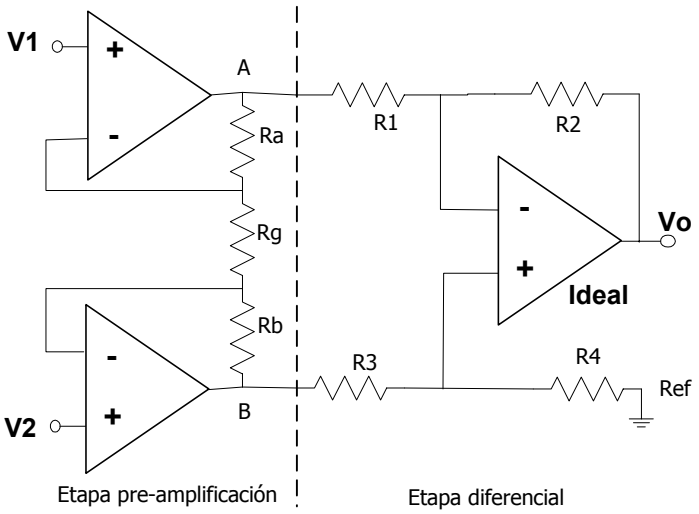
4.3.- EL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

Ante las exigencias de medida que imponen los sensores, se necesitan amplificadores específicos llamados de instrumentación que deben cumplir unos requisitos generales:

- Ganancia: seleccionable, estable, lineal.
- Entrada diferencial: con CMRR alto.
- Error despreciable debido a las corrientes y tensiones de offset
- Impedancia de entrada alta
- Impedancia de salida baja

4.3.1.1.- Basado en tres AO



ETAPA PRE-AMPLIFICACIÓN

- Aumenta la impedancia de entrada del conjunto. Gracias a su configuracion 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 V_A y V_B en función de V_1 y de V_2:

Aplicamos c.c. virtual y planteamos Kirschoff de corrientes en el punto A:

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

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

De igual forma en el punto B:

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

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

Restando ambas expresiones, obtenemos:

$$\boxed{V_B - V_A = V_2 - V_1\left(\frac{Ra+Rb}{Rg}+1\right)}$$ ***Ecuación 3***

> Observar que el paréntesis representa la ganancia diferencial de la etapa pre-amplificadora, y que variando Rg podremos variar la ganancia.

ETAPA DIFERENCIAL

En el estudio del amplificador diferencial, establecimos una ecuación que llevada a este circuito:

$$v_o = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)\cdot V_A + \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\cdot\left(\frac{R_4}{R_3+R_4}\right)\cdot v_B$$ ***Ecuación 4***

TOTAL

Sustituyendo en la ecuación 4 las expresiones de V_A y de V_B por lo hallado en la etapa pre-amplificadora, y teniendo en cuenta las definiciones de Vd y Vcm: $Vd = V_B - V_A$ y $Vcm = (V_A+V_B)/2$

Llegaríamos a:

$$Vo = -Vd\cdot\left[\frac{1+\frac{R_2}{R_1}}{1+\frac{R_3}{R_4}}\cdot\left(\frac{1}{2}+\frac{Rb}{Rg}\right)+\frac{R_2}{R_1}\left(\frac{1}{2}+\frac{Ra}{Rg}\right)\right]+Vcm\cdot\left[\frac{1-\frac{R_2R_3}{R_1R_4}}{1+\frac{R_3}{R_4}}\right]$$

De donde se deduce que:

- La ganancia en modo común será cero (i.e. CMRR máximo) si $1-\frac{R_2R_3}{R_1R_4}=0$. Esto se puede conseguir como ya salió en el análisis del amplificador diferencial si $R_2/R_1 = R_4/R_3$.
- Si además para simplificar la expresión, imponemos que $2Ra/Rg = 2Rb/Rg$, es decir, $Ra = Rb$ Resulta:

$$Ad = \frac{R_2}{R_1}\left(1 + 2\frac{Ra}{Rg}\right)$$

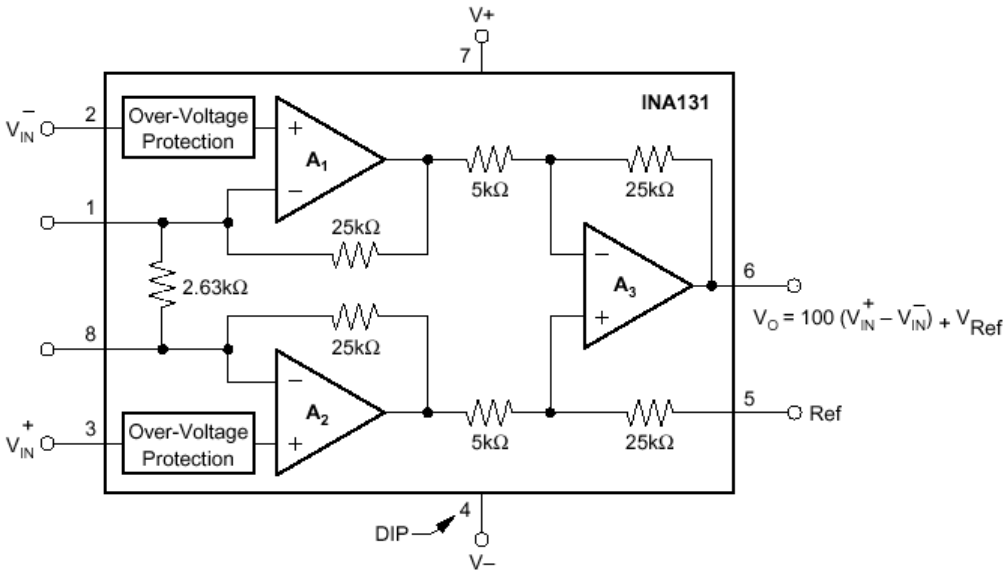
> Observar que Rg me permite variar la ganancia sin afectar al CMRR

Si NO conectamos el terminal ref a masa, sino a otra tensión de referencia obtendríamos:

Vo = Ad (V+ -V-) +Vref

INTEGRADO: BURR-BROWN INA-131

Demostrar la función de transferencia del circuito integrado INA-131, si Vref se conecta a masa.



Comparando el esquema interno con el analizado anteriormente:

Ra = Rb = 25 KΩ R_1=R_3 = 5 KΩ R_2=R_4 = 25 KΩ Rg=2'63 kΩ

Ganancia de la etapa pre-amplificadora:

La ganancia diferencial de esta parte quedaba definida en la ecuación 3:

$$Ad_1 = \left(\frac{Ra + Rb}{Rg} + 1\right) = \frac{25K\Omega + 25K\Omega}{2'63K\Omega} + 1 = 20{,}011 \approx 26 \text{ dB}$$

Ganancia de la etapa diferencial:

Según vimos en el estudio del amplificador diferencial, cuando R_1=R_3 y R_2=R_4 la ganancia viene dada por:

$$Ad_2 = \left(\frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{25K\Omega}{5K\Omega} = 5 \approx 14 \text{ dB}$$

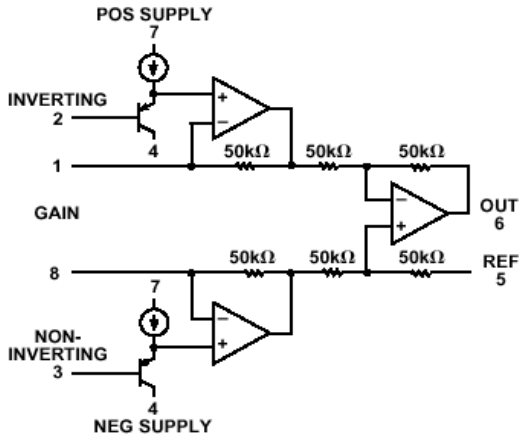
Ganancia total

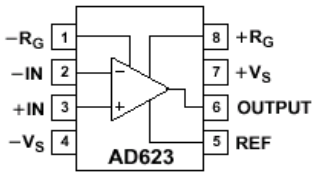
La ganancia total será el producto de ambas, $Ad = Ad_1 \cdot Ad_2$ y se aproximará por tanto a 100.

$Ad\ (dB) = Ad_1\ (dB) + Ad_2\ (dB) = 26\ dB + 14\ dB = 40\ dB$

- ***PROPUESTO: ¿Qué resistencia en paralelo debemos poner para obtener una ganancia de 200?***

INTEGRADO: AD623





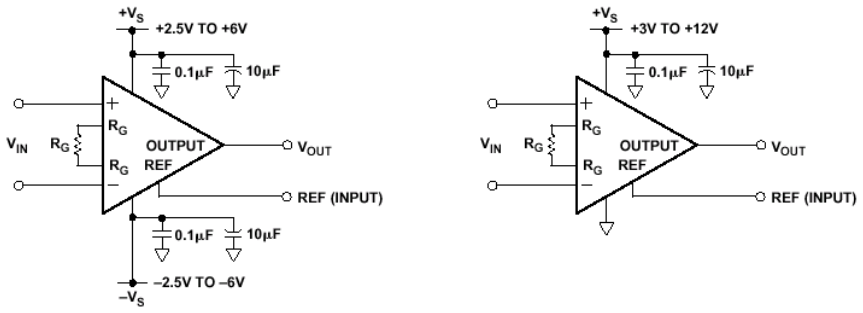
- Como puede verse en la configuración interna simplificada todas las resistencias valen ***50 kΩ***.
- La resistencia R_G debe colocarla el usuario.
- El fabricante especifica que la ganancia debe estar entre 1 (i.e. sin resistencia externa R_G) y 1000. La expresión para la ganancia diferencial es:

  $V_o/V_i = 1+100\ K\Omega/R_G$

- ***Propuesto: Comprobar la ecuación dada por el fabricante teniendo en cuenta las ecuaciones anteriores.***

4.3.2.- SÍMBOLO

En los diagramas circuitales suele usarse el siguiente símbolo para el amplificador de instrumentación. Observar la resistencia R_G dibujada externamente:

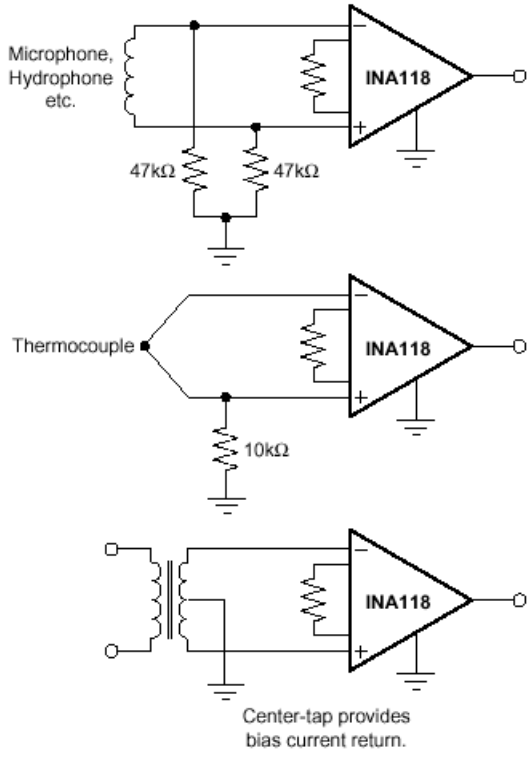


a. Dual Supply *b. Single Supply*

Figure 41. Basic Connections

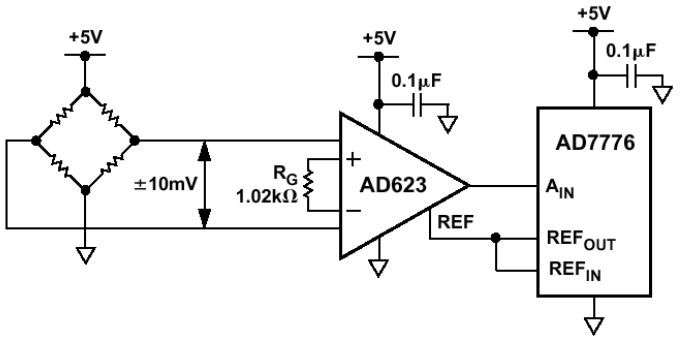
Los condensadores en las patillas de alimentación tienen como misión derivar a tierra el ruido añadido al DC.

4.3.3.- EJEMPLOS DE APLICACIÓN



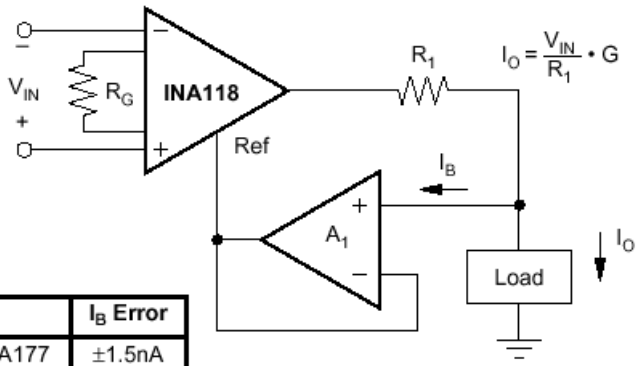
Hay que proporcionar caminos de retorno para las corrientes de polarización. En el caso del transformador, este se produce a través de la toma central del secundario.

CONEXIÓN DE UNA SALIDA BIPOLAR A UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS CON ALIMENTACIÓN UNIPOLAR



- El puente de Wheastone es exicitado con tensión +5V lo que provoca una tensión de modo común de 2'5 V. La salida del puente es de ± 10mV de tensión diferencial máxima.
- El AD623 elimina prácticamente la tensión de modo común y amplifica la señal en un factor 100 (R_{GAIN} = 1.02 k **Ω**). Tenemos por tanto un rango de señal de ±1 V. A esta tensión hay que añadir la tensión REF que está conectada a REF_{OUT} del conversor A/D (proporciona 2V). Por lo tanto el rango de salida del AD623 es de 2V ±1 V.
- El AD7776 es un conversor A/D de 10 bits de 1 canal con alimentación unipolar de +5V. El rango de señal en la entrada A_{IN} es **REFin ± REFin/2**. El ADC proporciona un valor constante de 2 V mediante la patilla REF_{OUT}. Conectando REF_{IN} con REF_{OUT} establecemos un offset de 2V, quedando un rango de A_{IN} a 2V ±1 V.

CONVERSOR DE TENSIÓN DIFERENCIAL A CORRIENTE



A_1	I_B Error
OPA177	±1.5nA
OPA602	±1pA
OPA128	±75fA

Comprobar el circuito, teniendo en cuenta que la función de transferencia del INA118 es

Vo = Vin ·G + Vref

Dependiendo del operacional A1 que seleccionemos, la corriente de polarización I_B producirá un error en la medida

- ***PROPUESTO: Calcular el circuito y el error mencionado para que una entrada VIN = ± 50 μV produzca una corriente de ± 1 mA***

AMPLIFICACIÓN DE LAS ENTRADAS DE UNA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Especificaciones del amplificador de ganancia programable de las tarjetas de adquisición de datos National Instruments NI-6013, NI-6014:

Amplifier Characteristics

Input impedance

Device	Normal Powered On	Powered Off	Overload
6013 6014	100 GΩ in parallel with 100 pF	820 Ω	820 Ω

Input bias and offset current

Device	Bias Current	Offset Current
6013 6014	±200 pA	±100 pA

CMRR, DC to 60 Hz

Device	Range	Bipolar CMRR
6013	20 V	85 dB
6014	10 V	85 dB
	1 V	94 dB
	100 mV	95 dB

Dynamic Characteristics

Small Signal (-3 dB) Bandwidth..... 425 kHz

System noise (LSB_{rms}, including quantization)

Device	Range	Bipolar
6013	10 to 20 V	0.8
6014	1 V	1.0
	100 mV	6.0

Settling time to full-scale step

Device	Range	Accuracy	
		±0.0031% (±2 LSB)	±0.0061% (±4 LSB)
6013	1 to 20 V	5 μs max	–
6014	100 mV	–	5 μs typical

Crosstalk

Device	Adjacent Channels	All Other Channels
6013 6014	-75 dB	-90 dB

✍ Observar la diferencia en la impedancia de entrada cuando el amplificador está alimentado y cuando no.