



Interfaz de transductores



David Márquez
Jesús Calderón

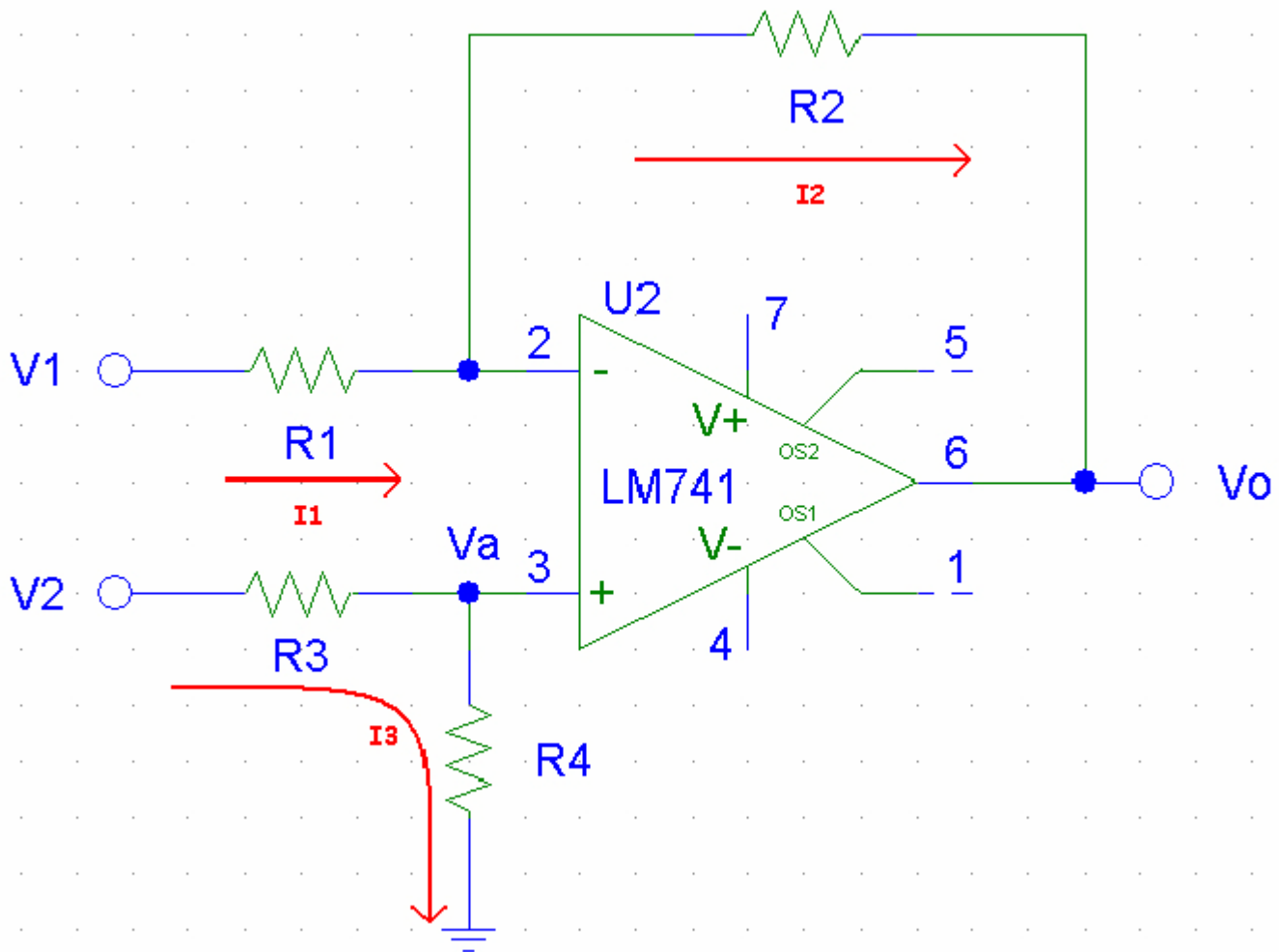


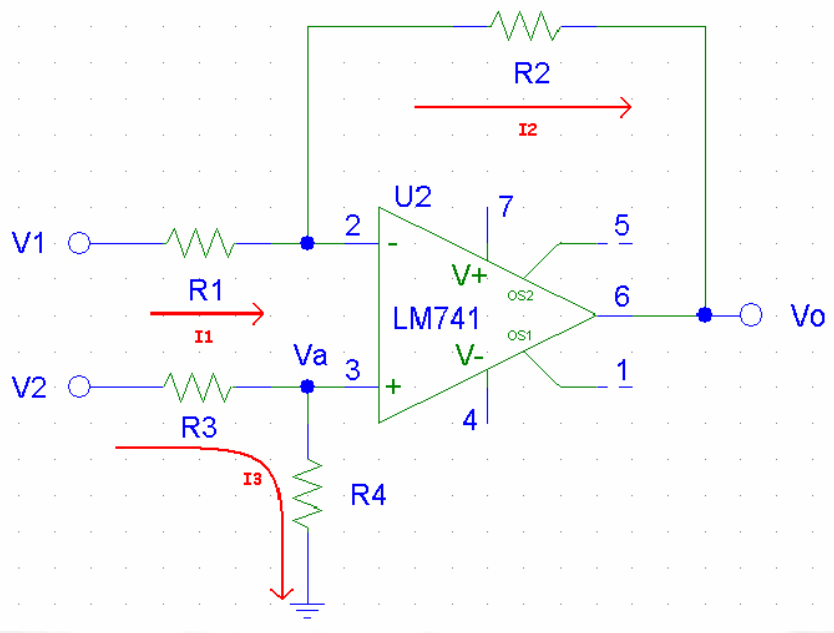
Agenda

- ✓ Amplificador diferencial
- ✓ Amplificador de instrumentación
- ✓ Rechazo de Modo Común en Amplificadores de Instrumentación
- ✓ Aplicaciones



Amplificador diferencial





$$I_1 = I_2$$

$$V_a = V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$I_1 = \frac{V_1 - V_a}{R_1} = \frac{V_1 - \left(V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)}{R_1}$$

$$V_o = V_a - I_1 R_2$$

$$V_o = V_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1} V_1$$



Voltaje diferencial

$$V_d = V_2 - V_1$$

V1 _____

Vc Voltaje Común

V2 _____

Voltaje común

$$V_c = \frac{V_2 + V_1}{2}$$

$$V_1 = V_c - \frac{V_d}{2} \qquad V_2 = V_c + \frac{V_d}{2}$$



Definimos V_o en función de la ganancia diferencial y ganancia común

$$V_o = G_d \cdot V_d + G_c \cdot V_c$$

Nos interesa que solo se amplifique la diferencia entre las tensiones de entrada, pero no la señal de modo común

$$G_c = \left. \frac{V_o}{V_c} \right|_{V_d=0} \quad V_d = V_2 - V_1 = 0 \quad V_2 = V_1$$

$$V_c = \frac{V_2 + V_1}{2} = \frac{2V_2}{2} = V_2 = V_1 = V_c$$



$$G_c = \frac{V_c}{V_c} \left[\left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1} \right]$$

$$G_c = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_3 + R_4}$$

$$G_c = \frac{(R_1 + R_2)R_4 - R_2(R_3 + R_4)}{R_1(R_3 + R_4)}$$

$$R_1 \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3 = 0$$



$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

Igualdad para que no exista ganancia común



Ganancia en modo diferencial (G_D)

$$G_D = \frac{V_o}{V_D} ; \text{ Cuando } V_c = 0$$

$$V_c = \frac{V_1 + V_2}{2} = 0$$

$$V_2 = -V_1$$

$$V_D = V_2 - V_1 = 2V_2$$

$$V_2 = \frac{V_D}{2}$$



De lo anterior obtenemos:

$$G_D = \frac{1}{2} \left[\left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} + \frac{R_2}{R_1} \right]$$

Tomando en cuenta que $G_c = 0$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} = K$$

$$G_D = \frac{1}{2} \left[(1 + K) \cdot \frac{K}{1 + K} + K \right] = K$$



$$G_D = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

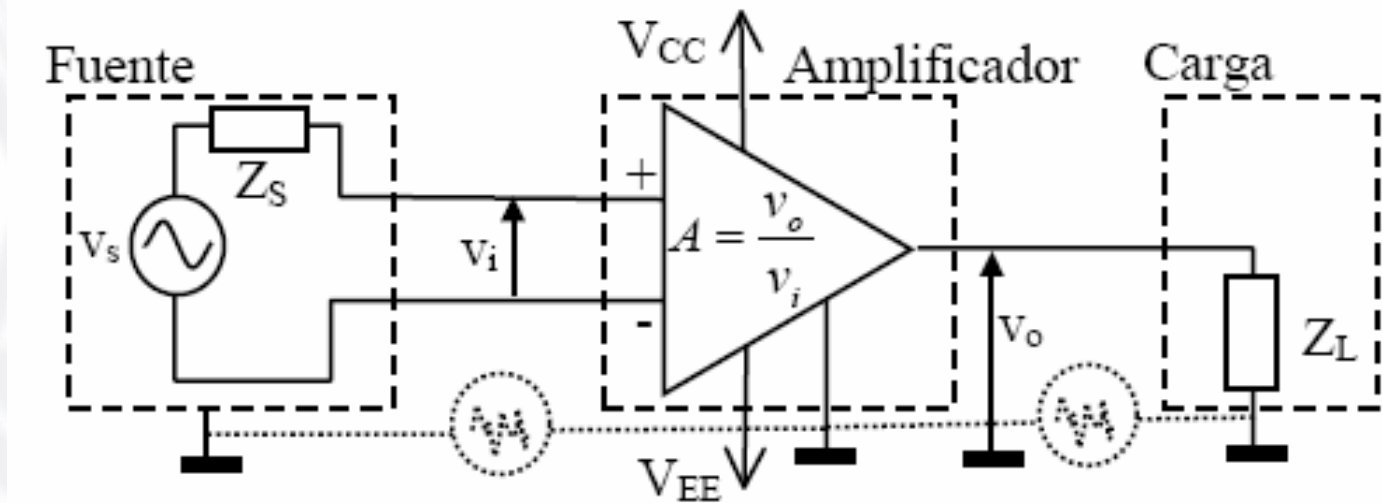
De lo anterior obtenemos:

$$V_o = K \cdot V_d$$



Amplificador de instrumentación

El amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial tensión-tensión cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y que ha sido optimizado para que opere de acuerdo a su propia especificación aún en un entorno hostil.





Características del amplificador de instrumentación

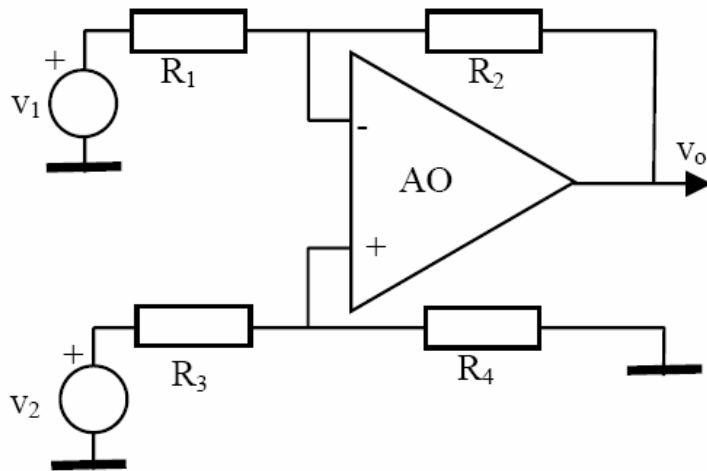
- 1) Son amplificadores diferenciales con una ganancia diferencial precisa y estable, generalmente en el rango de 1 a 1000.
- 2) Su ganancia diferencial se controlada mediante un único elemento analógicos (potenciómetro resistivo) o digital (conmutadores) lo que facilita su ajuste.
- 3) Su ganancia en modo común debe ser muy baja respecto de la ganancia diferencial, esto es, debe ofrecer un CMRR muy alto en todo el rango de frecuencia en que opera.
- 4) Una impedancia muy alta para que su ganancia no se vea afectada por la impedancia de la fuente de entrada.



- 5) Una impedancia de salida muy baja para que su ganancia no se vea afectada por la carga que se conecta a su salida.
- 6) Bajo nivel de las tensión de offset del amplificador y baja deriva en el tiempo y con la temperatura, a fin de poder trabajar con señales de continua muy pequeñas.
- 7) Un ancho de banda ajustado a la que se necesita en el diseño.
- 8) Un factor de ruido muy próximo a la unidad, Esto es, que no incremente el ruido.
- 9) Una razón de rechazo al rizado a la fuente de alimentación muy alto.



El amplificador diferencial básico construido con un amplificador operacional, satisface algunas de las características del amplificador de instrumentación.



$$v_o = -\frac{R_2}{R_1}v_1 + \frac{R_4}{R_3 + R_4}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)v_2$$

$$A_d = \frac{1}{2}\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_3 + R_4}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\right)$$

$$A_c = \frac{R_4R_1 - R_2R_3}{R_1(R_3 + R_4)}$$

Para que el amplificador se comporte como amplificador diferencial debe verificarse:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow \begin{cases} A_d = -\frac{R_2}{R_1} \\ A_c = 0 \end{cases}$$



El amplificador diferencial básico es un amplificador de instrumentación de muy bajas prestaciones, porque:

a) Requiere modificar dos componentes para modificar su ganancia diferencial, manteniendo la ganancia en modo común nula.

b) Es muy difícil conseguir CMRR muy altos. El $CMRR_{TOTAL}$ del circuito se degrada por dos causas:

- El amplificador operacional tiene un $CMRR_{AO}$ finito.

- Las resistencias difícilmente se pueden ajustar para que exactamente satisfagan la relación $R_1R_4=R_2R_3$, y en consecuencia se genera un $CMRR_R$

$$CMRR_R = \frac{A_d}{A_c} = \frac{1}{2} \frac{R_1R_4 + R_2R_3 + 2R_2R_4}{R_1R_4 - R_2R_3}$$



$$CMRR_R = \frac{A_d}{A_c} = \frac{1}{2} \frac{R_1 R_4 + R_2 R_3 + 2R_2 R_4}{R_1 R_4 - R_2 R_3}$$

resultando como combinación de ambos,

$$\frac{1}{CMRR_{TOTAL}} = \frac{1}{CMRR_{AO}} + \frac{1}{CMRR_R}$$

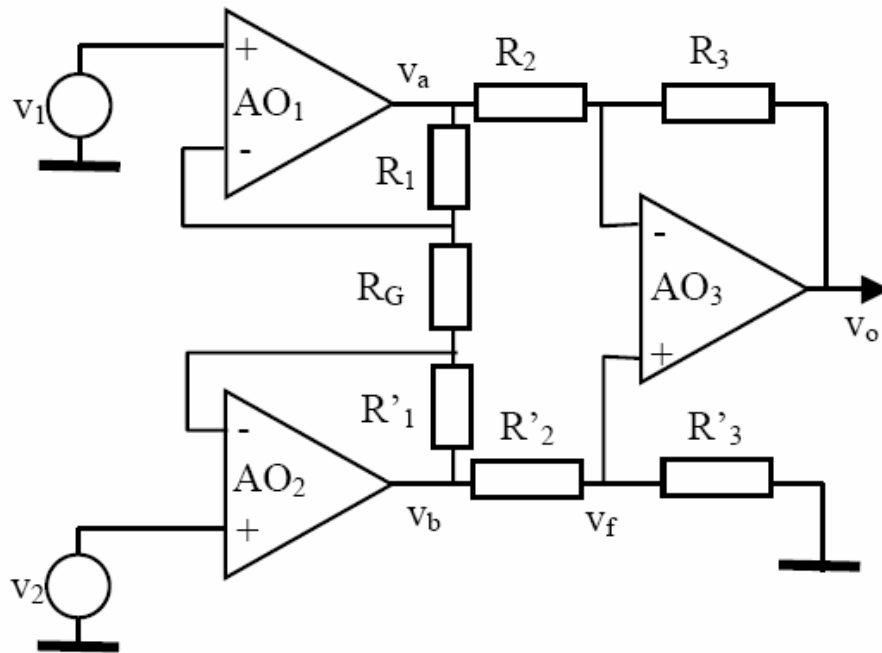
c) La impedancia de entrada es muy baja

$$Z_{id} = R_1 + R_3$$



Configuración básica de amplificador de instrumentación

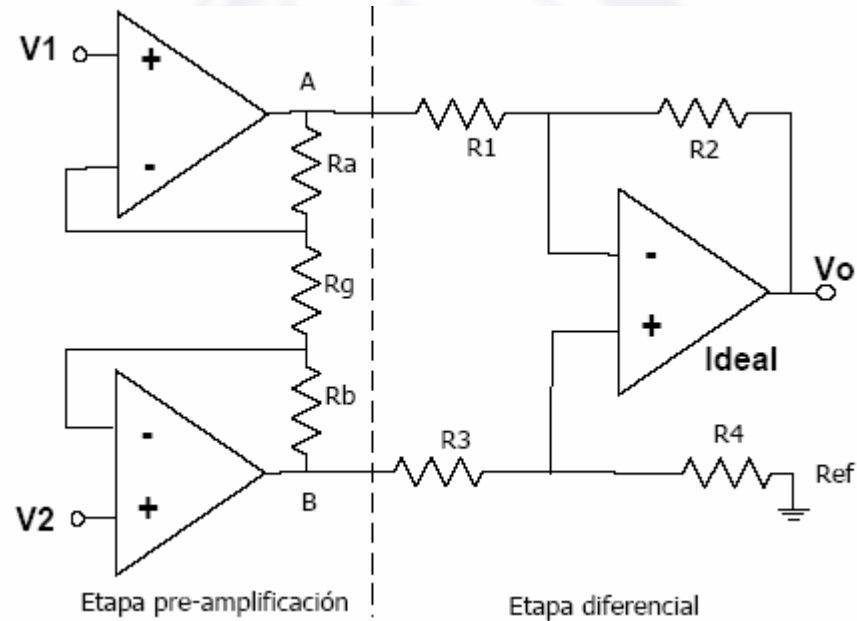
Una configuración utilizada como amplificador de instrumentación está constituido por tres amplificadores operacionales.



$$\frac{v_a - v_1}{R_1} = \frac{v_1 - v_2}{R_G} = \frac{v_2 - v_b}{R'_1}$$

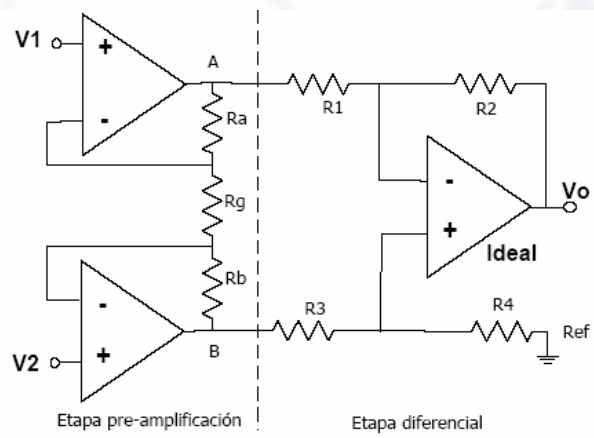
$$\frac{v_b - v_f}{R'_2} = \frac{v_f}{R'_3}$$

$$\frac{v_a - v_f}{R_2} = \frac{v_f - v_o}{R_3}$$



ETAPA PRE-AMPLIFICACIÓN

- Aumenta la impedancia de entrada del conjunto. Su configuración no inversora iguala la impedancia del circuito a la del AO.
- Suelen utilizarse operacionales con entradas basadas en FET para conseguir bajas corrientes de polarización.



Análisis:
 Buscamos VA y VB en función de V1 y de V2:

En el punto A

$$\frac{V_A - V_1}{R_A} = \frac{V_1 - V_2}{R_G}$$



$$V_A = V_1 \left(\frac{R_A}{R_G} + 1 \right) - \frac{R_A}{R_G} V_2$$

En el punto B

$$\frac{V_1 - V_2}{R_G} = \frac{V_2 - V_B}{R_B}$$



$$V_B = V_2 \left(\frac{R_B}{R_G} + 1 \right) - \frac{R_B}{R_G} V_1$$



Restando ambas expresiones tenemos:

$$V_B - V_A = V_2 - V_1 \left(\frac{Ra + Rb}{Rg} + 1 \right)$$

Observen que el paréntesis representa la ganancia diferencial de la etapa pre-amplificadora, y que variando R_g podremos variar la ganancia.



ETAPA DIFERENCIAL

En el estudio del amplificador diferencial, establecimos que:

$$v_o = \left(-\frac{R_2}{R_1} \right) \cdot v_A + \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot v_B$$

TOTAL

Sustituyendo las expresiones de v_A y de v_B por lo hallado en la etapa pre-amplificadora, y teniendo en cuenta las definiciones de v_d y v_c :

$$v_d = v_B - v_A \text{ y } v_c = (v_A + v_B)/2$$

$$v_o = -v_d \cdot \left[\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{R_b}{R_g} \right) + \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{1}{2} + \frac{R_a}{R_g} \right) \right] + v_{cm} \cdot \left[\frac{1 - \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \right]$$



De lo anterior deducimos que:

- La ganancia en modo común será cero (CMRR máximo) si

$$1 - \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4} = 0$$

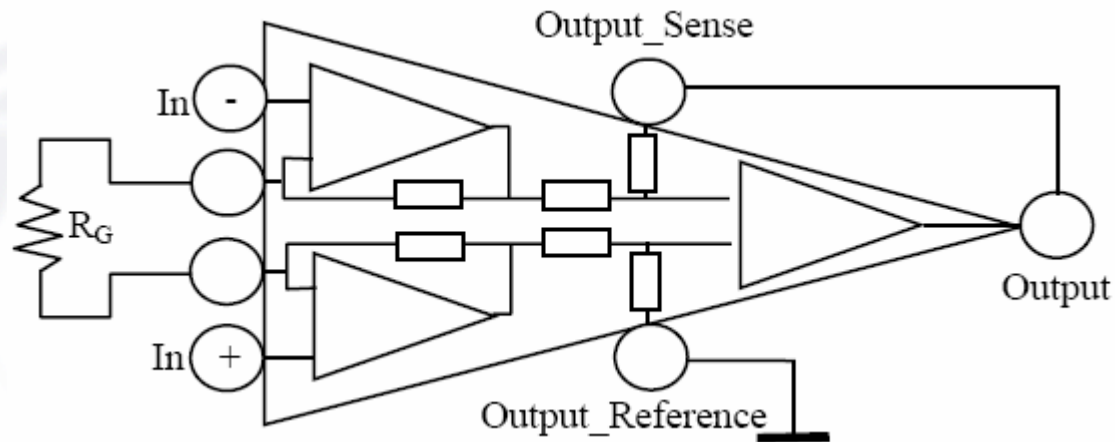
Esto se puede conseguir como se vio en el análisis del amplificador diferencial si $R_2/R_1 = R_4/R_3$.

- Si además para simplificar la expresión, imponemos que $2R_a/R_g = 2R_b/R_g$, es decir, $R_a = R_b$ Resulta:

$$A_d = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + 2 \frac{R_a}{R_g} \right)$$



Amplificador de instrumentación – Símbolo

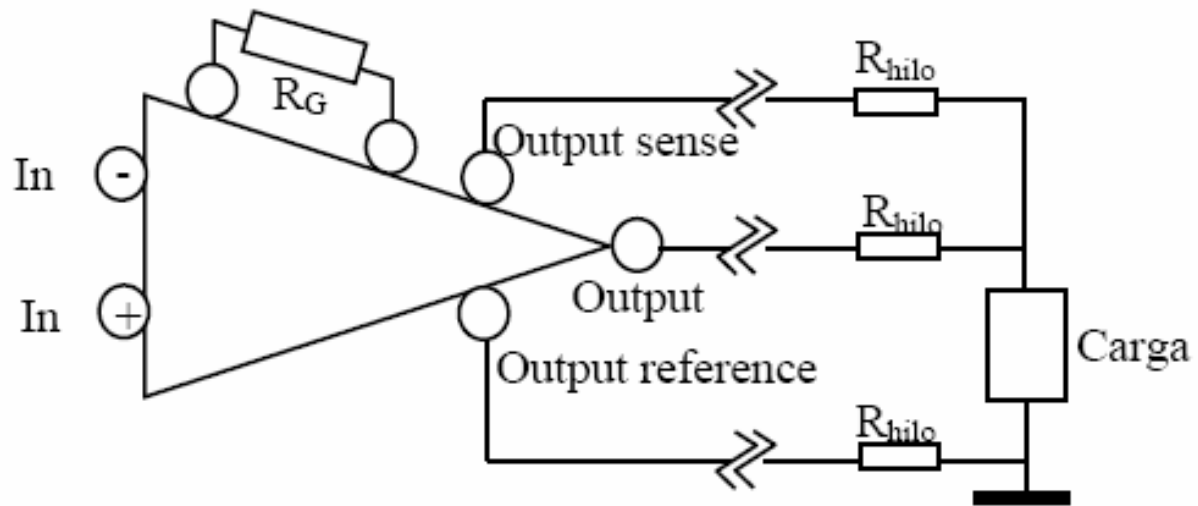


La resistencia R_G es externa al amplificador y es el elemento con el que el diseñador fija la ganancia diferencial del amplificador.

El terminal `Output_Reference` y `Output_Sense` permiten introducir dos resistencias (una de ellas ajustable) para maximizar el CMRR en el caso que se requiera. Así mismo, estos terminales pueden utilizarse para compensar los errores que podrían introducir los cables hasta la carga cuando estos son largos.



Amplificador de instrumentación – Símbolo

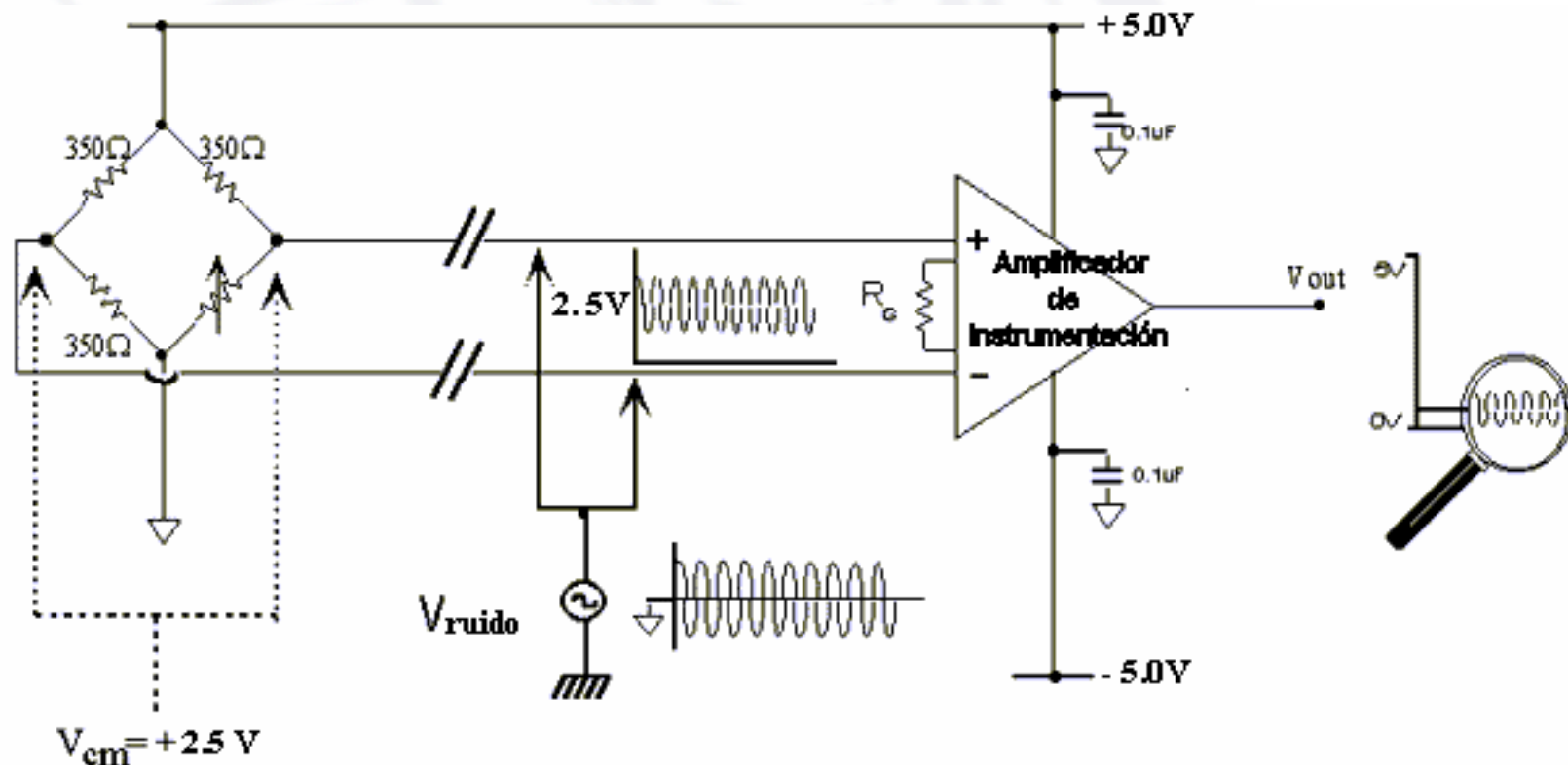




Rechazo de Modo Común en Amplificadores de Instrumentación

Existen en equipos industriales, de electromedicina, y en otras muchas aplicaciones, la necesidad de medir señales muy pequeñas del orden de microvoltios o pocos milivoltios en la presencia de comparativamente grandes señales de ruido provenientes de distintas fuentes, como puede ser motores, tubos de iluminación de descarga gaseosa, y la siempre presente inducción de la frecuencia de línea de alimentación. Para realizar las mencionadas mediciones estos deberán utilizar en su entrada Amplificadores de Instrumentación con un adecuada Relación Rechazo de Modo Común (CMRR).

Esquema básico de medición



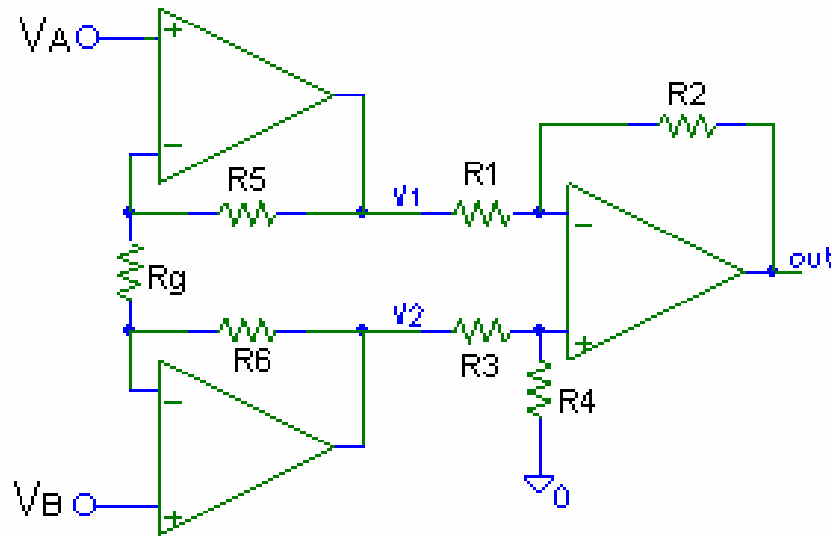
Al Amplificador de Instrumentación ingresan dos señales de modo común: una de c.c. de $+2.5\text{ V}$ provenientes del puentes de resistencias y otra de c.a. V_{ruido} inducida sobre los cables de entrada al amplificador.-



Para cuantificar la calidad del Amplificador de Instrumentación, se especifica la llamada Relación de Rechazo de Modo Común (CMRR) que matemáticamente se expresa como:

$$CMRR[db] = 20 \cdot \log \left(\frac{A_D}{A_C} \right)$$

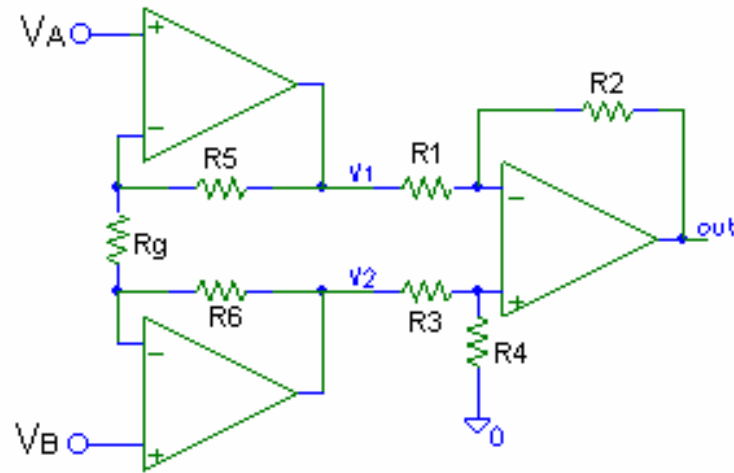
$$V_o = \frac{A_D}{\log^{-1} \left(\frac{CMRR}{20} \right)} \cdot V_C$$



Amplificación Diferencial

En este amplificador se acostumbra a hacer $R5=R6=R$; $R1=R3$ y $R2=R4$ y como ya vimos la amplificación diferencial será:

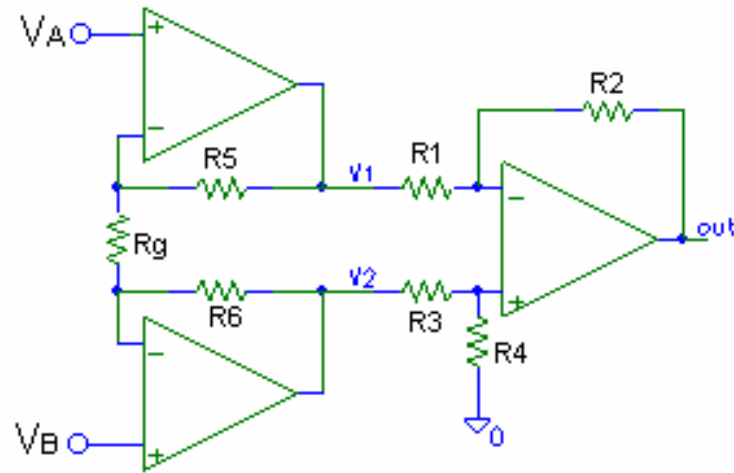
$$A_D = \frac{V_o}{V_b - V_a} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(1 + \frac{2R}{R_g} \right)$$



Amplificación de Modo Común

Considerando $V_A = V_B = V_c$ y como los amplificadores de entrada están en una configuración simétrica, la misma tensión aparece en V_1 y V_2 , de manera que de las ecuaciones vistas anteriormente en amplificadores diferencia, surge que:

$$\frac{V_o}{V_c} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} - \frac{R_2}{R_1}$$



$$CMRR = 20 \cdot \log \left[\frac{A_D}{\left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} - \frac{R_2}{R_1} \right)} \right]$$

La CMRR depende de la A_D y del cuidado en seleccionar los valores de las resistencias, ya sea para que sean lo más iguales posibles o sus relaciones de unas a otras sean lo más exactas posibles.

