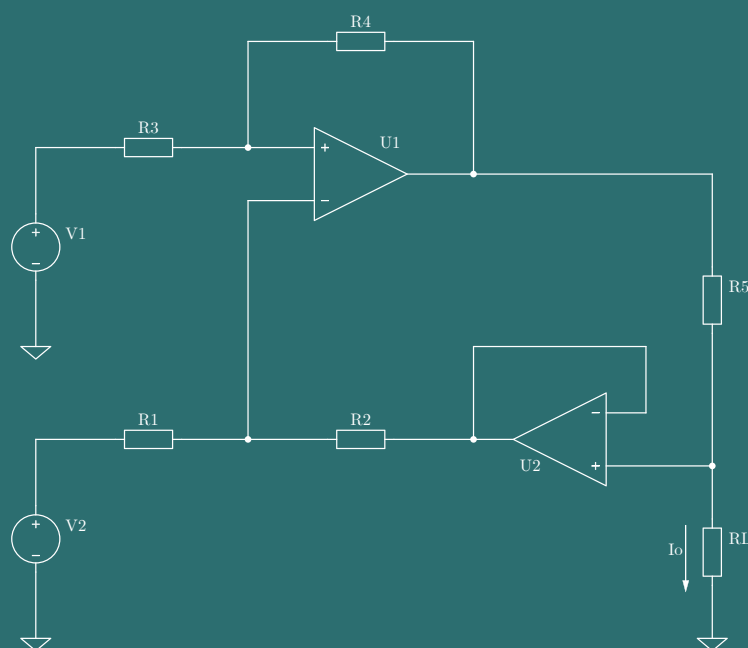



## Capítulo 1

# AMPLIFICADOR OPERACIONAL CIRCUITOS ELEMENTALES

**Rev. 4 - Julio 2024**

Candela Gioia, Agustín Gullino  
Lucía Ruiz, Javier Petrucci



A thick, solid teal diagonal stripe runs from the top-left corner to the bottom-right corner of the page, dividing the background into two triangular sections.

*Engineers like to solve problems. If there are no problems  
handily available, they will create their own problems.*

- Scott Adams

Rev. 4 - Julio 2024

Candela Gioia, Agustín Gullino, Lucía Ruiz, Javier Petrucci

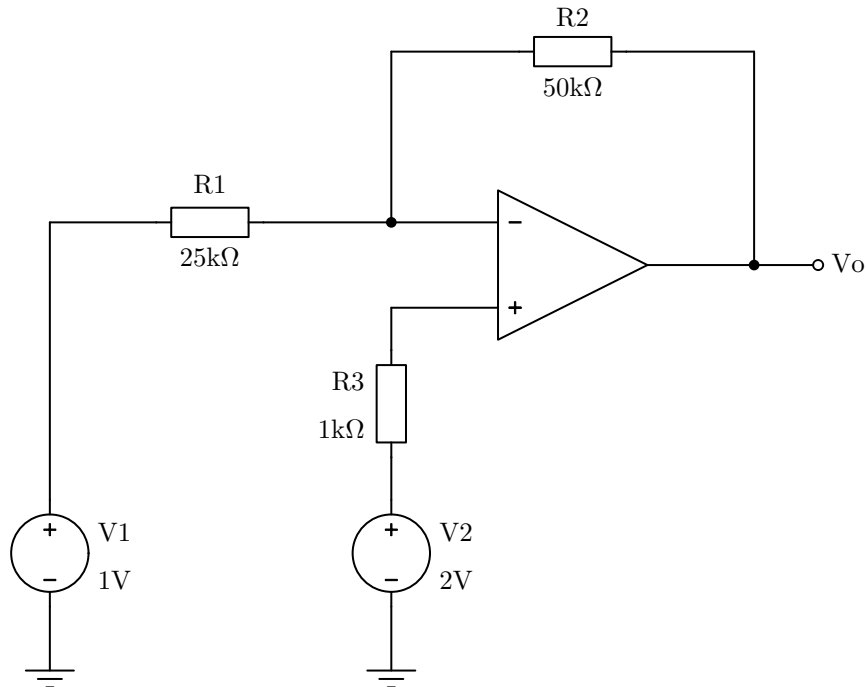
## Consideraciones

- La entrega en términos y completa suma 1 punto adicional en el Trabajo Práctico N°2.
- Fecha de entrega establecida en el cronograma.
- El conocimiento de los contenidos abordados es obligatorio. La entrega es opcional.
- Se considerará una resolución completa y correcta cuando los resultados hayan sido verificados mediante simulación, para lo cual se recomienda hacer uso de la biblioteca **TC-LIB** provista por la cátedra.

## Ejercicio 1.1

Para el siguiente circuito, donde el amplificador operacional es ideal, determine:

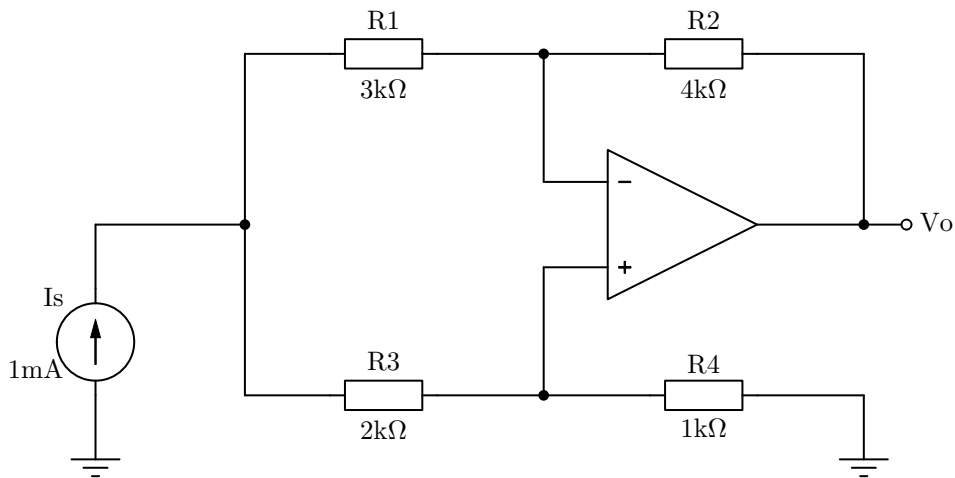
- La tensión de salida  $V_o$  (Nota: utilice el teorema de superposición).
- Si se reemplaza  $V_2$  por una fuente que genera una señal senoidal de amplitud  $2V$  y frecuencia  $100\text{ Hz}$ , grafique la señal de salida  $V_o$  en función del tiempo. En esta condición, ¿cuál es la función de la fuente  $V_1$ ?



**Ejercicio 1.2**

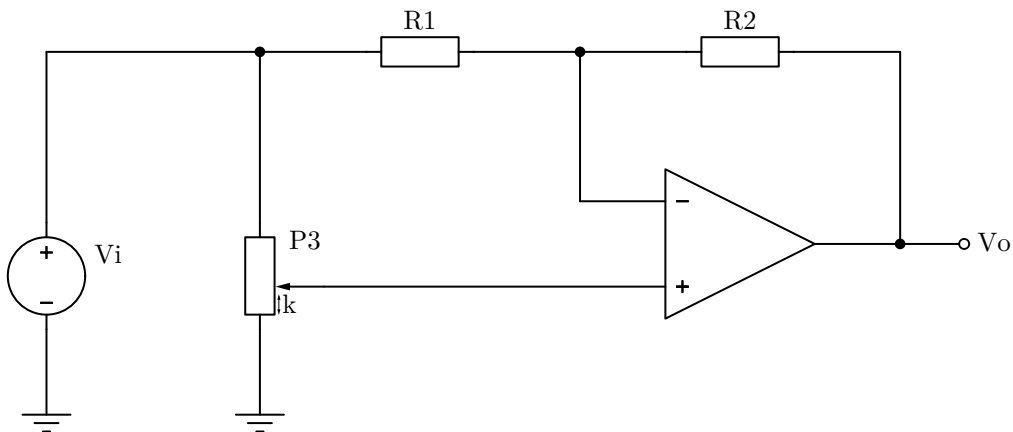
Para el circuito que se muestra en la siguiente figura, donde el amplificador operacional es ideal, determine:

- El valor de tensión en el terminal inversor y no inversor del operacional. ¿Puede emplearse el concepto de masa virtual? Justifique.
- El valor de la tensión de salida  $V_o$ .
- El valor de  $V_o$  si se conecta una resistencia de  $3k\Omega$  en paralelo con la fuente. (Nota: utilice transformación de fuentes).

**Ejercicio 1.3**

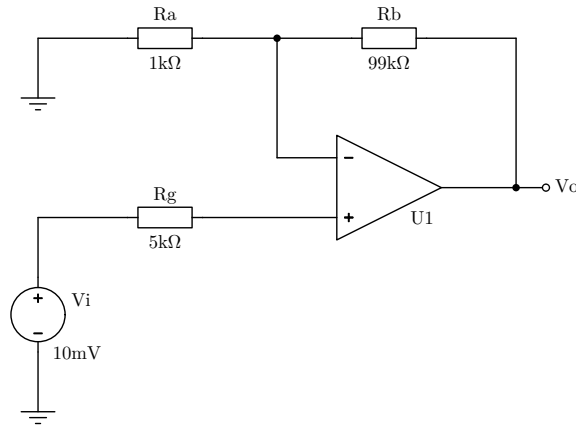
El siguiente circuito implementa un amplificador con ganancia variable. El parámetro  $k \in [0, 1]$  del potenciómetro denota la fracción de  $P_3$  entre el terminal no inversor y masa.

- Demuestre que al variar  $k$ , la ganancia  $G = \frac{V_o}{V_i}$  varía en el rango  $-\frac{R_2}{R_1} \leq G \leq 1 \frac{V}{V}$ .
- Es posible modificar el circuito para poder conseguir ganancias mayores a la unitaria, para esto se conecta una resistencia  $R_4$  entre la terminal inversora y masa. Determine el rango de ganancia del circuito modificado.
- Calcule valores de resistencia adecuados para lograr  $-5 \frac{V}{V} \leq G \leq 5 \frac{V}{V}$ .



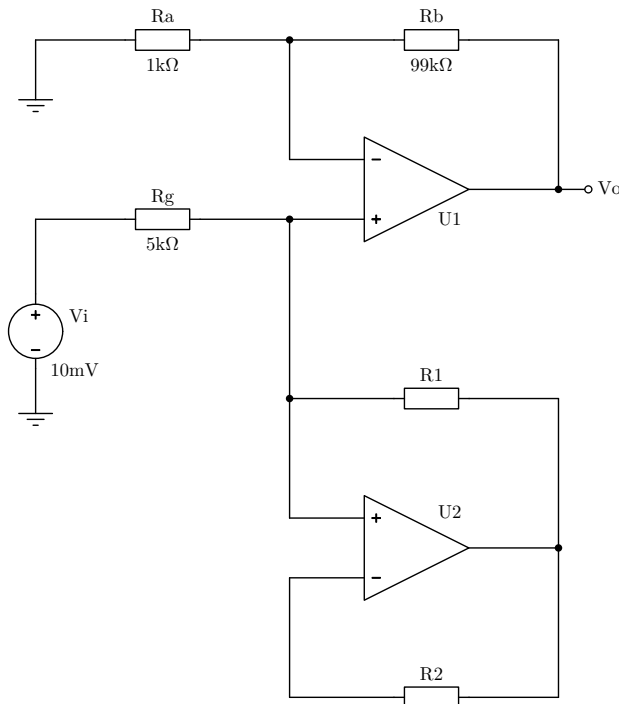
**Ejercicio 1.4**

En el siguiente circuito el generador representa un sensor que proporciona la representación de una magnitud física a través de una tensión continua de  $10\text{mV}$  la cual se desea amplificar para tener  $1\text{V}$  en la salida. A diferencia de lo esperado, se observa que en la salida hay  $6\text{V}$ .



- ¿A qué fenómenos que se manifiestan en un amplificador real se podría atribuir este efecto?
- Si la  $V_{Offset}$  es despreciable ¿Cuánto vale  $I_{bias}$ ?
- ¿Cuál es el sentido de  $I_{bias}$ ?

Para solucionar la distorsión impuesta por este efecto y disminuir la corriente que circula por  $R_g$ , se propone la siguiente configuración. Considere que los amplificadores operacionales U1 y U2 son idénticos.



- Analice cuál debería ser la mejora que se espera al agregar el operacional U2.
- Determine la relación entre  $R_1$  y  $R_2$  que permita obtener el comportamiento esperado para el amplificador.

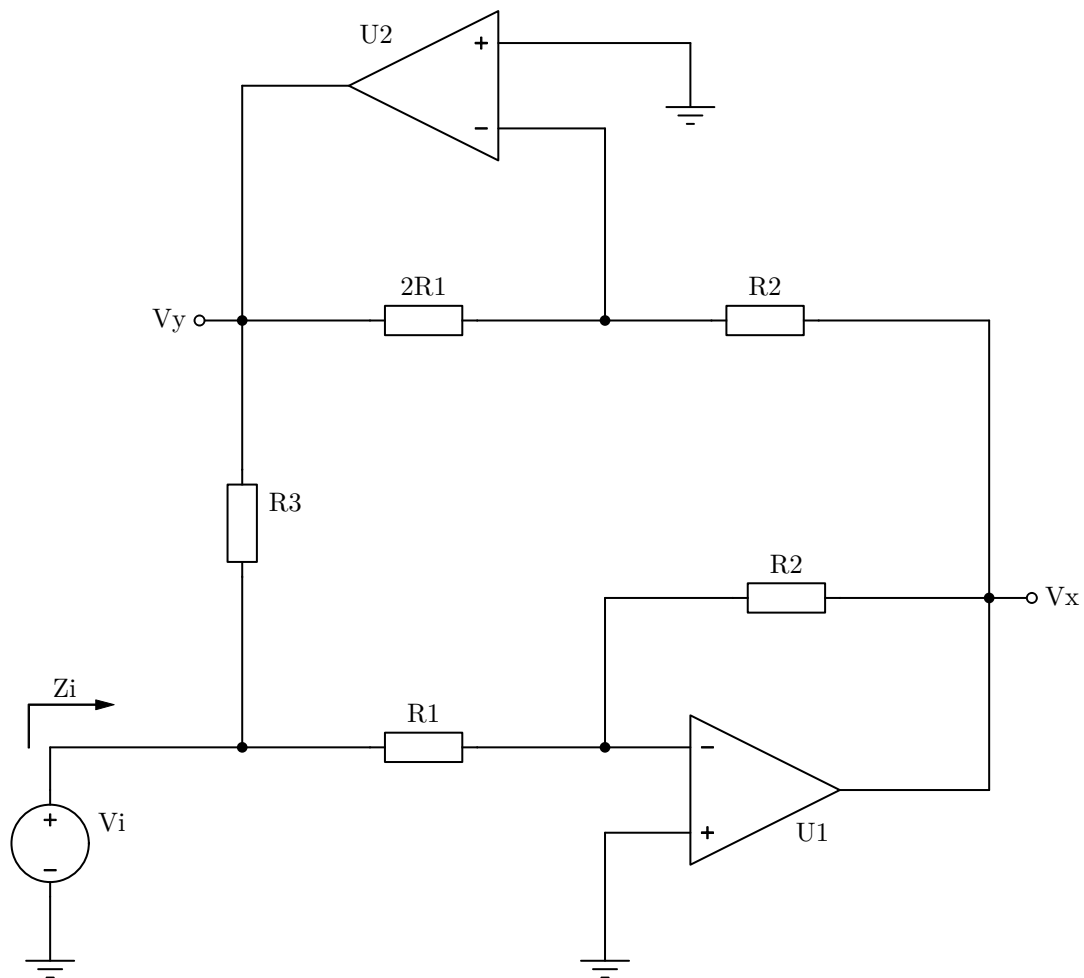
**Ejercicio 1.5**

El siguiente circuito implementa un amplificador inversor, sobre el cual se introduce una mejora que permite controlar la impedancia  $Z_i$  vista por  $V_i$

- Determine la relación  $\frac{V_x}{V_i}$  y la relación  $\frac{V_y}{V_x}$ .
- Realice un diagrama de bloques entre la tensión  $V_i$  y la tensión  $V_y$ . ¿En qué configuración se encuentra cada operacional?
- Muestre que la impedancia vista por el generador resulta:

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{R_1}{1 - \frac{R_1}{R_3}}$$

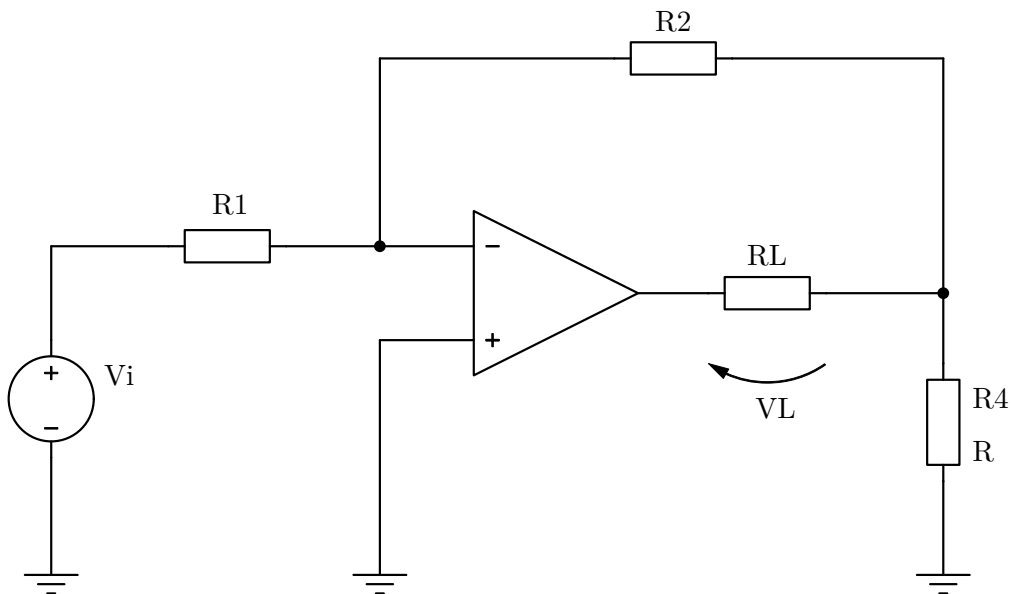
- ¿Qué relación de resistencias debe cumplirse para obtener una impedancia  $Z_i$  infinita?



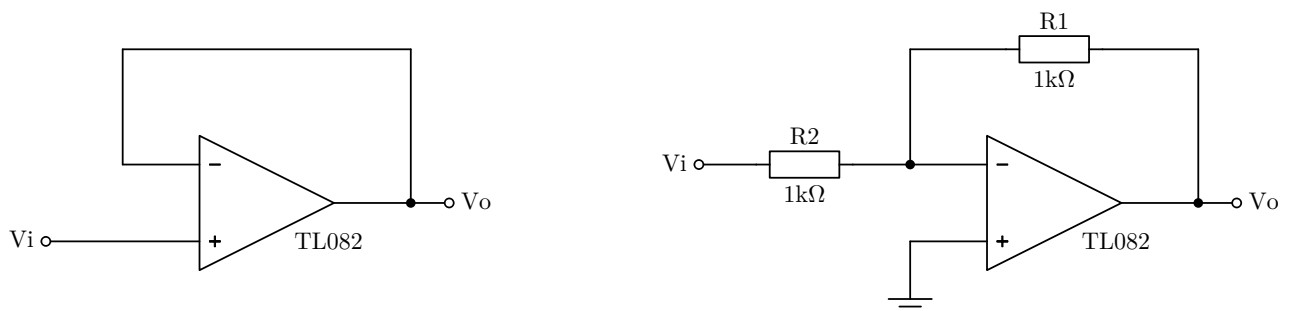
**Ejercicio 1.6**

El siguiente circuito implementa un convertor de tensión a corriente (V-I) de carga flotante.

- Demuestre que la corriente de salida en la carga es  $I_o = -\frac{V_i}{R_1} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_4}\right)$
- Determine la impedancia de entrada  $Z_i$  del circuito.
- Se quiere lograr una transconductancia de  $\frac{I_o}{V_i} = 1 \frac{mA}{V}$  y  $Z_i = 1M\Omega$ . Determine valores de resistencias.
- Con los valores anteriormente calculados, suponiendo que el amplificador operacional tiene una tensión de salida máxima  $V_{sat}$ , determine el valor de  $V_i$  para el cual se alcanza la condición de saturación, como función de  $R_L$  y  $V_{sat}$ .
- Considerando  $V_{sat} = 13V$ ,  $R_L = 1k\Omega$  y los valores calculados en el ítem c, encuentre el valor máximo que puede tomar  $V_i$ . ¿Qué sucede si  $R_L$  es muy pequeña?

**Ejercicio 1.7**

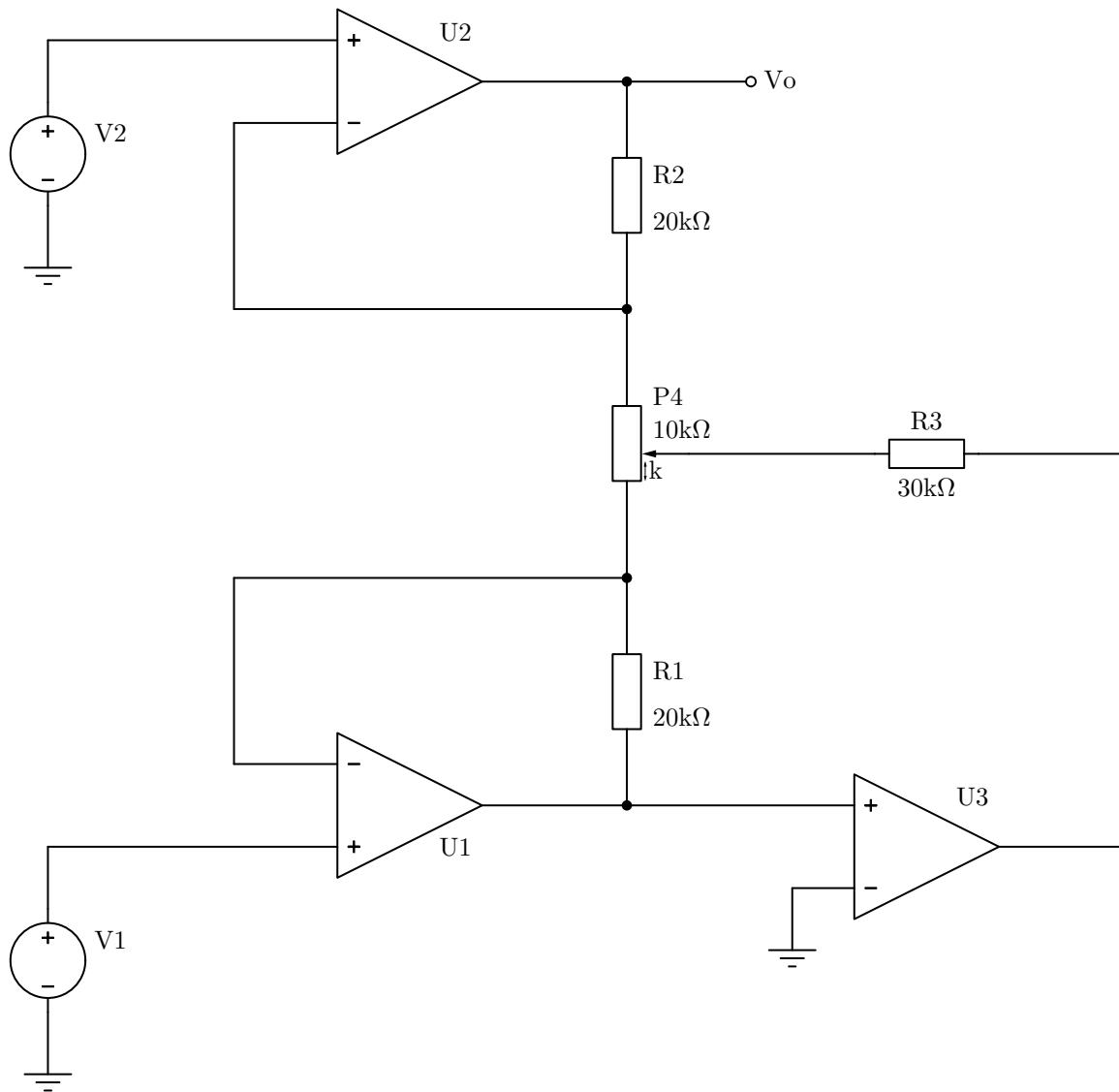
Las siguientes configuraciones son circuitos de ganancia unitaria realizados con TL082. El primero se denomina seguidor o *buffer*, y el segundo *buffer* inversor. Compare y estudie las ventajas y desventajas de cada circuito. Recuerde analizar las impedancias de entrada y los anchos de banda.



**Ejercicio 1.8**

El siguiente circuito implementa amplificador de instrumentación. Su propósito es amplificar la diferencia entre dos señales, de modo que  $V_o = K \cdot (V_2 - V_1)$ , donde  $K$  es la ganancia. Determine:

- La posición del cursor para cumplir con el objetivo de un amplificador instrumental (Nótese que esto maximiza el CMRR).
- La ganancia del circuito.

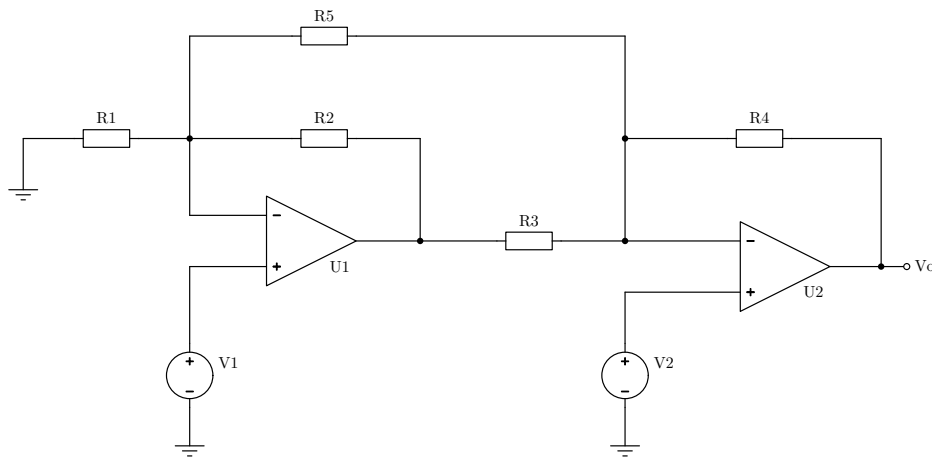




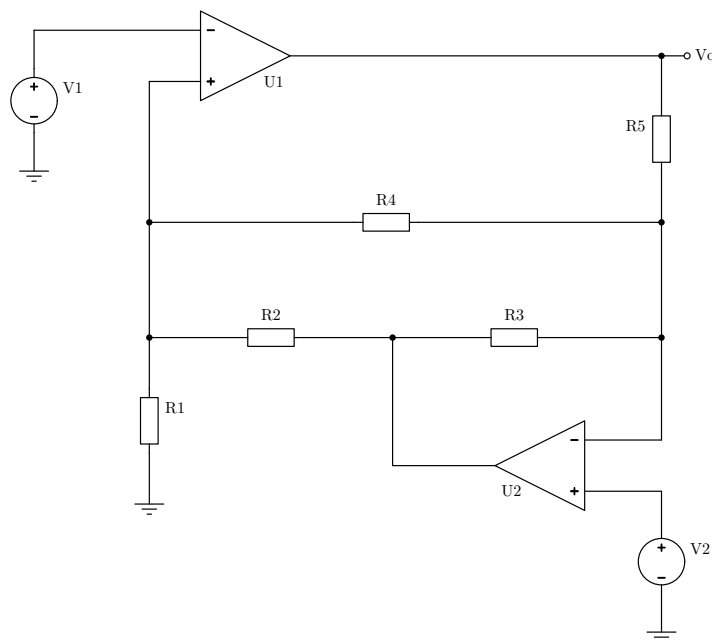
### Ejercicio 1.9

Los siguientes circuitos pueden ser utilizados como amplificadores de instrumentación. Para cada uno de ellos:

- Determine la ganancia  $\frac{V_o}{V_1}$  pasivando  $V_2$ .
- Determine la ganancia  $\frac{V_o}{V_2}$  pasivando  $V_1$ .
- Determine la relación de resistencias para que la tensión de salida  $V_o$  dependa únicamente de la diferencia de tensión  $V_2 - V_1$ .
- Bajo estas condiciones, indique la expresión de la ganancia.



Circuito a.

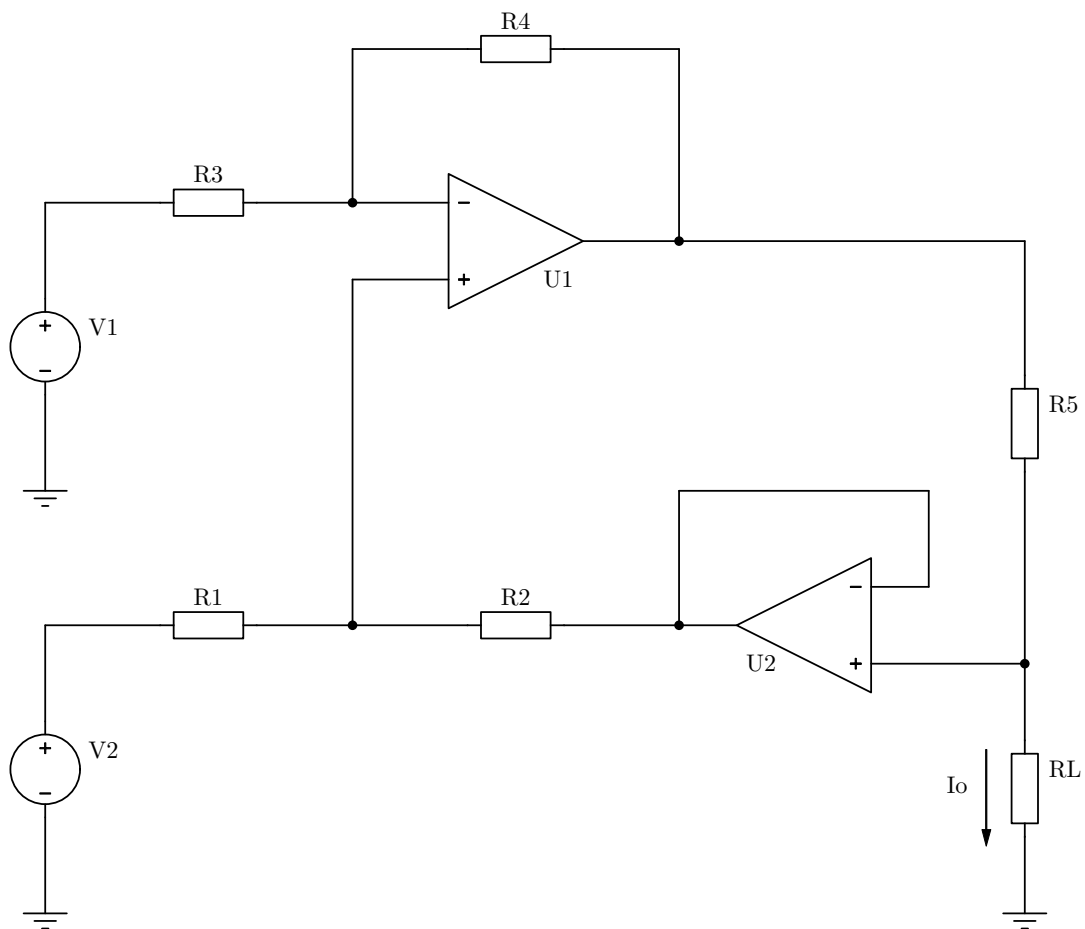


Circuito b.

**Ejercicio 1.10**

La siguiente configuración se conoce como fuente *Howland* mejorada, donde la salida  $I_o$ . Determine:

- La expresión de  $I_o$  en función de las resistencias y las tensiones  $V_1$  y  $V_2$ .
- La relación de las resistencias para que la corriente dependa solamente de la diferencia de tensión ( $V_2 - V_1$ ).
- ¿Cuál es la ventaja de que la corriente dependa de la diferencia de dos tensiones y no de una solamente como en la *Howland* estándar?



**Ejercicio 1.11**

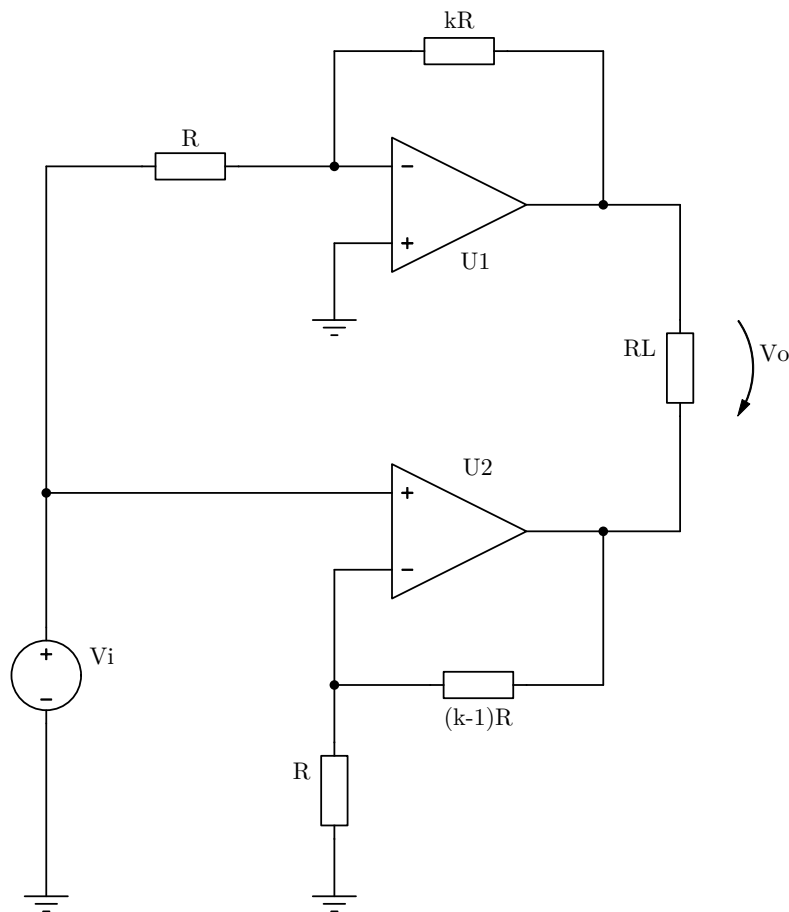
El siguiente circuito se conoce como amplificador puente y permite duplicar el rango lineal de salida respecto del obtenido con un solo amplificador. Se requiere que la carga no esté conectada a masa, lo que se denomina carga flotante.

Los amplificadores utilizados tienen una  $V_{sat} = \pm 13\text{ V}$  e  $I_{sat} = 20\text{ mA}$ .

- Identifique los bloques que conforman al circuito y la ganancia de cada uno.
- Demuestre que el parámetro  $k$  permite controlar la ganancia de la siguiente manera:

$$V_o = 2 \cdot k \cdot V_i$$

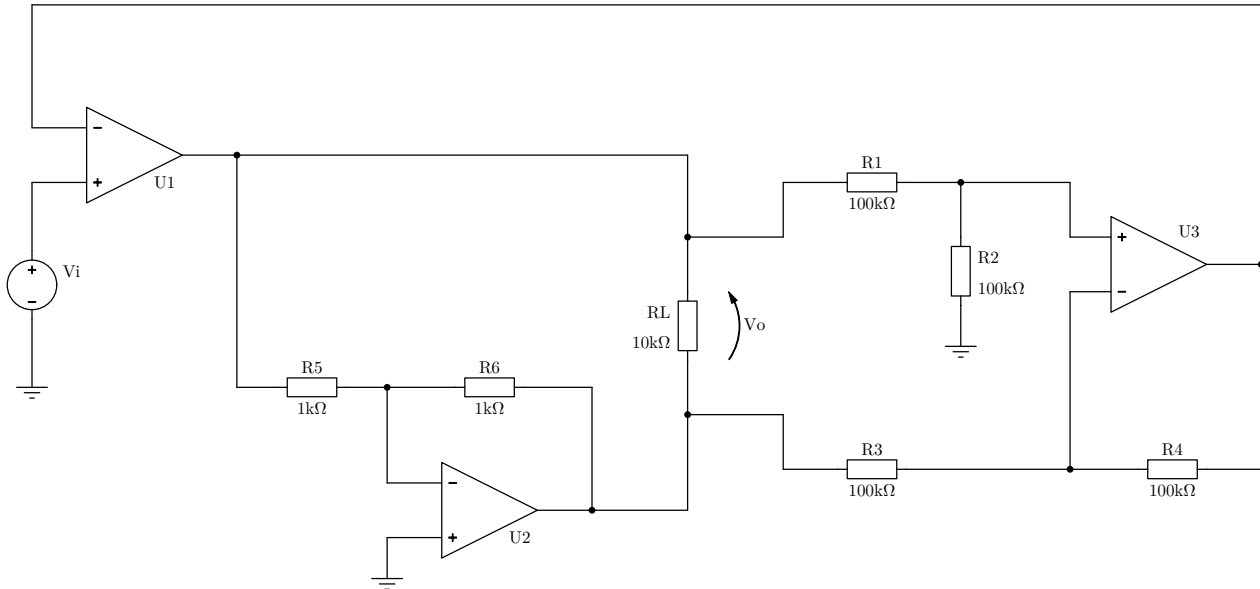
- Grafique  $V_o$  para un rango de  $V_i$  entre  $-20\text{ V}$  y  $20\text{ V}$ , con los siguientes valores de  $R_L$ :  $100\Omega$ ,  $1\text{ k}\Omega$  y  $10\text{ k}\Omega$ . ¿Qué sucede a medida que se aumenta la resistencia de carga?
- ¿Cuál es la máxima tensión pico a pico de salida que el circuito puede proveer sin recorte?



**Ejercicio 1.12**

Mediante el siguiente circuito se implementa un amplificador:

- Demuestre que la ganancia es unitaria.
- Proponga una mejora que permita configurar la ganancia del circuito.
- Analice cuál es el máximo valor de tensión pico sobre la carga en función de la ganancia  $\frac{V_o}{V_i}$  (Nota: observar las tensiones de salida en de cada operacional y tener en cuenta la saturación).

**Ejercicio 1.13**

Dado un amplificador operacional con  $|A|(100Hz) = 1 \frac{V}{mV}$  y  $|A|(1MHz) = 10 \frac{V}{V}$ :

- Realice el gráfico asintótico de bode del módulo  $|A|$  y determine la frecuencia del polo dominante.
- Determine el valor de GBWP.
- Encuentre la frecuencia para la cual  $|A| = 2 \frac{V}{V}$ .
- Realice el gráfico de la respuesta en frecuencia de la fase  $\angle A$ .
- Encuentre la frecuencia para la cual  $\angle A = -60^\circ$ .

**Ejercicio 1.14**

Considere un circuito compuesto por  $n$  amplificadores no inversores en cascada con ganancias individuales  $K_{NI}$ , que se construyen usando operacionales con frecuencia de cruce  $GBWP$ .

- a. Demuestre que el ancho de banda del circuito resultante es:

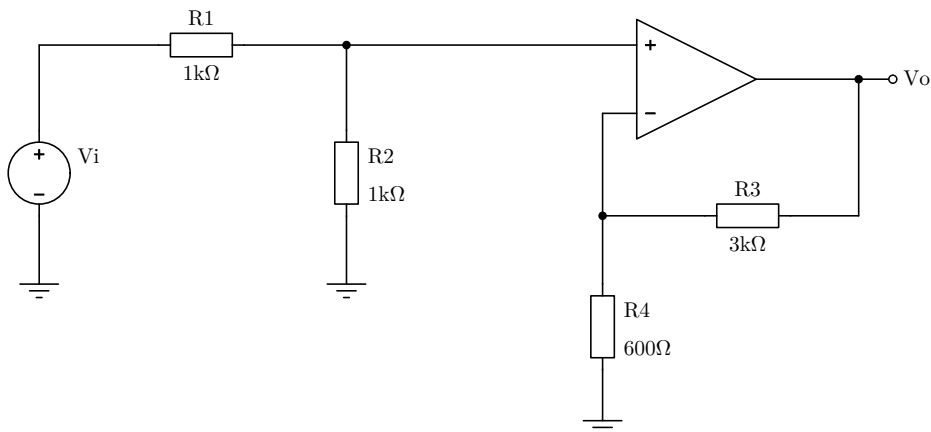
$$BW = \left( \frac{GBWP}{K_{NI}} \right) \sqrt{2^{1/n} - 1}$$

- b. Desarrolle una expresión similar para el caso de  $n$  amplificadores inversores con ganancias individuales  $K_I$ .

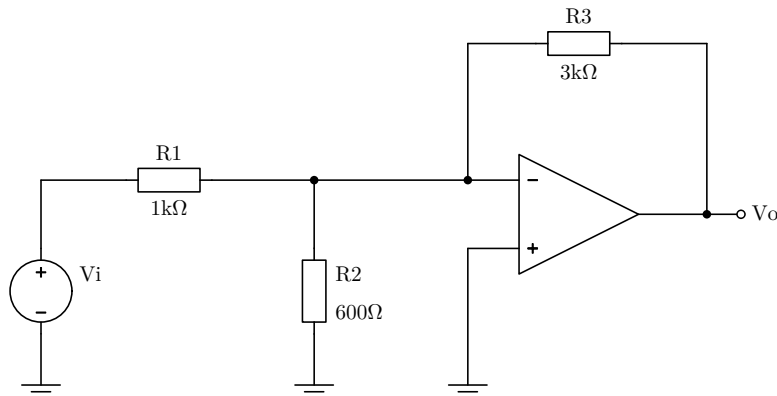
**Ejercicio 1.15**

La siguiente figura muestra dos circuitos, un inversor y no inversor implementados con el mismo amplificador operacional.

- a. Demuestre que las ganancias de los circuitos son equivalentes en módulo.  
b. Estime el ancho de banda para cada caso, considerando el modelo de amplificador operacional con polo dominante y  $GBWP$  de  $900kHz$ .



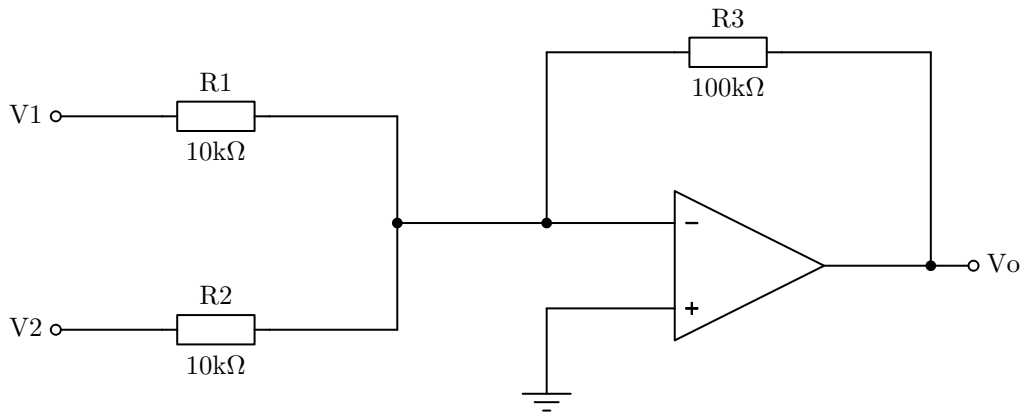
Circuito a.



Circuito b.

**Ejercicio 1.16**

El siguiente circuito se implementa con un amplificador operacional con  $A_o = 10000$  y una frecuencia de polo dominante  $f_1 = 10\text{Hz}$ .

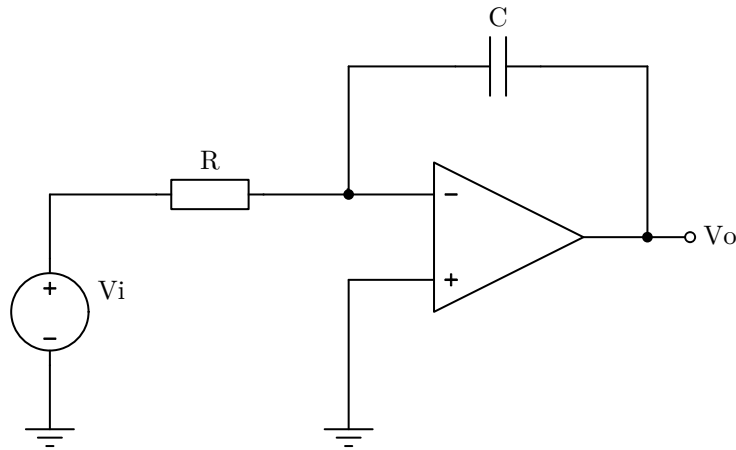


- Analice el funcionamiento del circuito. ¿Qué operación realiza?
- Determine la relación entre la tensión de salida y las tensiones de entrada.
- Halle su frecuencia de corte. ¿Es igual a la frecuencia de corte del circuito inversor? Recuerde que la frecuencia de corte es tal que  $|H(-j \cdot 2\pi f)| = G_0 - 3\text{dB}$ .
- Repita para el caso de 5 entradas tal que  $V_o = -10(V_1 + \dots + V_5)$ . Compare con el amplificador de el inciso (a).

**Ejercicio 1.17**

Dado un circuito integrador, donde el amplificador operacional se modela con un polo dominante mediante la siguiente aproximación  $A_v(s) = \frac{\omega_{BW}}{s}$ .

- a. Determine la transferencia del circuito. ¿Es un integrador ideal?



Se plantea la siguiente modificación al integrador:

- ¿Cuál es el objetivo de  $R_c$ ? (Nota: evaluar qué ocurre cuando en frecuencias bajas y altas).
- Obtenga la transferencia de la nueva configuración, y represéntela mediante un diagrama de polos y ceros.
- Encontrar el valor de  $R_c$  para que la transferencia sea equivalente a la de un integrador ideal. Represente la transferencia para este caso particular y analice la relación entre los ceros y las singularidades.

