtiene un amplificador de tensión ideal (insensible a cargas externas) con ganancia impuesta exclusivamente por la red de realimentación.

AMPLIFICADOR DE TRANS-IMPEDANCIA DE GANANCIA INFINITA REALIMENTADO

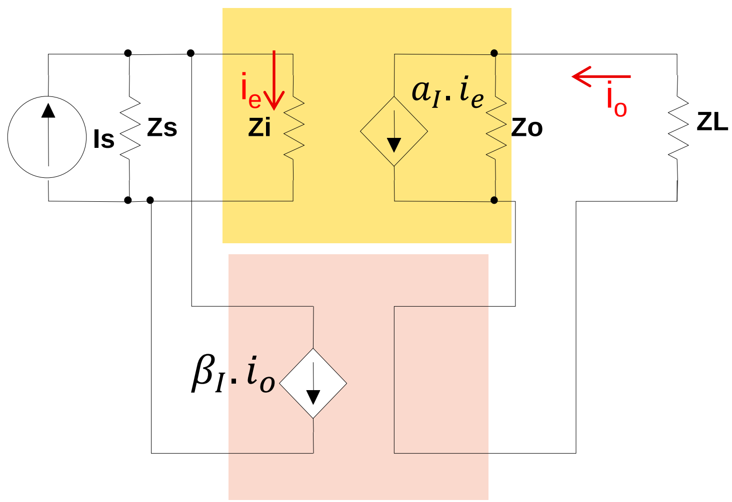


$$\left.\begin{aligned} A_{Zr} &= \frac{a_Z}{1 + a_Z \cdot \beta_Y} \\ Z_{ir} &\cong \frac{z_i}{(1 + a_Z \cdot \beta_Y)} \\ Z_{or} &\cong \frac{z_o}{(1 + a_Z \cdot \beta_Y)} \end{aligned}\right\} \xrightarrow{a_Z \to \infty} \begin{cases} A_{Zr} = \dfrac{1}{\beta_Y} \\ Z_{ir} = 0 \\ Z_{or} = 0 \end{cases}$$

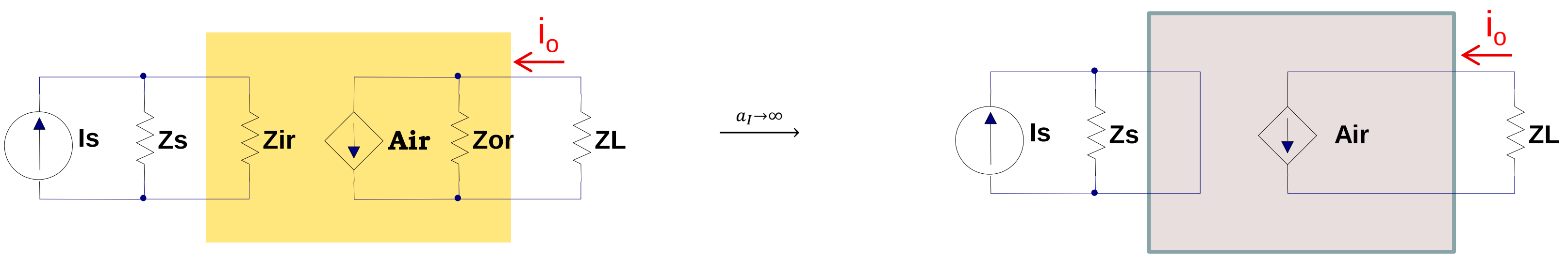


Si un amplificador de ganancia infinita es realimentado en la topología paralelo-paralelo, se obtiene un amplificador de trans-impedancia ideal (insensible a cargas externas) con ganancia impuesta exclusivamente por la red de realimentación.

AMPLIFICADOR DE CORRIENTE DE GANANCIA INFINITA REALIMENTADO

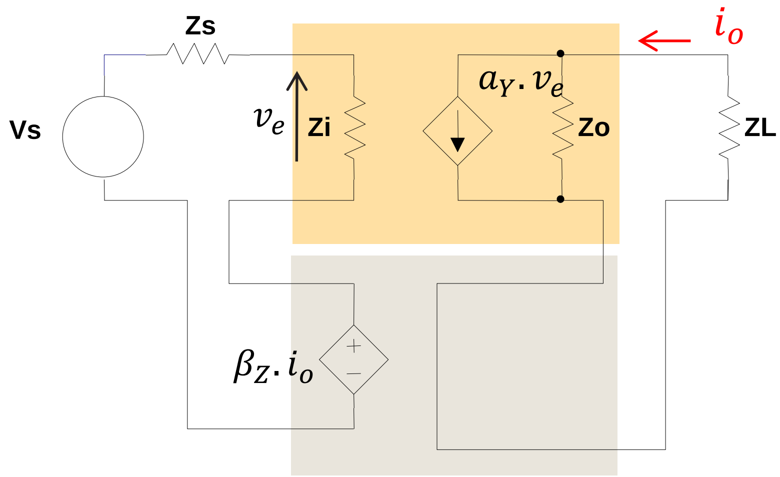


$$\left.\begin{aligned} A_{Ir} &= \frac{a_I}{1 + a_I \cdot \beta_I} \\ Z_{ir} &\cong \frac{z_i}{(1 + a_I \cdot \beta_I)} \\ Z_{or} &\cong z_o(1 + a_I \cdot \beta_I) \end{aligned}\right\} \xrightarrow{a_I \to \infty} \begin{cases} A_{Ir} = \dfrac{1}{\beta_I} \\ Z_{ir} = 0 \\ Z_{or} = \infty \end{cases}$$

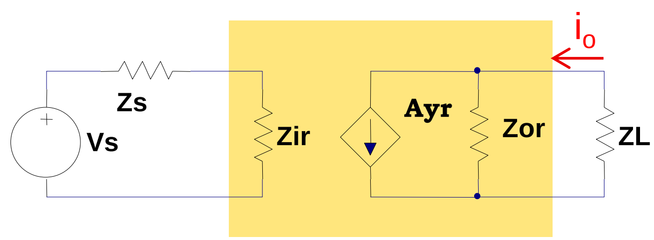


Si un amplificador de ganancia infinita es realimentado en la topología paralelo-serie, se obtiene un amplificador de corriente ideal (insensible a cargas externas) con ganancia impuesta exclusivamente por la red de realimentación.

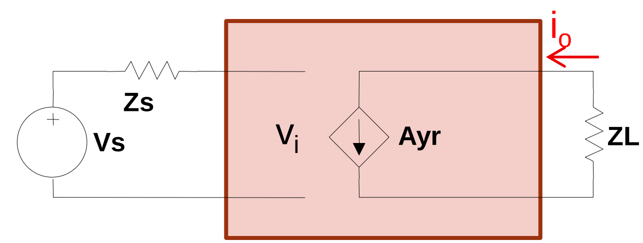
AMPLIFICADOR DE TRANS-ADMITANCIA DE GANANCIA INFINITA REALIMENTADO



$$\left.\begin{aligned} A_{Yr} &= \frac{a_Y}{1 + a_Y \cdot \beta_Z} \\ Z_{ir} &\cong z_i(1 + a_Y \cdot \beta_Z) \\ Z_{or} &\cong z_o(1 + a_Y \cdot \beta_Z) \end{aligned}\right\} \xrightarrow{a_Y \to \infty} \left\{\begin{aligned} A_{Yr} &= \frac{1}{\beta_Z} \\ Z_{ir} &= \infty \\ Z_{or} &= \infty \end{aligned}\right.$$



$$\xrightarrow{a_Y \to \infty}$$



Si un amplificador de ganancia infinita es realimentado en la topología serie-serie, se obtiene un amplificador de trans-admitancia ideal (insensible a cargas externas) con ganancia impuesta exclusivamente por la red de realimentación.

EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL DE GANANCIA INFINITA

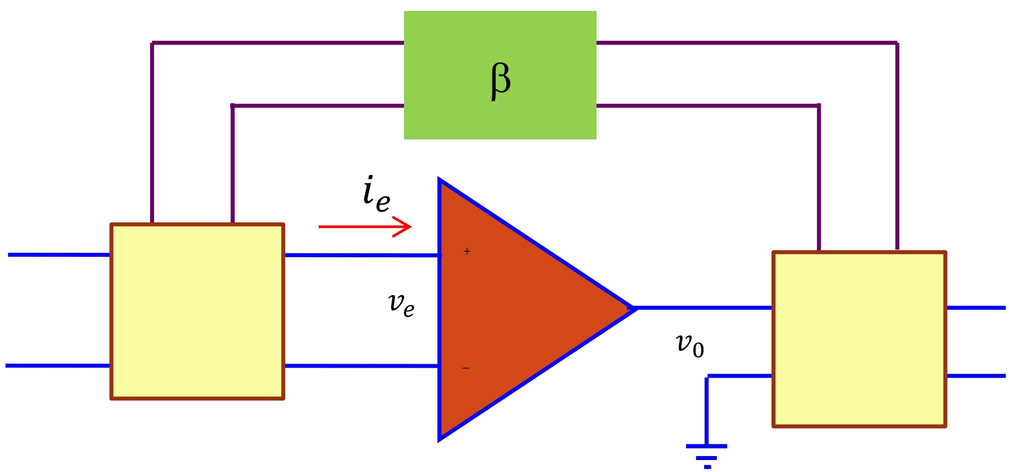
En muchas aplicaciones, el A.O. trabajará dentro de un lazo con realimentación negativa

Su señal de salida vo será finita aún cuando a = ∞

En ese caso la tensión de entrada será $V_e = v_0/a \rightarrow 0$

y la corriente de entrada $i_e \rightarrow 0$, dado que R_i es no nula

La entrada del A.O. con a = ∞ representa un cortocircuito para las tensiones y un circuito abierto para las corrientes

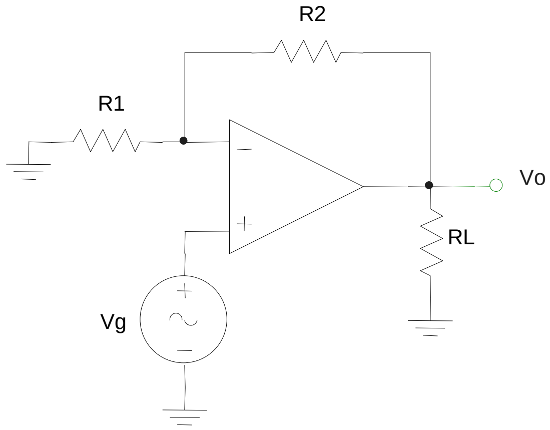


Condición de ganancia infinita:

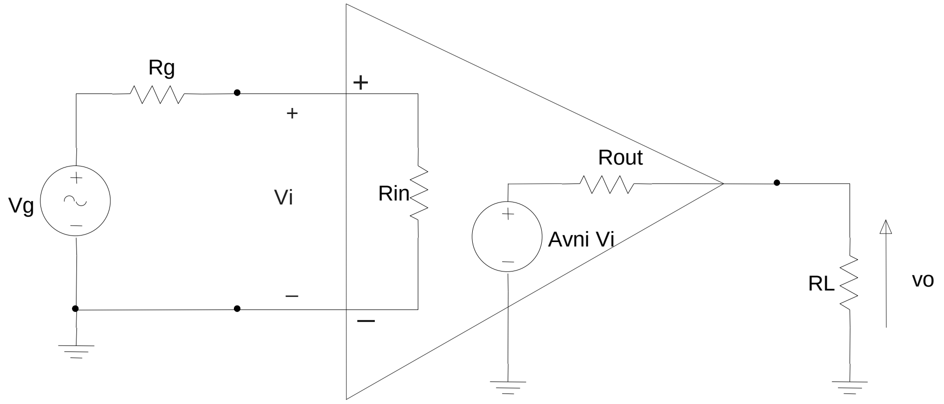
$v_e = 0$

$i_e = 0$

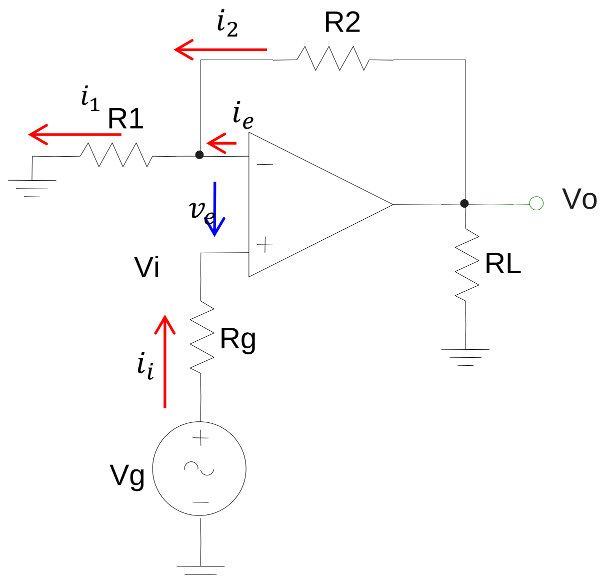
LA CONFIGURACIÓN NO INVERSORA (AMPLIFICADOR OPERACIONAL DE TENSIÓN)



Topológicamente es un amplificador realimentado de tensión.
Se espera una ganancia de tensión impuesta x la realimentación R2-R1, alta resistencia de entrada y baja resistencia de salida



LA CONFIGURACIÓN NO INVERSORA (AMPLIFICADOR OPERACIONAL DE TENSIÓN)



Condición de ganancia infinita:

$v_e = 0$

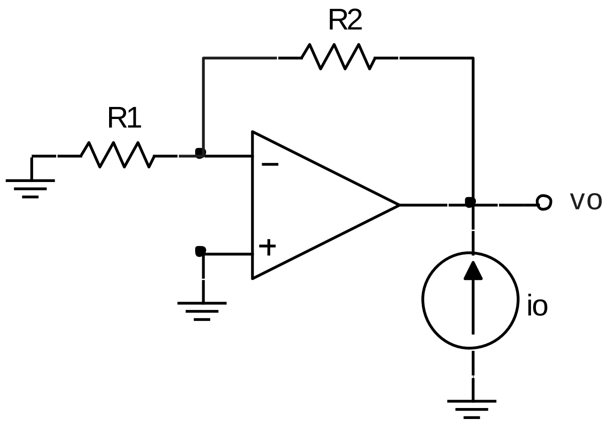
$i_e = 0$

Ganancia de tensión:

$$\left.\begin{aligned} i_e &= 0 \rightarrow i_1 = i_2 \\ v_e &= 0 \rightarrow v^- = v_i \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{pmatrix} i_2 = i_1 = {}^{v_i}/_{R_1} \\ v_0 = v_i + i_2 R_2 \end{pmatrix} \Rightarrow \quad A_{VNI} = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Resistencia de entrada: $i_i = 0 \Rightarrow \quad R_{in} = \dfrac{v_i}{i_i} = \infty$

LA CONFIGURACIÓN NO INVERSORA (AMPLIFICADOR OPERACIONAL DE TENSIÓN)



Condición de ganancia infinita:

$v_e = 0$

$i_e = 0$

$$A_{VNI} = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_{in} = \frac{v_i}{i_i} = \infty$$

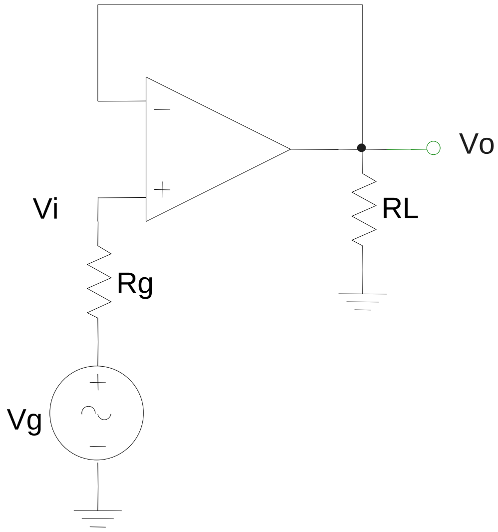
Resistencia de salida:

$$\left.\begin{array}{l} i_e = 0 \rightarrow i_1 = i_2 \\ v_e = 0 \rightarrow i_1 = 0 \end{array}\right) \Rightarrow v_0 = -v_e + i_2 R_2 = 0 \Rightarrow$$

$$R_{out} = \frac{v_0}{i_0} = 0$$

Si a= ∞ se tiene un amplificador ideal de tensión aún cuando el A.O. tenga Ri y Ro finitas

EL BUFFER O DESACOPLADOR DE TENSIÓN

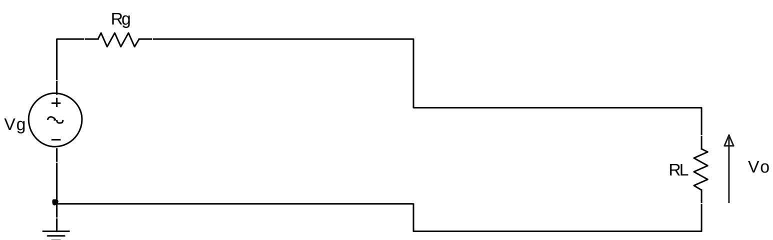


Si en la configuración no inversora hacemos $R_1 = \infty$ y $R_2=0$, tenemos un circuito conocido como buffer:

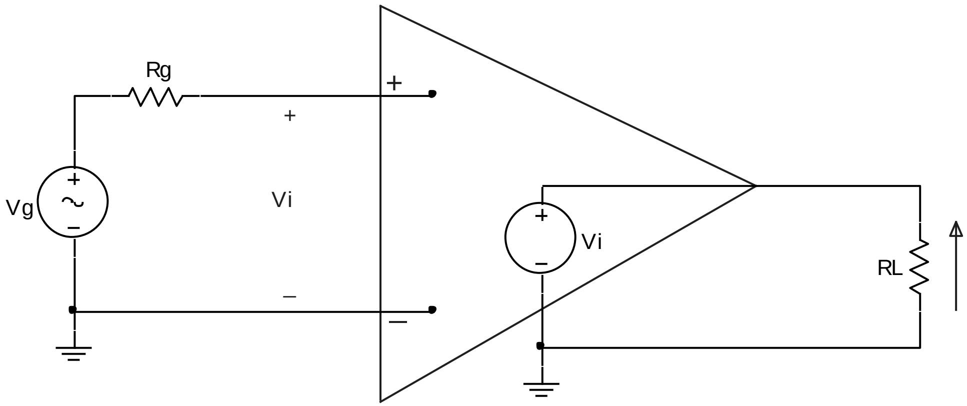
$$A_{VNI} = \frac{v_o}{v_i} = 1$$

$$R_{in} = \frac{v_i}{i_i} = \infty$$

$$R_{out} = \frac{v_0}{i_0} = 0$$



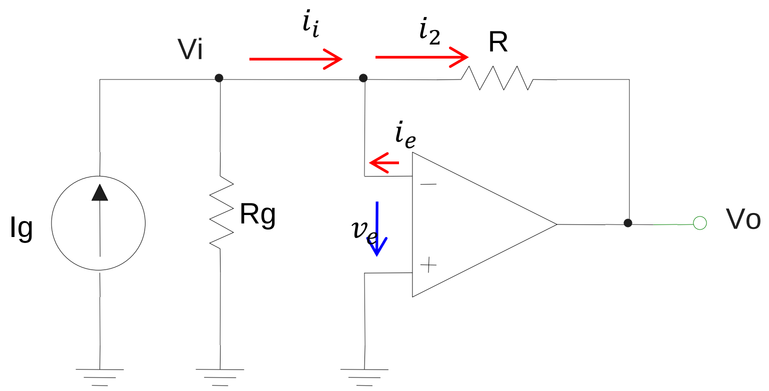
$$v_0 = v_s \frac{R_L}{R_s + R_L}$$



$$v_0 = v_S$$

Si a= ∞ se tiene un desacoplador perfecto de impedancias con ganancia de tensión unitaria

EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL DE TRANSIMPEDANCIA O CONVERSOR CORRIENTE-TENSIÓN



Ganancia de transimpedancia:

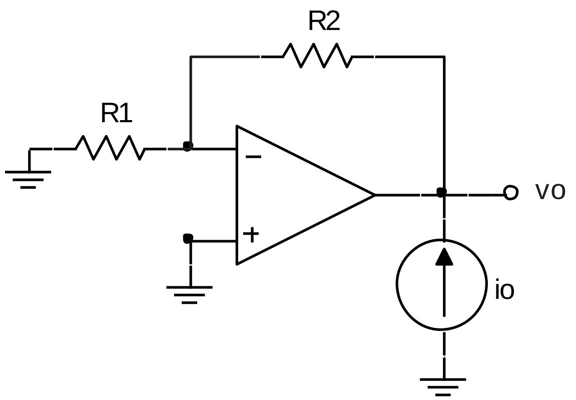
$$\left.\begin{array}{l} i_e = 0 \rightarrow i_i = i_2 \\ v_e = 0 \rightarrow v^- = 0 \end{array}\right) \Rightarrow v_0 = -i_i R \quad \Rightarrow$$

$$\boxed{A_Z = \frac{v_o}{i_i} = -R}$$

Resistencia de entrada:

$$v_e = 0 \Rightarrow v_i = 0 \Rightarrow$$

$$\boxed{R_{in} = \frac{v_i}{i_i} = 0}$$



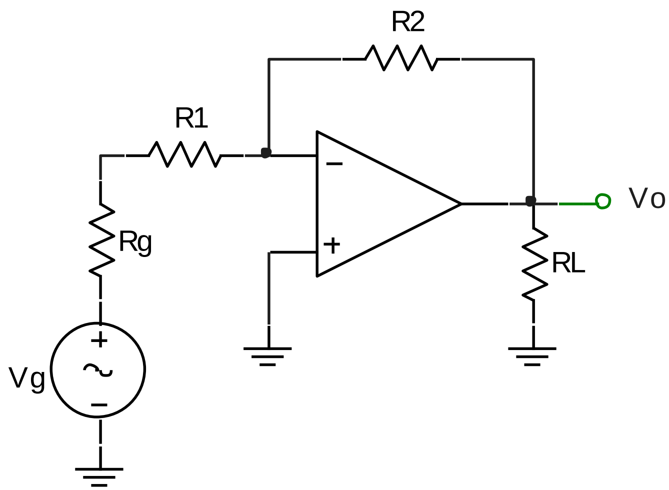
Resistencia de salida:

$$\left.\begin{array}{l} i_e = 0 \rightarrow i_2 = 0 \\ v_e = 0 \end{array}\right) \Rightarrow v_0 = 0 \Rightarrow$$

$$\boxed{R_{out} = \frac{v_0}{i_0} = 0}$$

Si a= ∞ se tiene un amplificador ideal de trans-impedancia

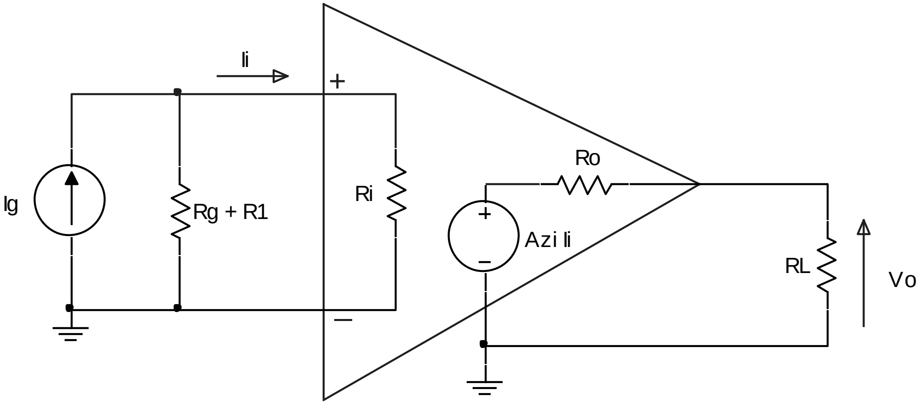
LA CONFIGURACIÓN INVERSORA COMO AMPLIFICADOR DE TENSIÓN

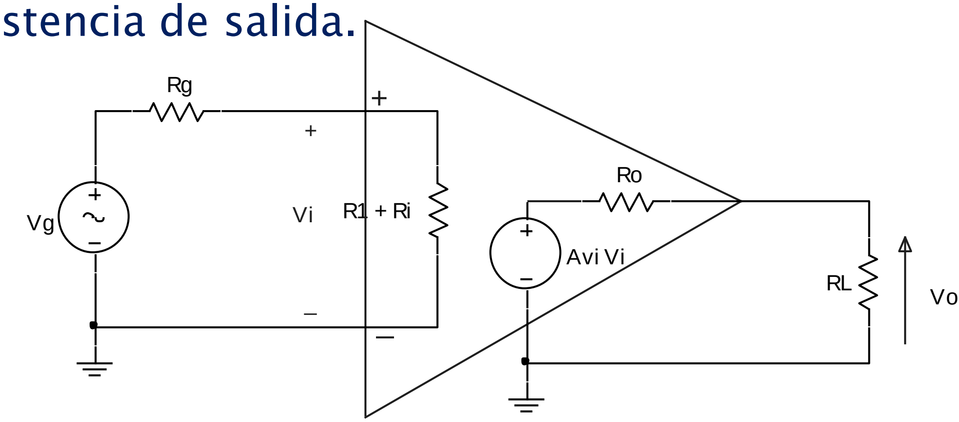


Topológicamente es un amplificador realimentado de trans-impedancia que se alimenta con tensión.

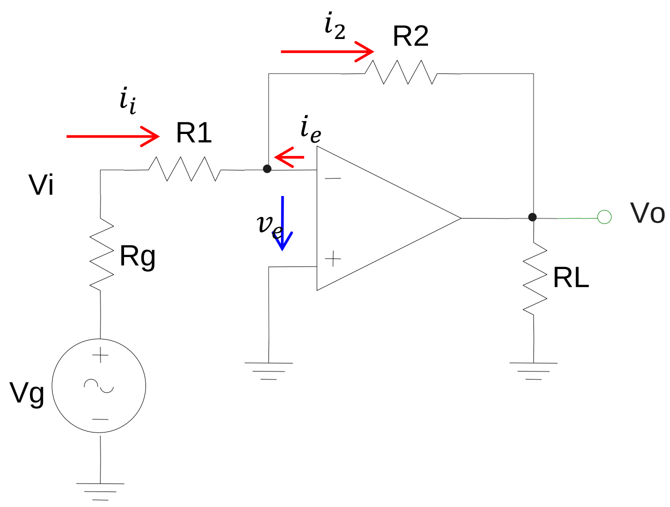
La resistencia R_1 se utiliza como impedancia de entrada para enmascarar a la impedancia de la fuente.

Se espera una ganancia impuesta x la realimentación R_2 y por la resistencia R_1 , resistencia de entrada impuesta por R_1 y baja resistencia de salida.





LA CONFIGURACIÓN INVERSORA COMO AMPLIFICADOR DE TENSIÓN



El circuito se puede resolver fácilmente sin este análisis como amplificador realimentado

Condición de ganancia infinita:

$V_e = 0$

$i_e = 0$

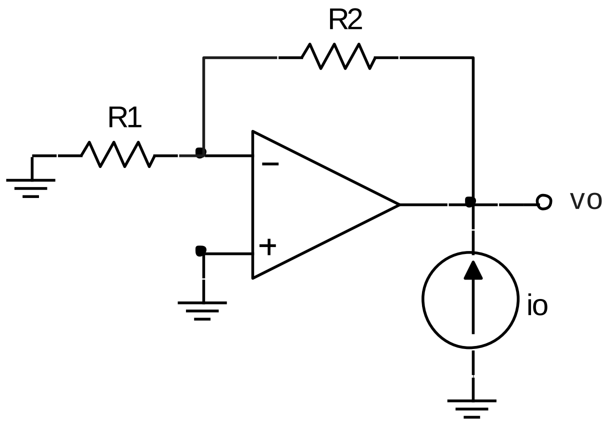
Ganancia de tensión:

$$\left.\begin{array}{l} i_e = 0 \rightarrow i_1 = i_2 \\ v_e = 0 \rightarrow v^- = 0 \end{array}\right) \Rightarrow \left(\begin{array}{l} i_2 = i_1 = -{}^{v_i}/_{R_1} \\ v_0 = i_2 R_2 \end{array} \right) \Rightarrow \boxed{A_{VI} = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_2}{R_1}}$$

Resistencia de entrada:

$$v_e = 0 \Rightarrow v^- = 0 \Rightarrow \boxed{R_{in} = \frac{v_i}{-i_1} = R_1}$$

LA CONFIGURACIÓN INVERSORA COMO AMPLIFICADOR DE TENSIÓN



Condición de ganancia infinita:

ve= 0

ie = 0

$$A_{VI} = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$R_{in} = \frac{v_i}{-i_1} = R_1$$

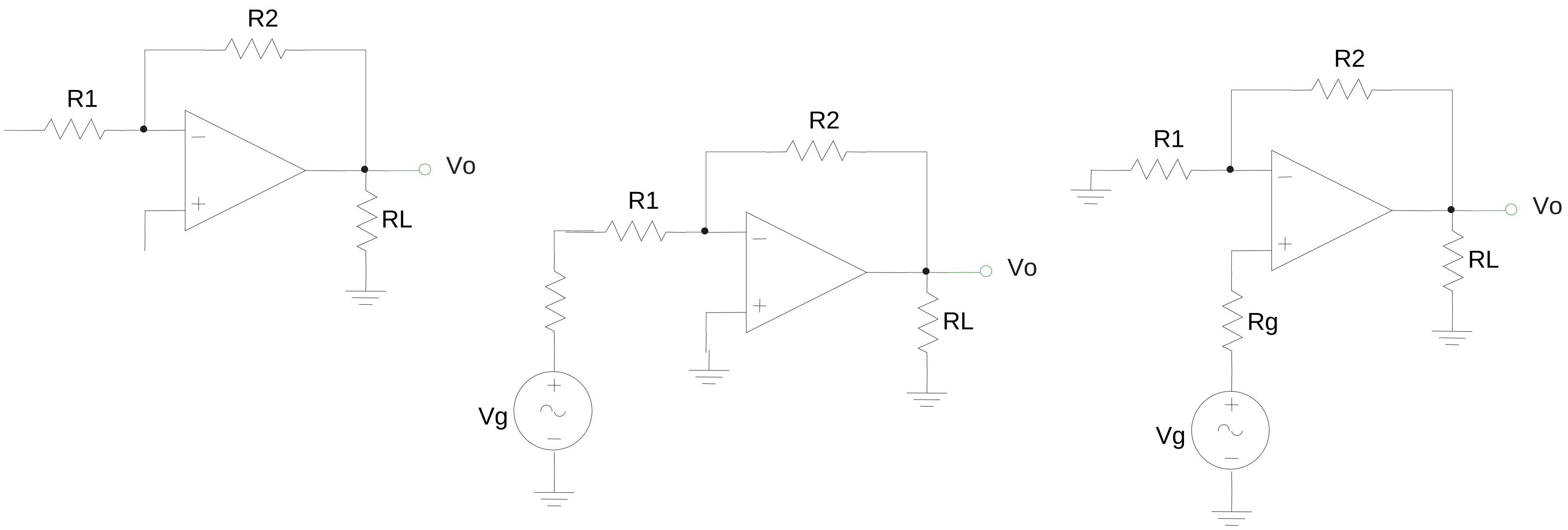
Resistencia de salida:

$$\left.\begin{array}{l} i_e = 0 \rightarrow i_1 = i_2 \\ v_e = 0 \rightarrow i_1 = 0 \end{array}\right) \Rightarrow v_0 = v_e + i_2 R_2 = 0 \Rightarrow$$

$$R_{out} = \frac{v_0}{i_0} = 0$$

Si a= ∞ se tiene un amplificador de tensión con resistencia de entrada R_1 y resistencia de salida nula, independientemente de las Ri y Ro del A.O.

LA CONFIGURACIÓN INVERSORA / NO INVERSORA

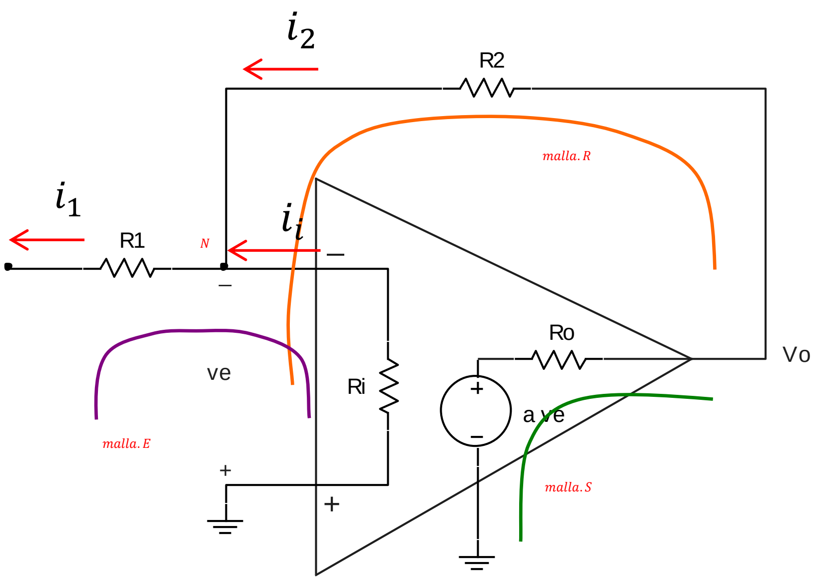


Para pasar de la configuración inversora a la no inversora, sólo se intercambia la posición de la fuente y de la tierra.

La resistencia R2 **SIEMPRE** se conecta desde la salida al borne inversor del A.O. (Realimentación negativa)

LA CONFIGURACIÓN INVERSORA (CON GANANCIA FINITA)

No podemos aplicar tierra virtual.
Se puede resolver empleando teoría de circuitos clásica, o conceptos de realimentación



Nodo de entrada *N*: $i_1 = i_2 + i_i$

Malla de entrada *E*: $v_i = -(i_2 + i_i)R_1 - i_iR_i$

Malla de salida *S*: $v_0 = a i_i R_i - i_2 R_0$

Malla de realimentación *R*: $v_0 = i_2R_2 - i_iR_i$

Igualando en *Vo*: $a i_i R_i - i_2 R_0 = i_2 R_2 - i_i R_i \Rightarrow i_2(R_0 + R_2) = (1+a)i_iR_i \Rightarrow$ $i_2 = \dfrac{(1+a)i_iR_i}{(R_0+R_2)}$

Ganancia de tensión:

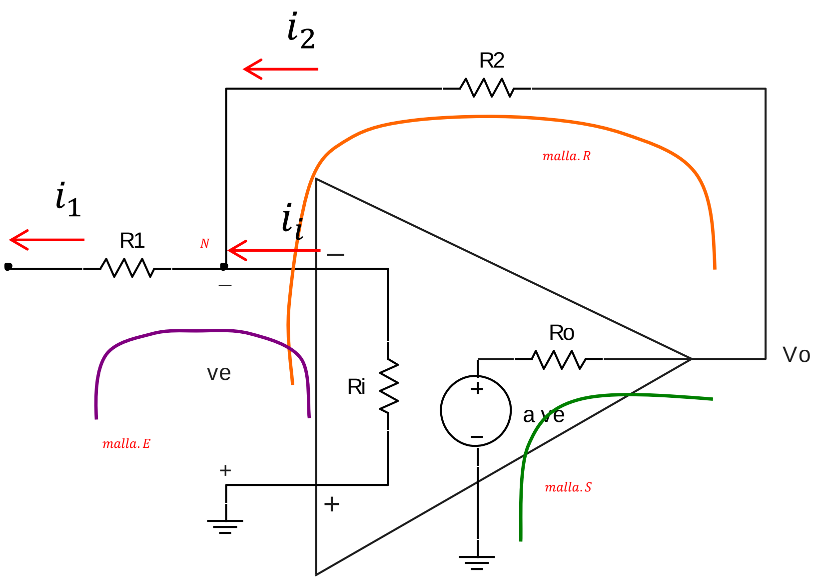
$$v_i = -(i_2 + i_i)R_1 - i_iR_i = -\left[\frac{(1+a)R_i}{(R_0+R_2)}R_1 + (R_1+R_i)\right]i_i$$

$$v_0 = i_2R_2 - i_iR_i = -\left[1 - \frac{(1+a)}{(R_0+R_2)}R_2\right]R_i i_i$$

$$A_{VI} = \frac{v_0}{v_i} = \frac{[1 - \frac{(1+a)}{(R_0+R_2)}R_2]}{[\frac{(1+a)}{(R_0+R_2)}R_1 + (\frac{R_1}{R_i} + 1)]}$$

LA CONFIGURACIÓN INVERSORA (CON GANANCIA FINITA)

No podemos aplicar tierra virtual.
Se puede resolver empleando teoría de circuitos clásica, o conceptos de realimentación



Nodo de entrada *N*: $i_1 = i_2 + i_i$

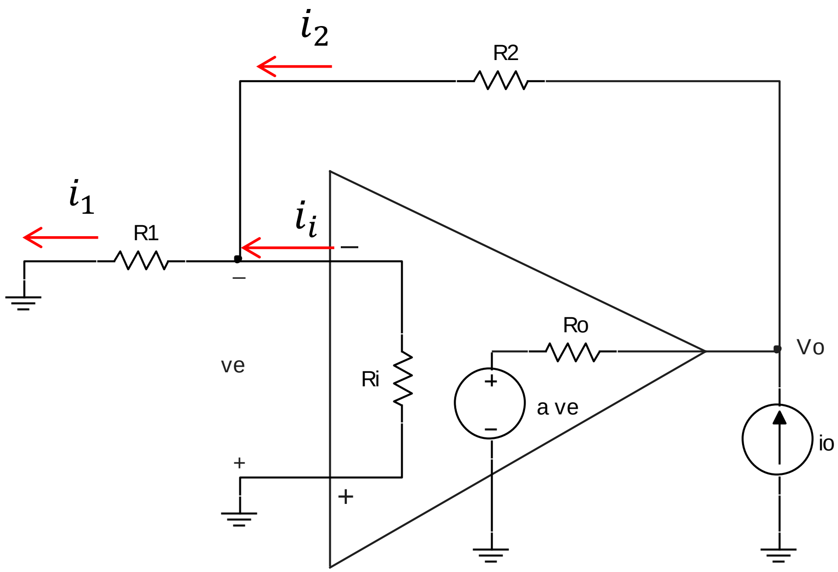
Malla de entrada *E*: $v_i = -(i_2 + i_i)R_1 - i_i R_i$

$$i_2 = \frac{(1+a)i_i R_i}{(R_0 + R_2)}$$

Resistencia de entrada: $$R_{in} = \frac{v_i}{-i_1} = \frac{v_i}{-(i_i + i_2)} = R_1 + R_i \frac{i_i}{i_i + i_2} = R_1 + R_i \frac{1}{1 + \frac{(1+a)R_i}{(R_0 + R_2)}}$$

$$R_{in} = R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_i} + \frac{(1+a)}{(R_0 + R_2)}} \Rightarrow \qquad R_{in} = R_1 + R_i || \frac{(R_0 + R_2)}{(1+a)}$$

LA CONFIGURACIÓN INVERSORA (CON GANANCIA FINITA)



Resistencia de salida:

$$R_{out} = \frac{v_0}{i_0}$$

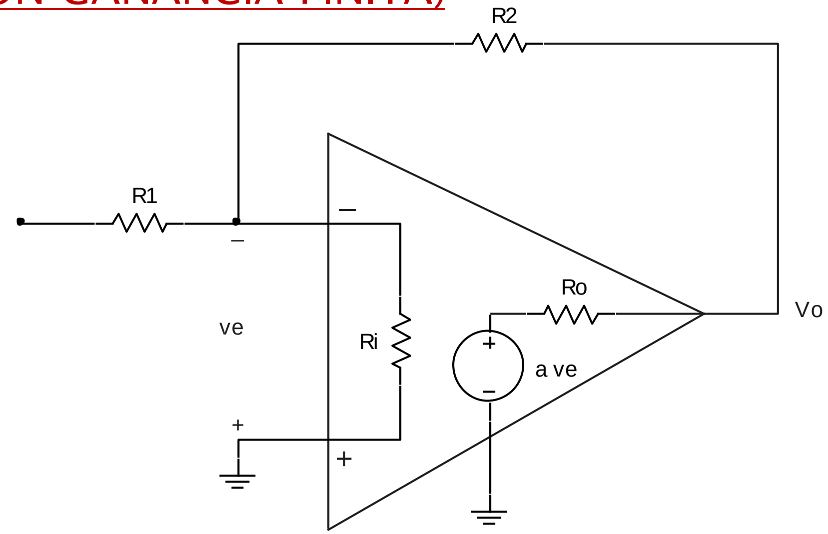
$$i_0 = i_2 + \frac{v_0 - a \cdot v_e}{R_0} \quad = v_0 \left[\frac{1}{R_2 + R_i||R_1} + \frac{1}{R_0} + \frac{a \cdot R_i||R_1}{R_0(R_2 + R_i||R_1)} \right] \quad = \frac{v_0}{R_0} \left[1 + \frac{R_0 + a \cdot R_i||R_1}{R_2 + R_i||R_1} \right]$$

$$i_2 = \frac{v_0}{R_2 + R_i||R_1}$$

$$R_{out} = \frac{R_0}{1 + \dfrac{R_0 + a \cdot R_i||R_1}{R_2 + R_i||R_1}}$$

$$v_e = -\frac{R_i||R_1}{R_2 + R_i||R_1} v_0$$

LA CONFIGURACIÓN INVERSORA (CON GANANCIA FINITA)



Ejemplo utilizando el A.O. 741, cuyos datos son los siguientes:
$$\begin{cases} a = 324000 \\ Ri = 2{,}7M\Omega \\ R_0 = 47\Omega \end{cases}$$

y sean además:
$$\begin{cases} R_2 = 50K \\ R_1 = 1K \end{cases}$$

$$A_{VI} = \frac{[1 - \frac{(1+a)}{(R_0+R_2)} R_2]}{[\frac{(1+a)}{(R_0+R_2)} R_1 + (\frac{R_1}{R_i} + 1)]} = \frac{[1 - \frac{(324001)}{(47+50K)} 50K]}{[\frac{324001}{(47+50K)} 1K + (\frac{1K}{2{,}7M} + 1)]} = \frac{-323695}{6{,}474 + 1{,}00037} = -49{,}9997$$

$$R_{in} = R_1 + R_i || \frac{(R_0+R_2)}{(1+a)} = 1K + 2{,}7M || \frac{(47+50K)}{(324001)} = 1K + 0{,}134 = 1{,}000134K$$

$$R_{out} = \frac{R_0}{1 + \frac{R_0 + a \cdot R_i || R_1}{R_2 + R_i || R_1}} \frac{47}{1 + \frac{47 + 324000 \cdot 1K || 2{,}7M}{50K + 1K || 2{,}7M}} = \frac{47}{298289} = 0{,}157 m\Omega$$

EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL DE CORRIENTE

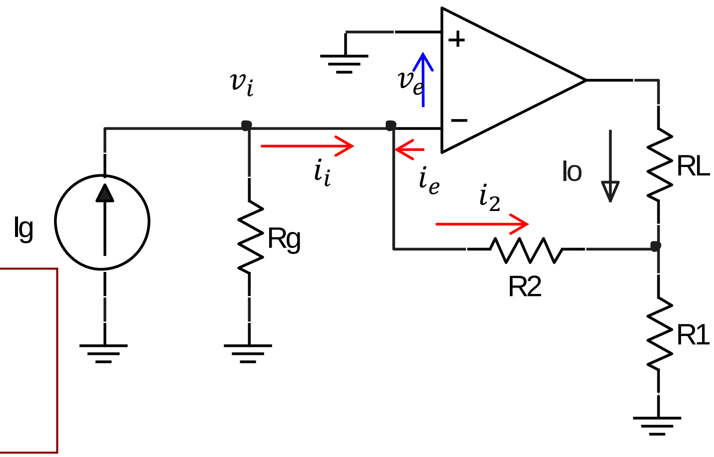
Condición de ganancia infinita:

ve= 0   ie = 0

Ganancia de corriente:

$$\left.\begin{matrix} i_e = 0 \rightarrow i_i = i_2 \\ v_e = 0 \rightarrow v^- = 0 \end{matrix}\right) \Rightarrow -i_i R_2 = (i_0 + i_i) R_1 \Rightarrow$$

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

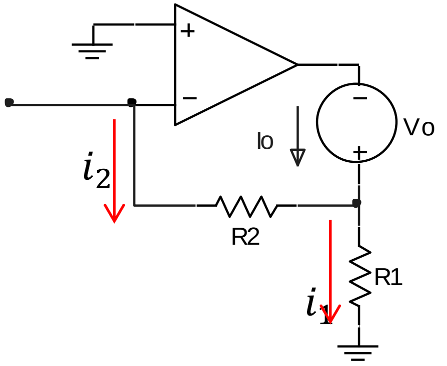


Resistencia de entrada: $v_e = 0 \Rightarrow v_i = 0 \Rightarrow$

$$\boxed{R_{in} = \frac{v_i}{i_i} = 0}$$

Resistencia de salida:

$$\left.\begin{matrix} i_e = 0 \rightarrow i_2 = 0 \\ v_e = 0 \rightarrow i_1 = 0 \end{matrix}\right) \Rightarrow \boxed{R_{out} = \frac{v_0}{i_0} = \infty}$$



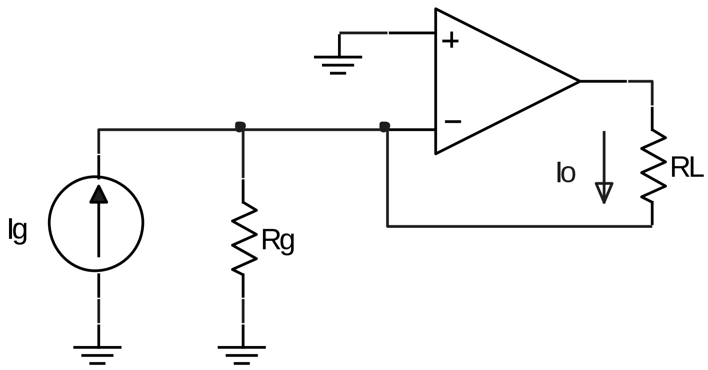
Si a= ∞ se tiene un amplificador ideal de corriente

Un inconveniente de este circuito es que la carga *RL* no tiene ningún punto a tierra

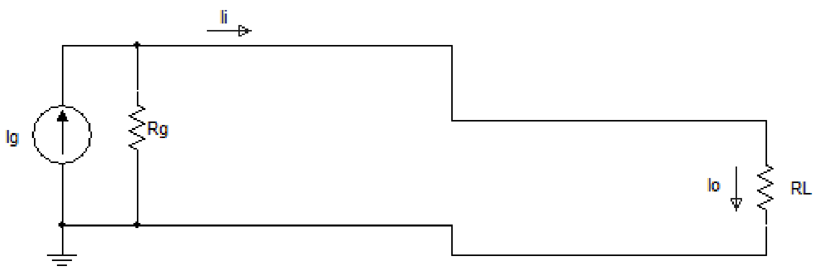
EL BUFFER O DESACOPLADOR DE CORRIENTE

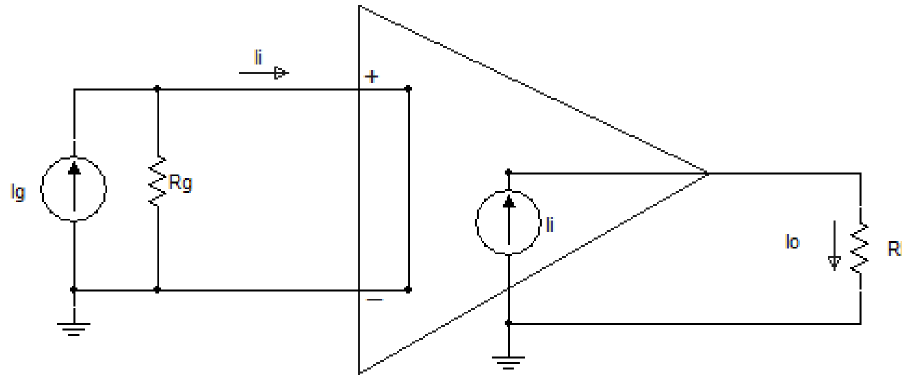
Condición de ganancia infinita:

ve= 0 ie = 0



Si en amplificador de corriente hacemos $R_1= \infty$ y $R_2=0$, tenemos un buffer de corriente:





$$i_0 = i_s \frac{R_S}{R_S + R_L}$$

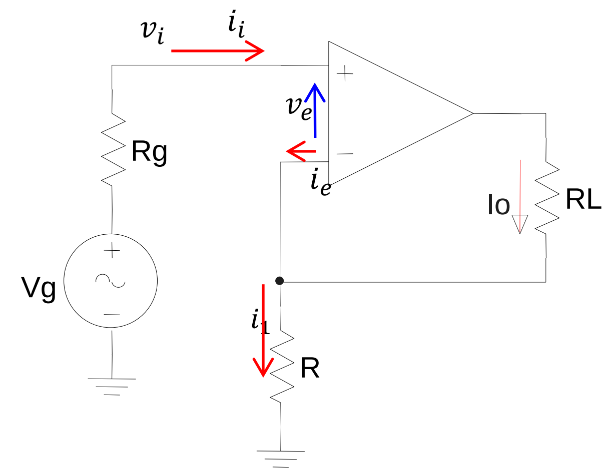
$$i_0 = i_S$$

Si a= ∞ se tiene un desacoplador perfecto de impedancias con ganancia de corriente unitaria

EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL DE TRANS-ADMITANCIA O CONVERSOR TENSIÓN-CORRIENTE

Condición de ganancia infinita:

ve= 0 ie = 0

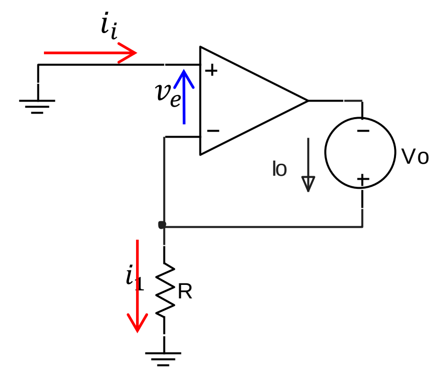


Ganancia de transconductancia:

$$\left.\begin{array}{l} i_e = 0 \rightarrow i_1 = i_0 \\ v_e = 0 \rightarrow v^- = v_i \end{array}\right) \; i_0 = \frac{v_i}{R} \Rightarrow \boxed{A_Y = \frac{i_o}{v_i} = \frac{1}{R}}$$

Resistencia de entrada:

$$i_e = 0 \Rightarrow \boxed{R_{in} = \frac{v_i}{i_i} = \infty}$$



Resistencia de salida:

$$\left.\begin{array}{l} i_e = 0 \rightarrow i_1 = i_0 \\ v_e = 0 \rightarrow i_1 = 0 \end{array}\right) \Rightarrow \boxed{R_{out} = \frac{v_0}{i_0} = \infty}$$

Si a= ∞ se tiene un amplificador ideal de trans-admitancia

Un inconveniente de este circuito es que la carga *RL* no tiene ningún punto a tierra