



INGENIERÍA
BIOLÓGICA

Teoría de Circuitos 2021

Amplificadores operacionales

Licenciatura en Ingeniería Biológica
Universidad de la República





Contenido

- Introducción
- Modelo eléctrico
- Configuraciones básicas

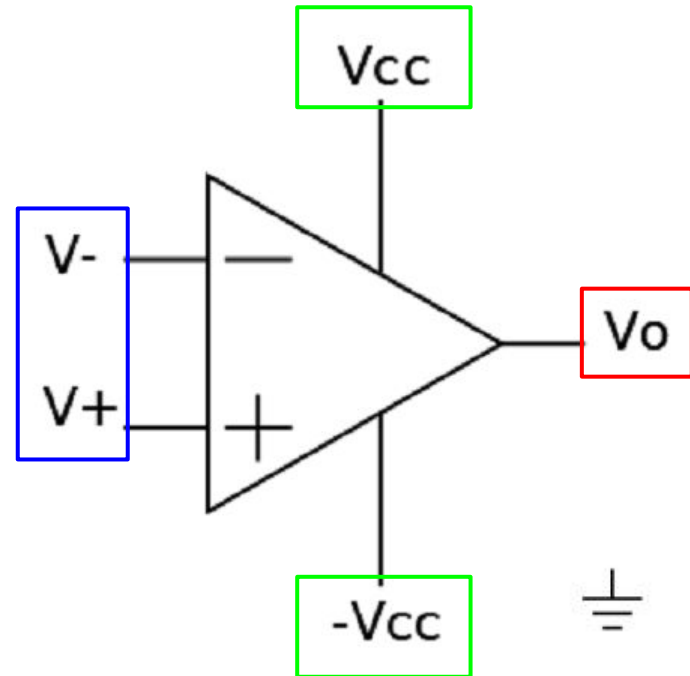


Contenido

- **Introducción**
- Modelo eléctrico
- Configuraciones básicas

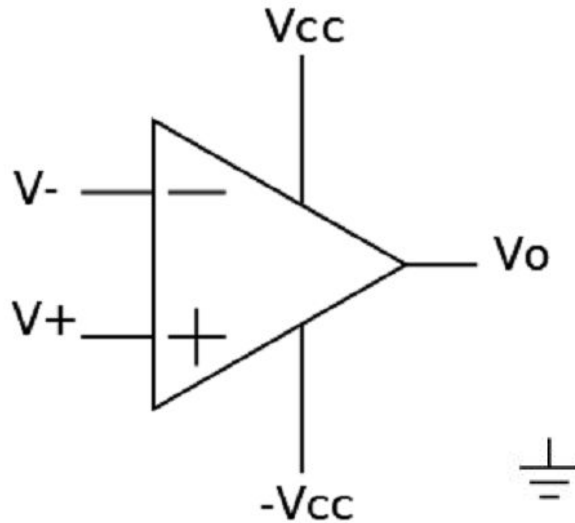
Amplificador operacional

- Nueva componente electrónica.
- Elemento activo (a diferencia de R, L y C)
- Terminales:
 - Entradas:
 - V_- : Entrada Inversora (a veces aparece e_-).
 - V_+ : Entrada No Inversora (a veces e_+).
 - Salida: V_o (Referida a tierra)
 - Alimentación:
 - $+V_{cc}$ y $-V_{cc}$ (se alimentan de fuentes simétricas)

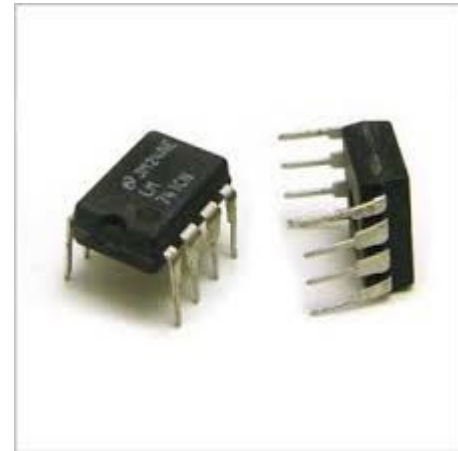


Amplificador operacional

Símbolo

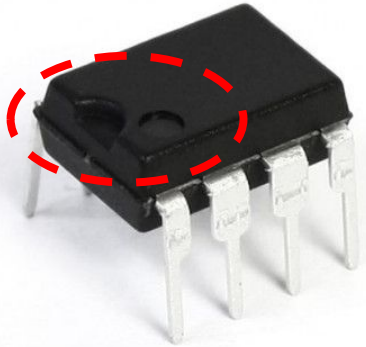


Componente

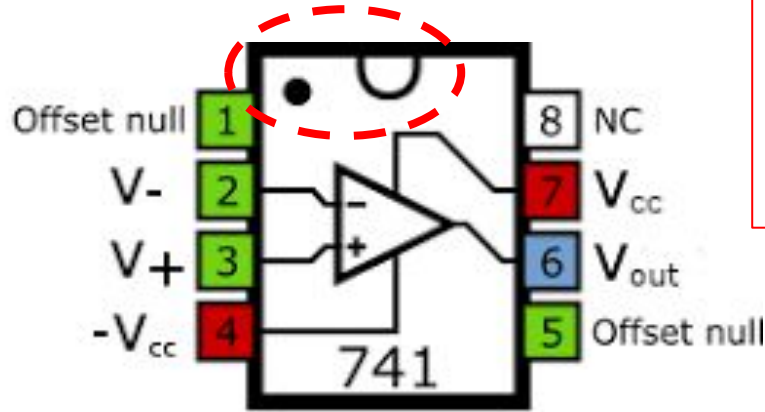


Amplificador operacional

EI 741



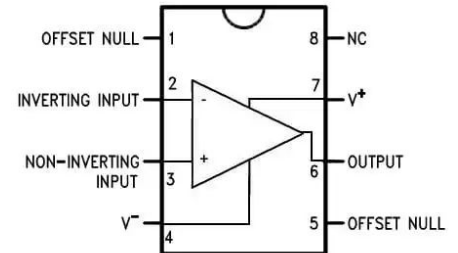
Ver hoja de datos



Pinout

¡Ojo! en algunas hojas de datos, las fuentes aparecen con nombre $V+$ y $V-$ y las entradas aparecen con nombre “inversora” y “no inversora”

LM741 Pinout Diagram



Amplificador operacional

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(Note 6)

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 2)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 3)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.				
ESD Tolerance (Note 7)	400V	400V	400V	400V



Contenido

- Introducción
- **Modelo eléctrico**
- Configuraciones básicas



Modelo eléctrico

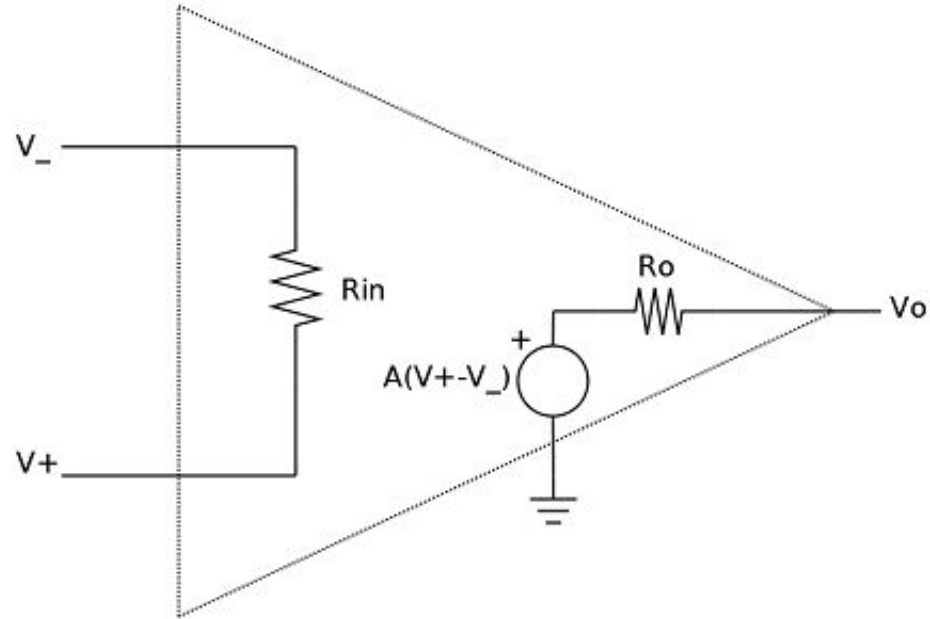
Para entender el funcionamiento del Amplificador Operacional, se presenta un modelo eléctrico simplificado del operacional:

El modelo consiste en dos circuitos equivalentes (uno visto por la entrada y otro por la salida) los cuales se relacionan por medio de una fuente dependiente de tensión.

- Desde la entrada: Resistencia vista de entrada R_{in} entre V_+ y V_- .
- Desde la salida: Equivalente Thévenin con fuente dependiente $A(V_+ - V_-)$ y resistencia vista de salida R_o .

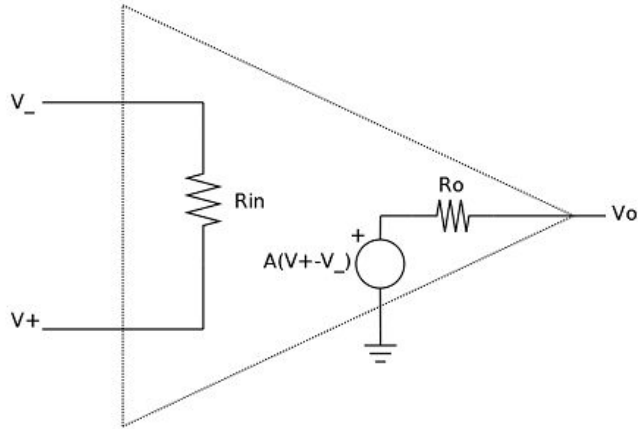
En el curso de Electrónica Fundamental se estudia en detalle las características prácticas del 741, en este curso nos centraremos en el modelo, las distintas configuraciones que sus aplicaciones.

Modelo eléctrico



Modelo eléctrico

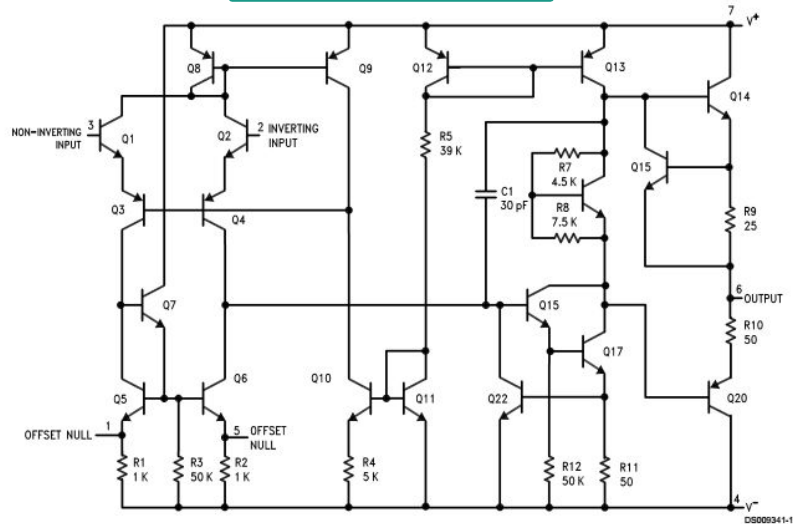
Expectativa



He aquí el por qué de los modelos...

Schematic Diagram

Realidad



Modelo eléctrico

Operacional real

Modos de funcionamiento:

- **Zona lineal (ZL):** Donde la diferencia de las entradas amplificadas no superan el valor de V_{cc} en valor absoluto.

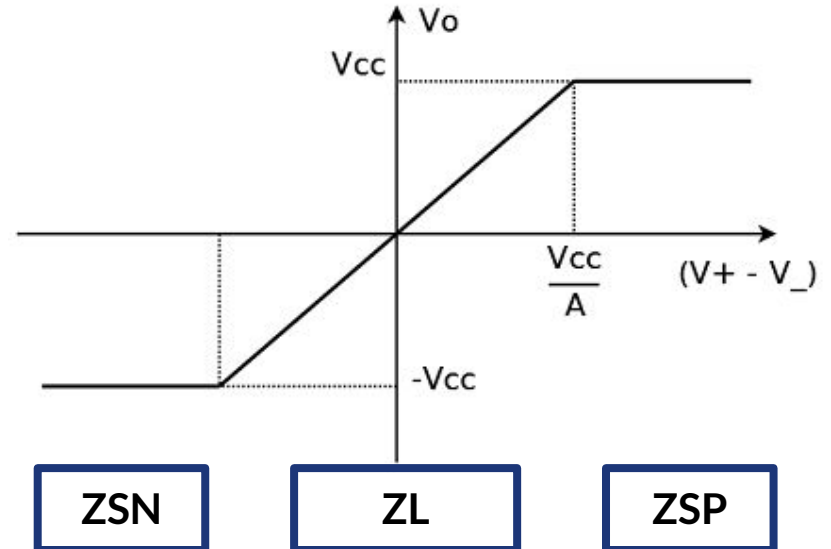
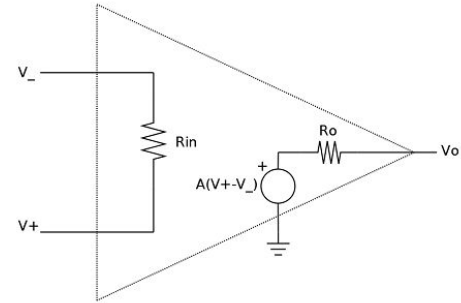
$$\text{si } |V_+ - V_-| < V_{cc}/A \rightarrow V_o = A(V_+ - V_-)$$

- **Zona saturada positiva (ZSP):** Ocurre si la diferencia amplificada supera el valor de V_{cc} .

$$\text{si } V_+ - V_- > V_{cc}/A \rightarrow V_o = +V_{cc}$$

- **Zona saturada negativa (ZSN):** Ídem para $A(V_+ - V_-) < -V_{cc}$.

$$\text{si } V_+ - V_- < -V_{cc}/A \rightarrow V_o = -V_{cc}$$



Modelo eléctrico

Operacional ideal

Resistencia de entrada R_{in} **infinita**:

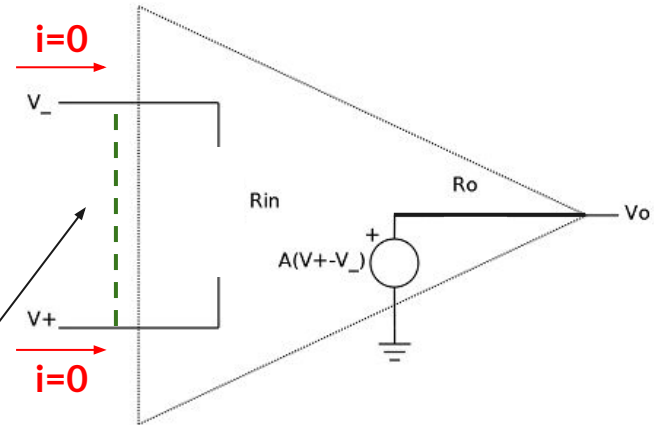
- Las corrientes de entrada son nulas.

Resistencia de salida R_{out} **nula**:

- La tensión de salida V_o no depende de la corriente que entrega el operacional.

Ganancia A **infinita**:

- La diferencia entre sus entradas debe de ser **nula** para evitar saturación (cortocircuito virtual).



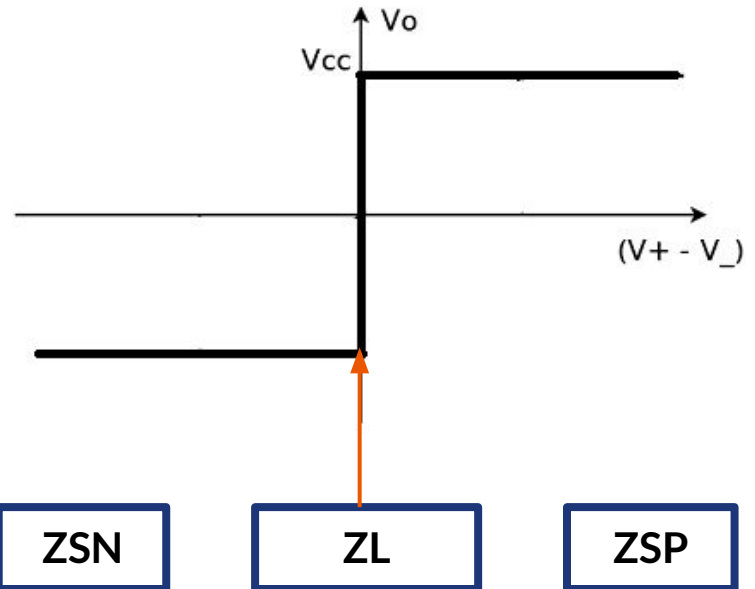
$$V_o = \lim_{\substack{A \rightarrow +\infty \\ (V_+ - V_-) \rightarrow 0}} [A(V_+ - V_-)]$$

Modelo eléctrico

Operacional ideal

Modos de funcionamiento:

- **Zona lineal (ZL):** Donde la salida no supera la alimentación V_{cc} en valor absoluto.
si $|V_o| < V_{cc} \rightarrow V_+ = V_-$ (cc virtual)
- **Zona saturada positiva (ZSP):** Ocurre si la tensión de la entrada no inversora supera a la inversora.
si $V_+ > V_- \rightarrow V_o = +V_{cc}$
- **Zona saturada negativa (ZSN):** Ídem para $V_+ < V_-$.
si $V_+ < V_- \rightarrow V_o = -V_{cc}$



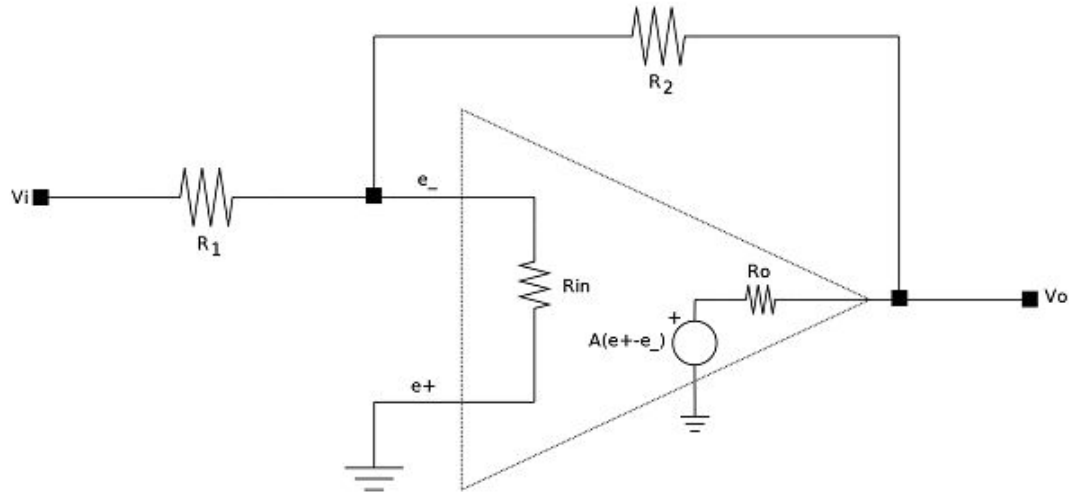


Contenido

- Introducción
- Modelo eléctrico
- **Configuraciones básicas**

Configuraciones básicas

Configuración inversora



Configuraciones básicas

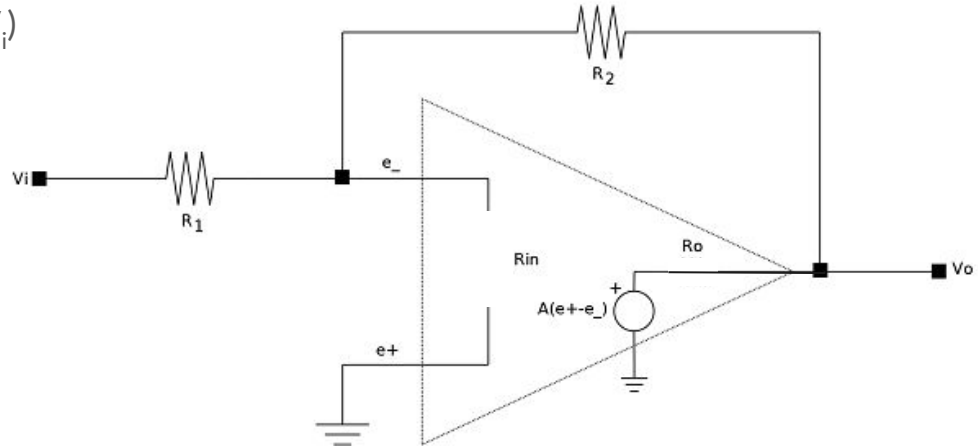
Configuración inversora

Resolvemos el circuito utilizando un operacional real:

Objetivo: Encontrar la relación $V_o = S(V_i)$

Suposiciones:

- $R_i \rightarrow +\infty$
- $R_o \rightarrow 0$

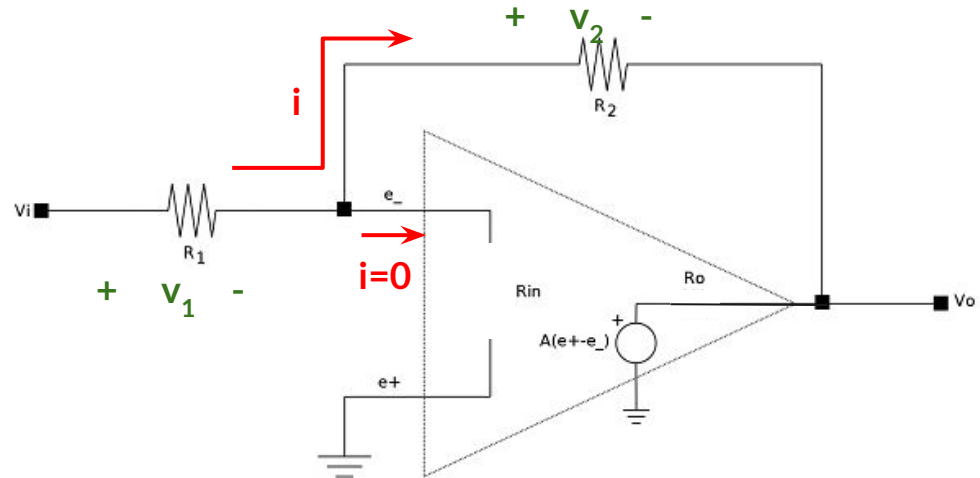


Configuraciones básicas

Configuración inversora

Resolvemos el circuito utilizando un operacional real:

1 - Definir sentidos



Configuraciones básicas

Configuración inversora

Resolvemos el circuito utilizando un operacional real:

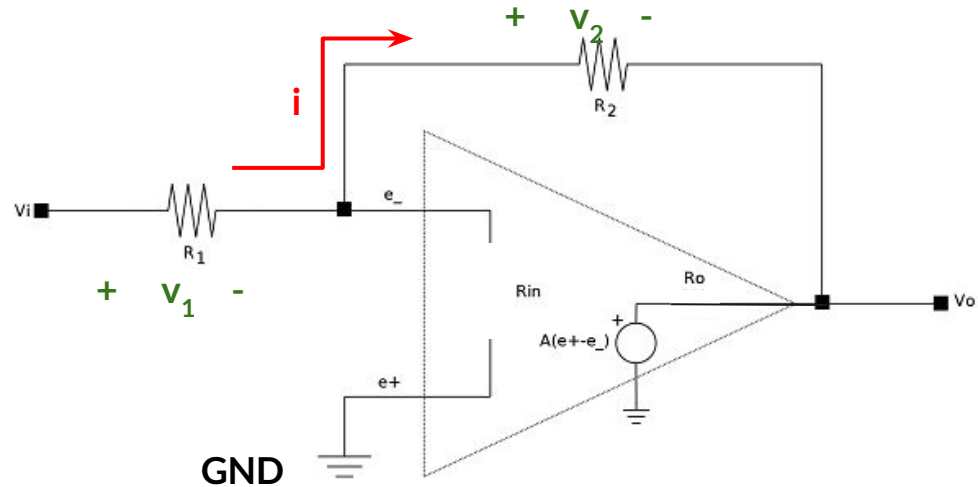
2 - Plantear leyes de elementos:

$$R_1: v_1 = V_i - e_- = R_1 i$$

$$R_2: v_2 = e_- - V_o = R_2 i$$

$$\text{AmpOp: } V_o = A(e_+ - e_-)$$

$$e_+ = 0 \text{ (por estar conectado a GND)}$$



Configuraciones básicas

Configuración inversora

Resolvemos el circuito utilizando un operacional real:

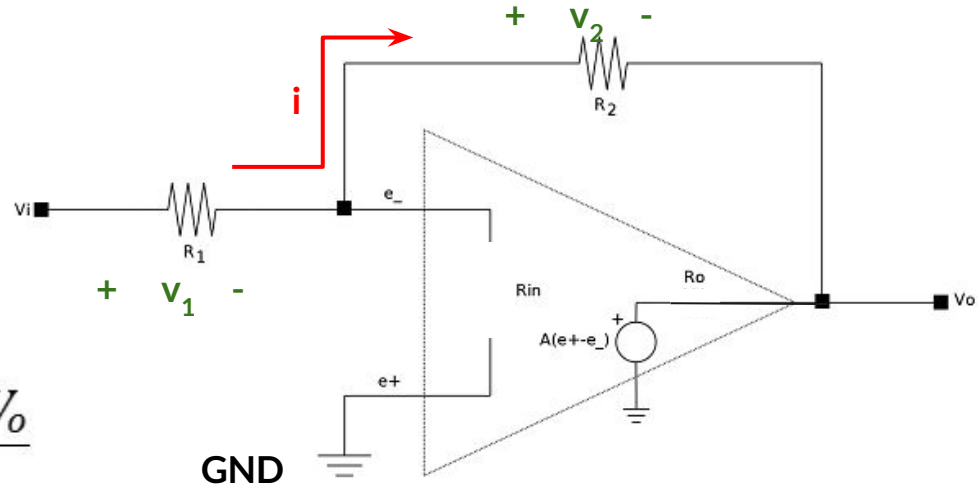
3 - Resolver

A partir de R_1 y R_2 :

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

Despejando e_- de la relación del operacional:

$$\frac{V_i - (-V_o/A)}{R_1} = \frac{(-V_o/A) - V_o}{R_2}$$



Configuraciones básicas

Configuración inversora

Resolvemos el circuito utilizando un operacional real:

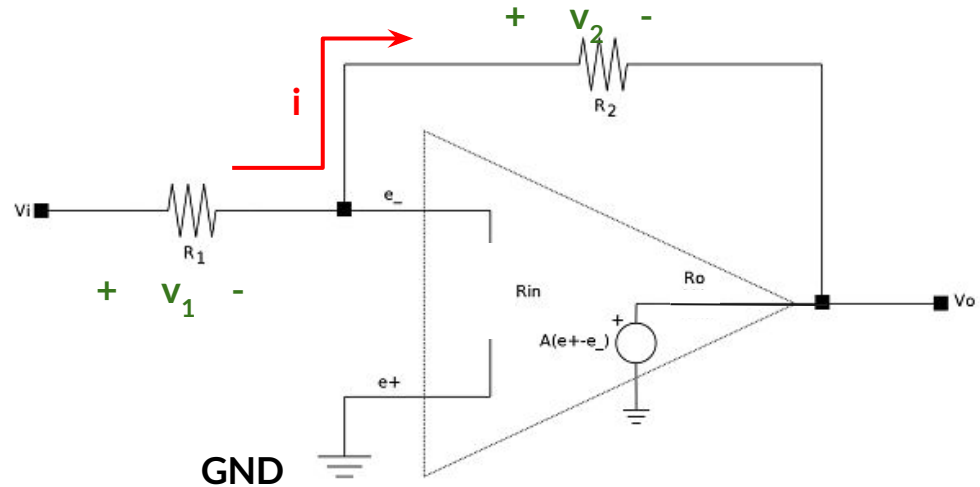
3 - Resolver

Despejando V_o :

$$V_o = -\frac{AR_2}{R_2 + (1 + A)R_1} V_i$$

Considerando $A \gg 1$ y $R_2 \ll AR_1$:

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



Configuraciones básicas

Configuración inversora

Algunas observaciones:

- Para ganancias del operacional muy grandes, la relación no depende de A.
- La salida tiene el signo opuesto a la entrada (por eso el nombre “inversora”).
- La ganancia del circuito pasa a estar determinada por el cociente entre R_2 y R_1 . Por lo que puede amplificar un mayor rango de diferencias de tensión a la entrada sin saturar.
- Para valores grandes de A, $e_- - e_+ \rightarrow 0$ teniendo un cortocircuito virtual.

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

¿Qué pasa frente a una perturbación a la entrada?

$$e_- - e_+ = -\frac{R_2}{R_2 + (1 + A)R_1} V_i \rightarrow 0 \quad (A \rightarrow +\infty)$$

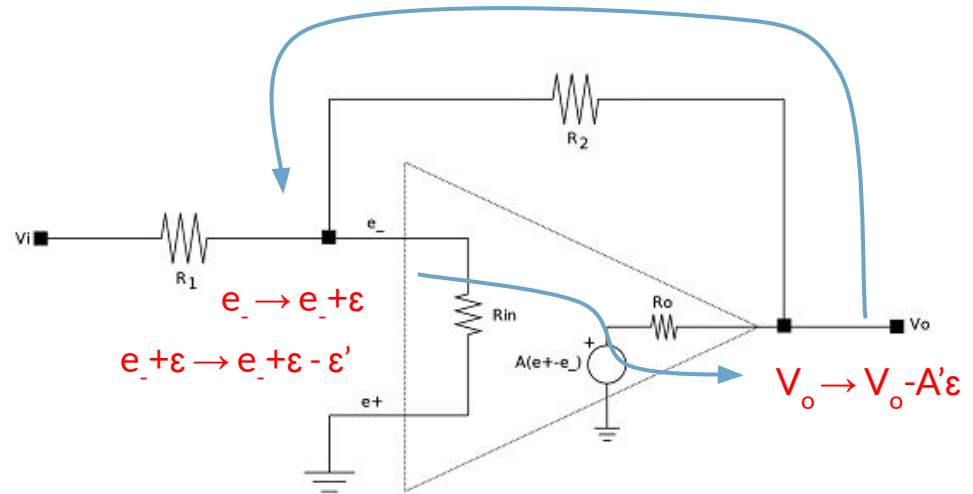
Configuraciones básicas

Configuración inversora

Realimentación negativa:

- Si ocurre una perturbación ε a la entrada e_- .
- A la salida el fenómeno aparece invertido
- Esa perturbación hace que se genere el efecto contrario de ε en e_- (ε' del mismo signo que ε).

El sistema se estabiliza



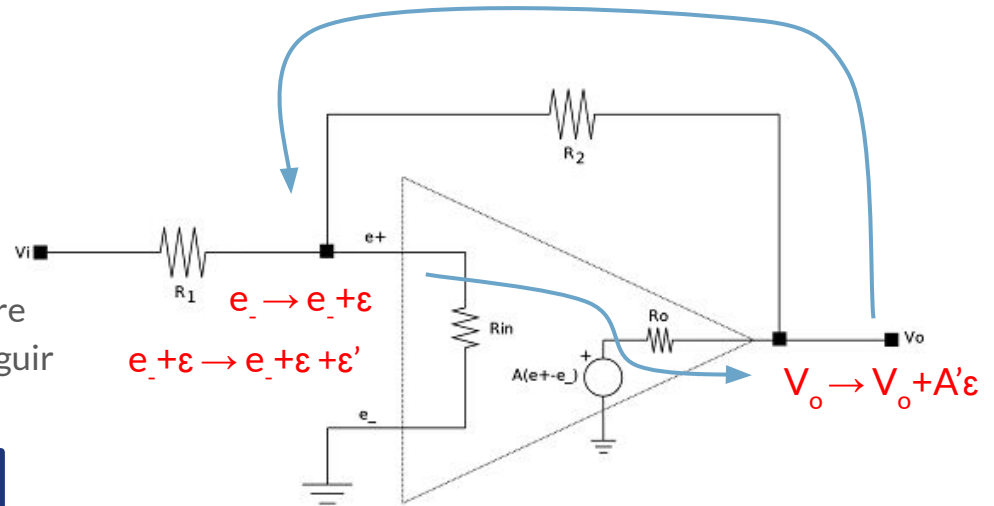
Configuraciones básicas

Configuración inversora

Realimentación positiva:

- Si ocurre una perturbación ε a la entrada e_- .
- A la salida el fenómeno aparece en el mismo signo
- Esa perturbación hace que se genere una adición a ε en e_- que se va a seguir amplificando hasta saturar.

El sistema es inestable



Configuraciones básicas

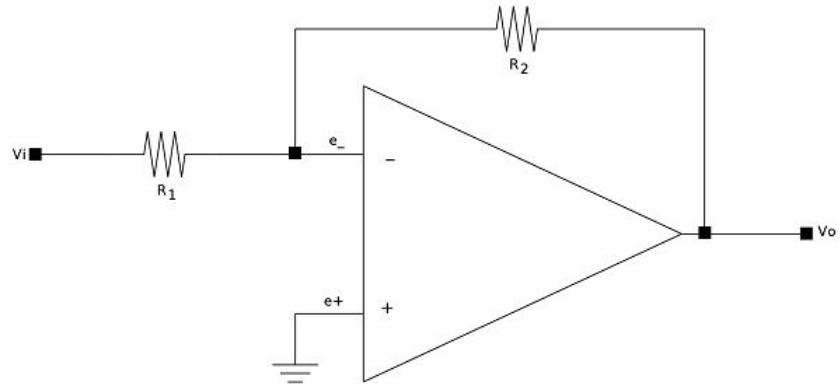
Configuración inversora

Ahora Resolvemos el circuito utilizando un operacional ideal:

Objetivo: Encontrar la relación $V_o = S(V_i)$

Suposiciones:

- $R_i \rightarrow +\infty$
- $R_o \rightarrow 0$
- $A \rightarrow +\infty$ que implica cortocircuito virtual ($e_+ = e_-$)

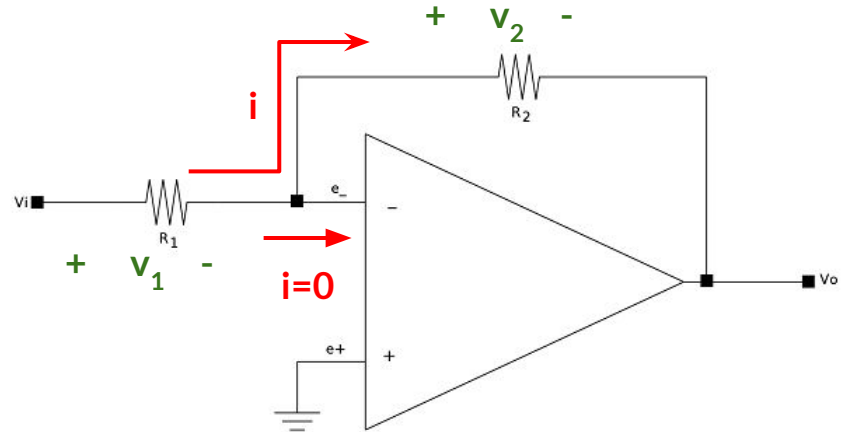


Configuraciones básicas

Configuración inversora

Ahora Resolvemos el circuito utilizando un operacional ideal:

1 - Definir sentidos



Configuraciones básicas

Configuración inversora

Ahora Resolvemos el circuito utilizando un operacional ideal:

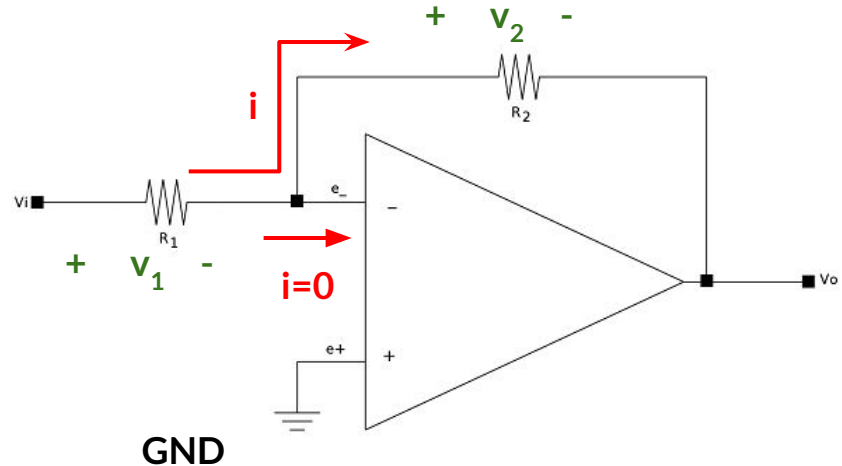
2 - Plantear leyes de elementos:

$$R_1: v_1 = V_i - e_- = R_1 i$$

$$R_2: v_2 = e_- - V_o = R_2 i$$

Cortocircuito virtual: $e_+ = e_-$

$e_+ = 0$ (por estar conectado a GND)



Configuraciones básicas

Configuración inversora

Ahora Resolvemos el circuito utilizando un operacional ideal:

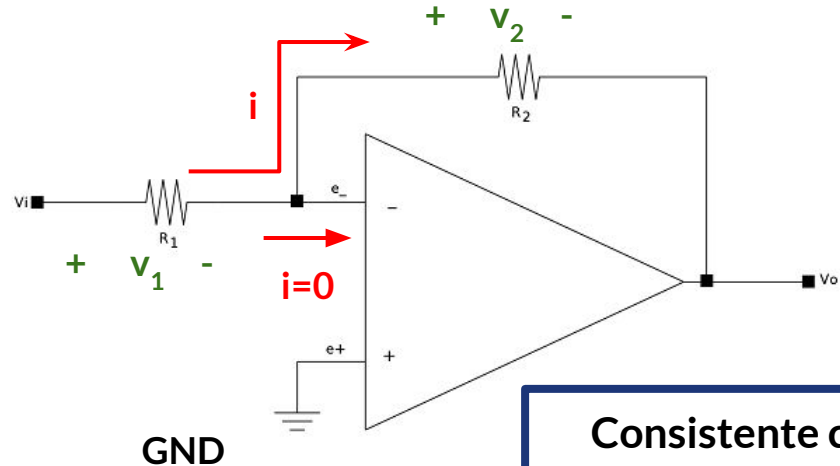
3 - Resolver

A partir de R_1 y R_2 :

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

Aplicando cortocircuito virtual, se concluye que $e_- = 0$, por lo que despejando V_o se obtiene:

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



Consistente con
operacional real



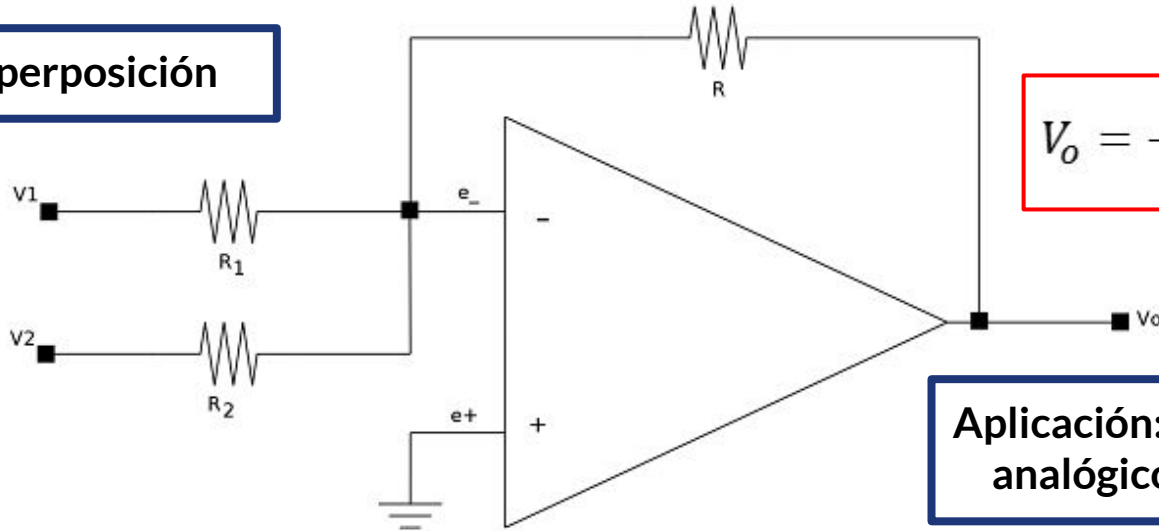
Configuraciones básicas

- De ahora en más utilizaremos esta forma de análisis, basados en operacionales ideales.
- La base está en asumir cortocircuito virtual.
- Esta suposición sólo sirve en zona lineal.
- Veamos otras configuraciones...

Configuraciones básicas

Configuración sumador inversor

Pista: usar superposición



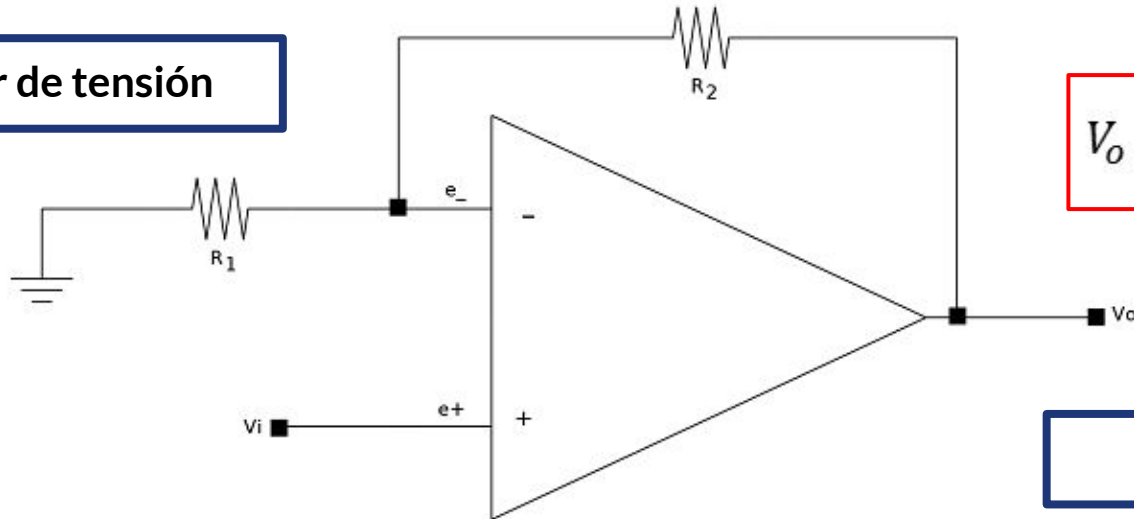
$$V_o = - \left[\frac{R}{R_1} V_1 + \frac{R}{R_2} V_2 \right]$$

Aplicación: Conversor digital analógico (ver tinkercad)

Configuraciones básicas

Configuración no inversora

Pista: divisor de tensión



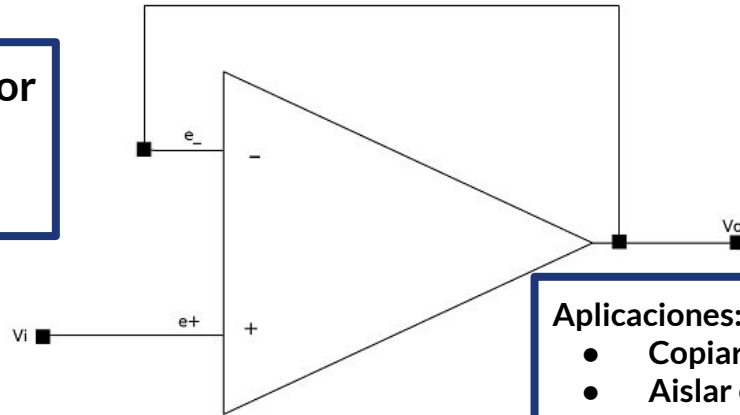
$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i$$

Obs: $G > 1$

Configuraciones básicas

Configuración seguidora

Pista: utilizar el caso anterior y aplicarlo para R_1 y R_2 particulares.



$$V_o = V_i$$

Aplicaciones:

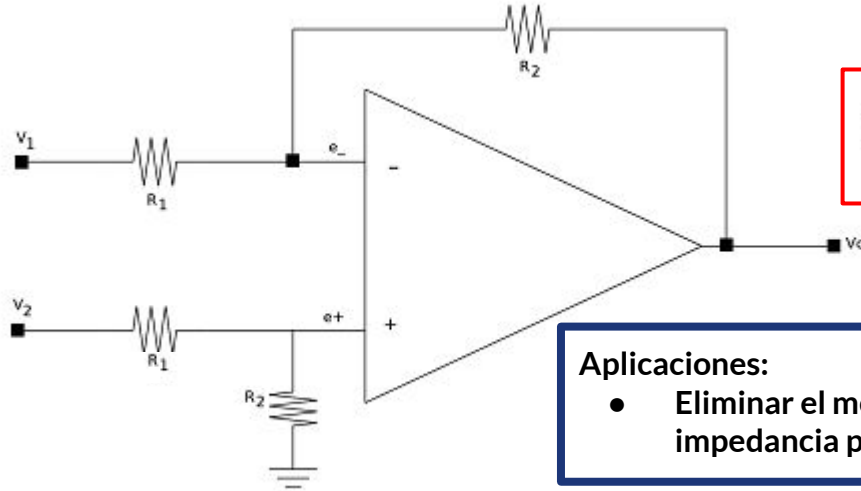
- Copiar tensiones sin cargar etapa anterior.
- Aislar etapas ("no hay circulación de corriente por el operacional")

!!!OJO EN LA PRÁCTICA AL SENSOR SEÑALES FISIOLÓGICAS!!!

Configuraciones básicas

Configuración diferencial

Pista: aplicar superposición e identificar configuraciones ya vistas



$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Aplicaciones:

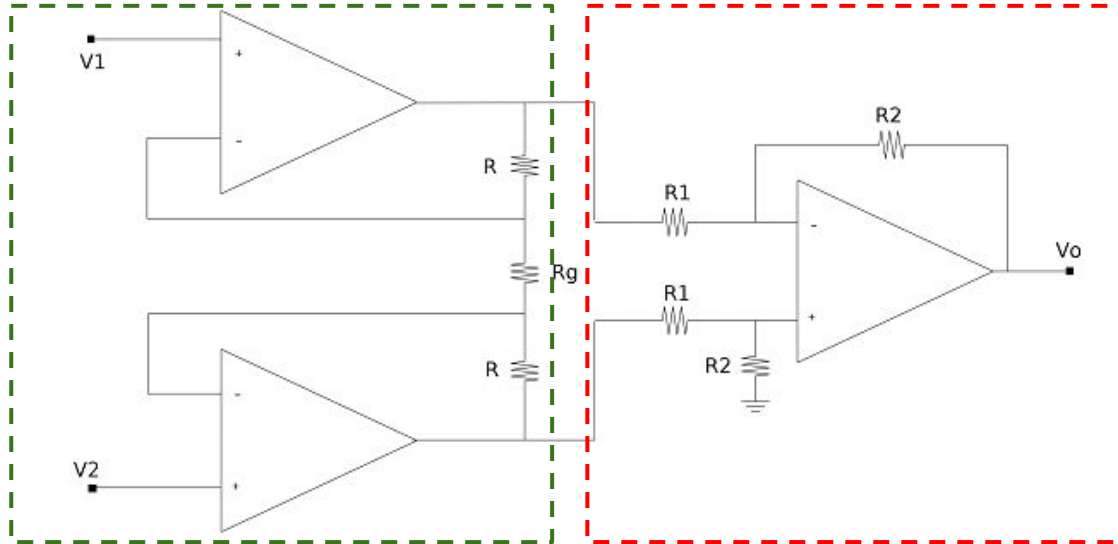
- Eliminar el modo común (cambios de impedancia por respiración en un ECG)

Configuraciones básicas

Amplificador de instrumentación

Paso 1: Dividir en etapas (divide y conquistarás)

Etapa 1



Etapa 2

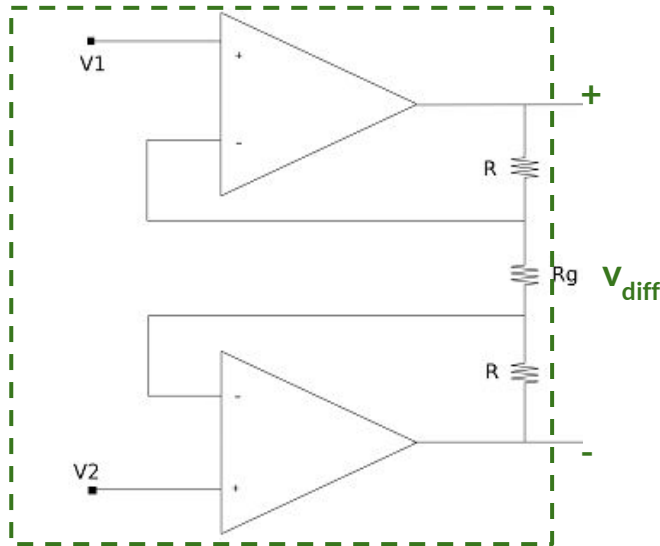
Como el voltaje de salida de los operacionales es independiente de la carga conectada en V_o hacia adelante, las etapas son separables. OJO, no siempre un circuito se puede separar en etapas independientes.

Configuraciones básicas

Amplificador de instrumentación

Paso 2:
Resolver la
etapa 1

Etapa 1

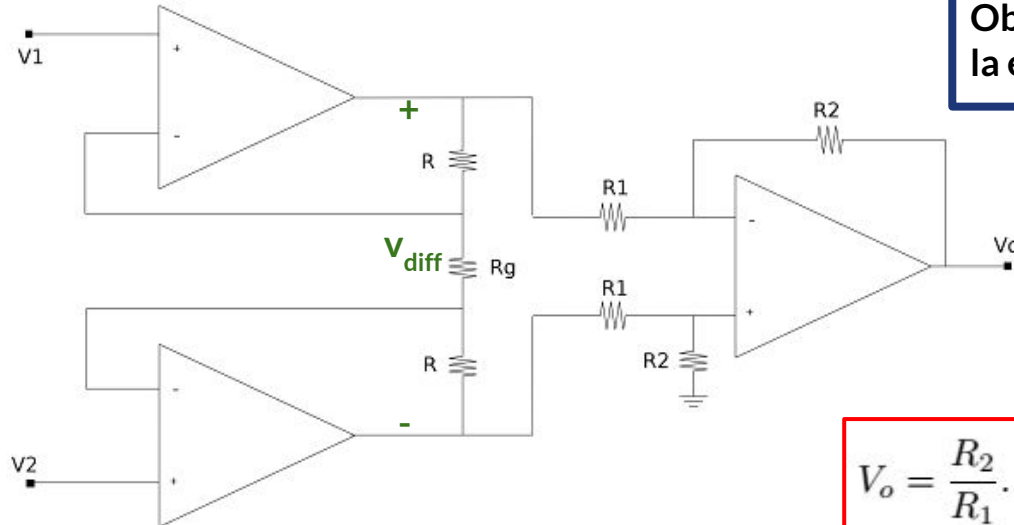


Sugerencia:
Para calcular V_{diff} observar que la corriente I_g que circula por las tres resistencias es la misma y utilizar cortocircuito virtual para determinar dicha corriente

Configuraciones básicas

Amplificador de instrumentación

Paso 3: Unir con la etapa 2



$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(1 + \frac{2R}{R_g}\right) \cdot (V_2 - V_1)$$



FIN