



# Puente de Wheatstone

A photograph of a physical Wheatstone bridge circuit built on a yellow board. The circuit consists of four resistors forming a diamond shape, connected by green wires. A central galvanometer is connected between the two midpoints. A battery is connected to the top and bottom nodes. Arrows indicate the current flow through the circuit.

## Introducción

Un puente de Wheatstone es un circuito que se utiliza para medir un cambio de resistencia entre un conjunto de elementos resistivos. El circuito tiene dos ramas resistivas paralelas que actúan como divisores de tensión. La salida de cada divisor de resistencia está nominalmente a una tensión de alimentación dividida por dos. Sin carga aplicada, el cambio en la resistencia de los elementos,  $\Delta R$ , es igual a cero. Suponiendo un sistema ideal donde la resistencia nominal de cada elemento es  $R$ , cada divisor de tensión tiene el mismo potencial y la tensión de salida del puente diferencial,  $V_{out}$ , es cero.

Cuando se aplica una carga, uno o más de los elementos cambian la resistencia de modo que  $\Delta R \neq 0 \Omega$ . Este provoca un cambio en  $V_{out}$  que se puede calcular con mucha precisión haciendo una medición diferencial a través del puente. La figura 1 muestra la configuración básica de un circuito puente simple que utiliza elementos resistivos.

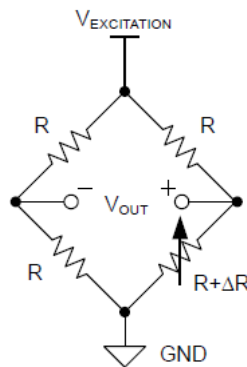


Figura 1: representación de un puente de Wheatstone

## Estudio de un puente de Wheatstone

El circuito de puente básico se construye utilizando elementos resistivos con un único elemento variable en el puente. Este elemento es un transductor resistivo que traduce algún parámetro físico en un cambio en la resistencia. El cambio en la resistencia es proporcional a un cambio en el parámetro físico, la medición de  $\Delta R$  produce una medición precisa en representación de la propiedad física que se está detectando.

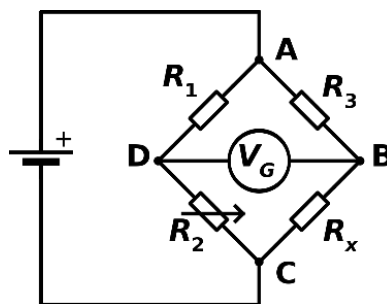


Figura 2: ejemplo de uso del puente



## Aplicaciones

- Galgas extensiométricas
- Sensores de temperatura
- Sensores de presión
- Hallar el valor de una R desconocida

Resistencia de sensores	
Galgas extensiométricas	120 $\Omega$ – 350 $\Omega$ – 3500 $\Omega$
Celdas de carga	350 $\Omega$ – 3500 $\Omega$
Sensores de presión	350 $\Omega$ – 3500 $\Omega$
Humedad relativa	100 k $\Omega$ – 10 M $\Omega$
RTD	100 $\Omega$ – 1000 $\Omega$
Termistores	100 $\Omega$ – 10 M $\Omega$

## Cálculo para hallar una $R_x$ incógnita

Para entender el funcionamiento del puente, estudiaremos las ramas por separado las ramas del puente. Por ejemplo, comenzaremos con la rama derecha:

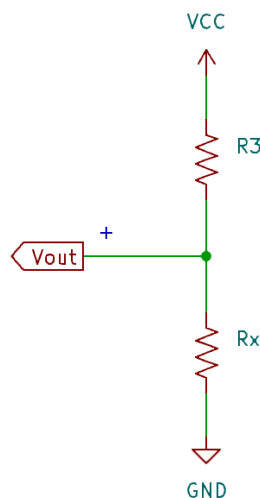


Figura 3: rama derecha del puente

$$V_{out} = \frac{R_x}{R_x + R_3} V_{cc}$$



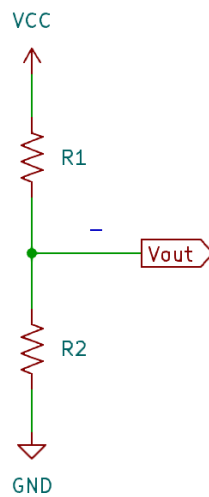


Figura 4: rama izquierda del puente

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{cc}$$

Para una medición diferencial, tenemos que:

$$V_{out} = \frac{R_x}{R_x + R_3} V_{cc} - \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{cc}$$

$$V_{out} = V_{cc} \left( \frac{R_x}{R_x + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_1} \right)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{cc}} = \frac{R_x}{R_x + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

$$\frac{R_x}{R_x + R_3} = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$



$$R_x (R_2 + R_1) = R_2 (R_x + R_3)$$

$$R_x R_2 + R_x R_1 = R_2 R_x + R_2 R_3$$

$$R_x R_1 = R_2 R_3$$

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

## Análisis de linealidad

Para analizar el puente considerando un cambio resistivo  $\Delta R$  en una de las ramas del puente, haremos el mismo estudio que realizamos anteriormente:

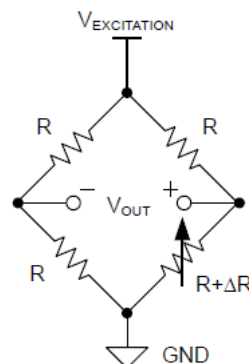


Figura 5: puente con un sensor variable

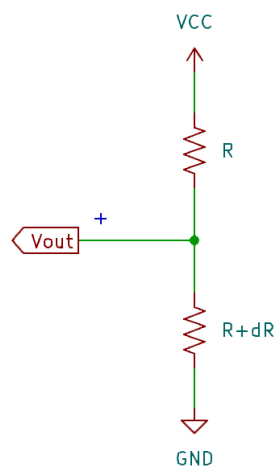


Figura 6: rama derecha del puente



$$V_{out} = \frac{R + \Delta R}{R + R + \Delta R} V_{cc}$$

$$V_{out} = \frac{R + \Delta R}{2 R + \Delta R} V_{cc}$$

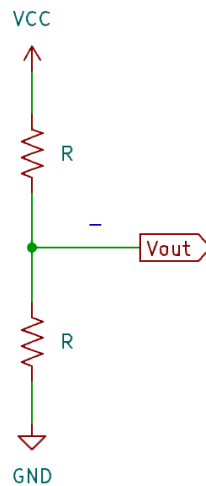


Figura 7: rama izquierda del puente

$$V_{out} = \frac{R}{2 R} V_{cc}$$

Para una medición diferencial, tenemos que:

$$V_{out} = \frac{R + \Delta R}{2 R + \Delta R} V_{cc} - \frac{R}{2 R} V_{cc}$$

$$V_{out} = V_{cc} \left( \frac{R + \Delta R}{2 R + \Delta R} - \frac{R}{2 R} \right)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{cc}} = \frac{R + \Delta R}{2 R + \Delta R} - \frac{R}{2 R}$$



$$V_{out} = V_{cc} \left( \frac{R + \Delta R}{2R + \Delta R} - \frac{1}{2} \right)$$

$$V_{out} = V_{cc} \left( \frac{2(R + \Delta R) - (2R + \Delta R)}{4R + 2\Delta R} \right)$$

$$V_{out} = V_{cc} \left( \frac{2R + 2\Delta R - 2R - \Delta R}{4R + 2\Delta R} \right)$$

$$V_{out} = V_{cc} \left( \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R} \right)$$

$$V_{out} = \frac{V_{cc}}{2} \left( \frac{\Delta R}{2R + \Delta R} \right)$$

## Ejemplo 1:

$$V_{cc} = 5 \text{ V}$$

$$R = 100 \, \Omega$$

$$\Delta R = 1000 \, \Omega$$

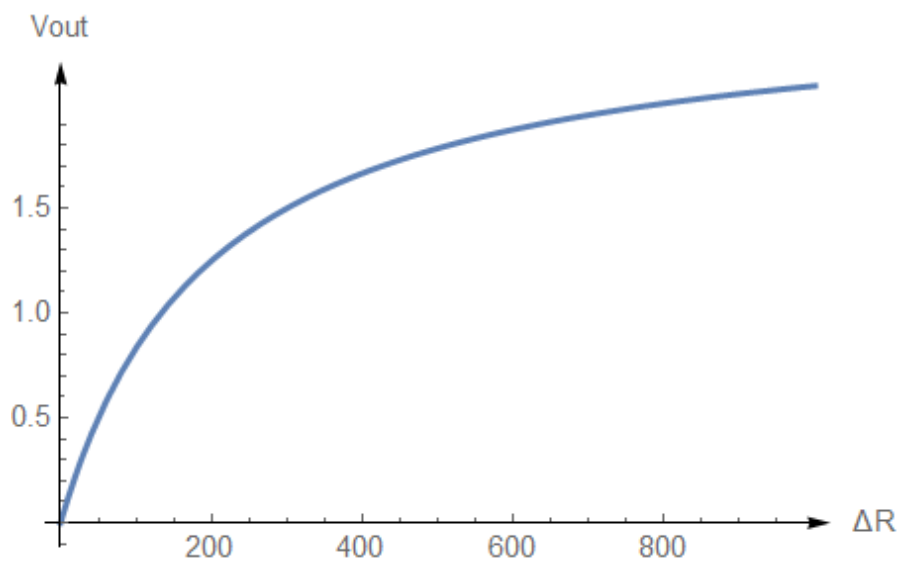


Figura 8: gráfica del ejemplo 1



## Ejemplo 2:

$$V_{cc} = 5\text{ V}$$

$$R = 1000\ \Omega$$

$$\Delta R = 1\ \Omega$$

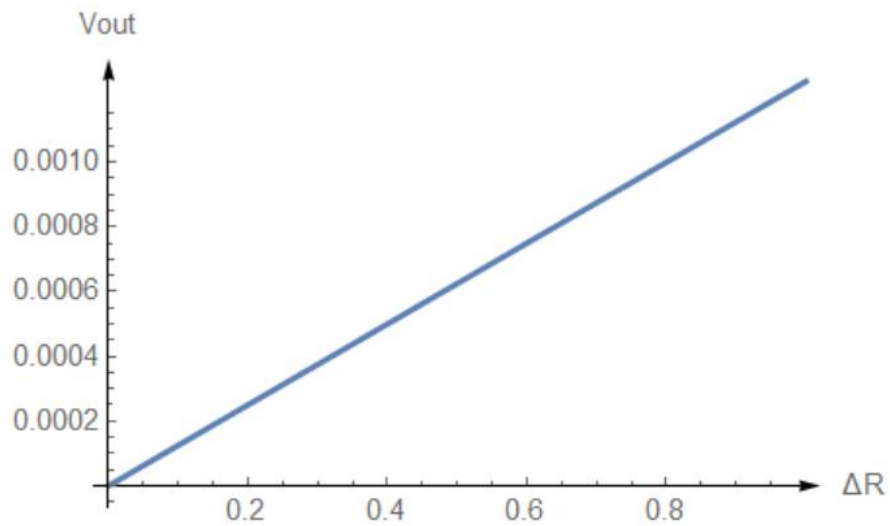


Figura 9: gráfica del ejemplo 2

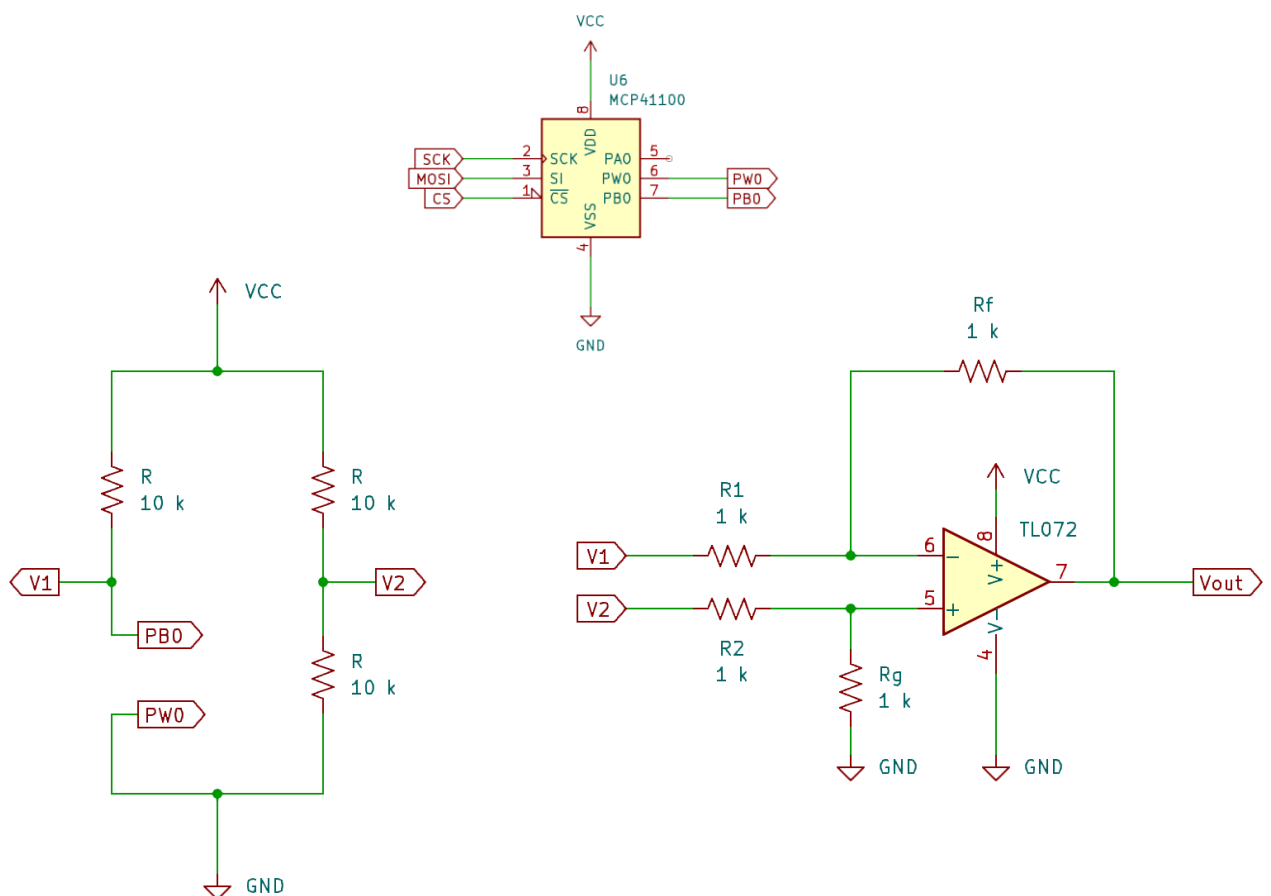


Figura 10: simulación de  $\Delta R$





## Técnica para reducir la NO-linealidad del puente de Wheatstone

Es posible reducir la no linealidad del puente utilizando una fuente de corriente constante en lugar de excitar el circuito con una fuente de tensión.

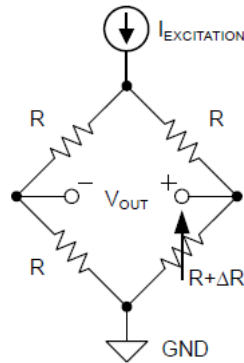


Figura 11: puente con fuente de corriente constante

La ecuación siguiente calcula la tensión de salida cuando la corriente de excitación se divide entre cada rama del puente:

$$V_{out} = I (R + \Delta R) \left( \frac{2 R}{4 R + \Delta R} \right) - I R \left( \frac{2 R + \Delta R}{4 R + \Delta R} \right)$$

$$V_{out} = I \left( \frac{2 R^2 + 2 R \Delta R - (2 R^2 + R \Delta R)}{4 R + \Delta R} \right)$$

$$V_{out} = I R \left( \frac{\Delta R}{4 R + \Delta R} \right)$$



## Ejemplo 3:

$$I = 0,05 \text{ A}$$

$$R = 100 \, \Omega$$

$$\Delta R = 1000 \, \Omega$$

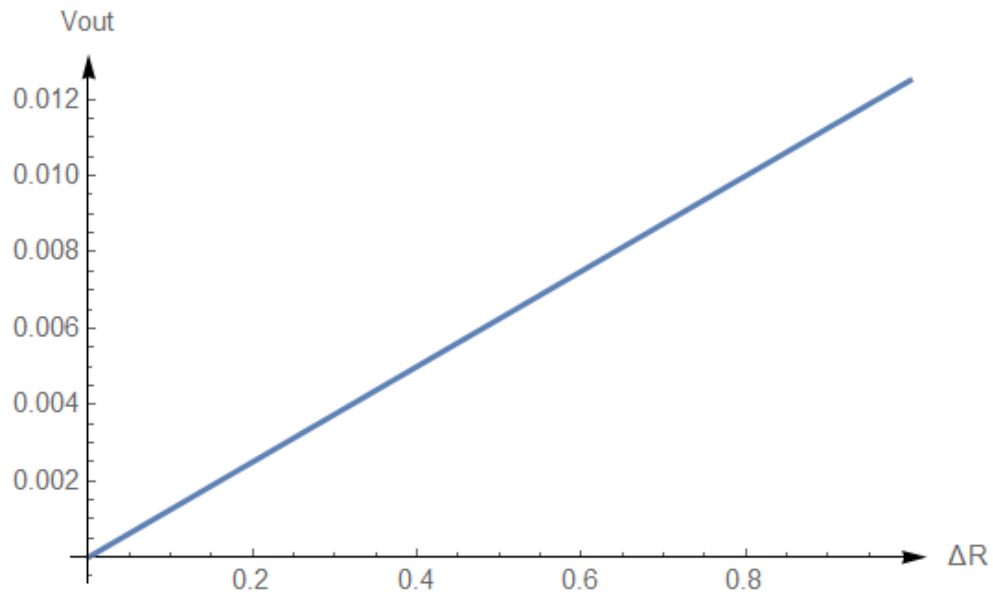


Figura 12: gráfica del ejemplo 3

## Puente con dos elementos activos en ramas opuestas

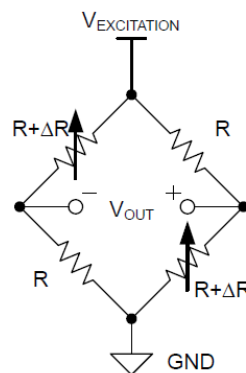


Figura 13: puente con dos elementos

$$V_{out} = V_{cc} \left( \frac{\Delta R}{2R + \Delta R} \right)$$



## Puente con elementos activos en la misma rama

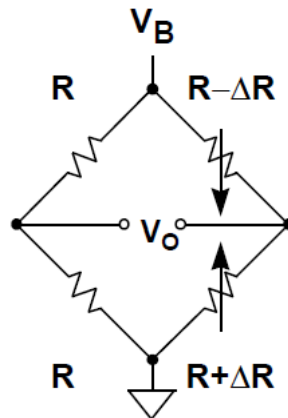


Figura 14: puente con dos elementos

$$V_{out} = \frac{V_{cc}}{2} \frac{\Delta R}{R}$$

## Puente con cuatro elementos activos

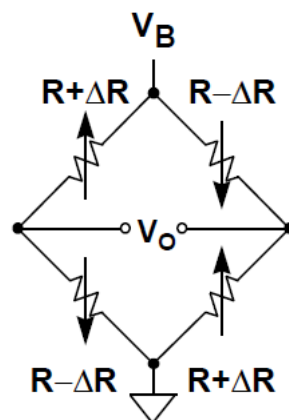


Figura 15: puente con dos elementos

$$V_{out} = V_{cc} \frac{\Delta R}{R}$$



## Métodos de medición

### ➤ Amplificador diferencial

Es una configuración que amplifica la diferencia de tensiones en sus dos entradas.

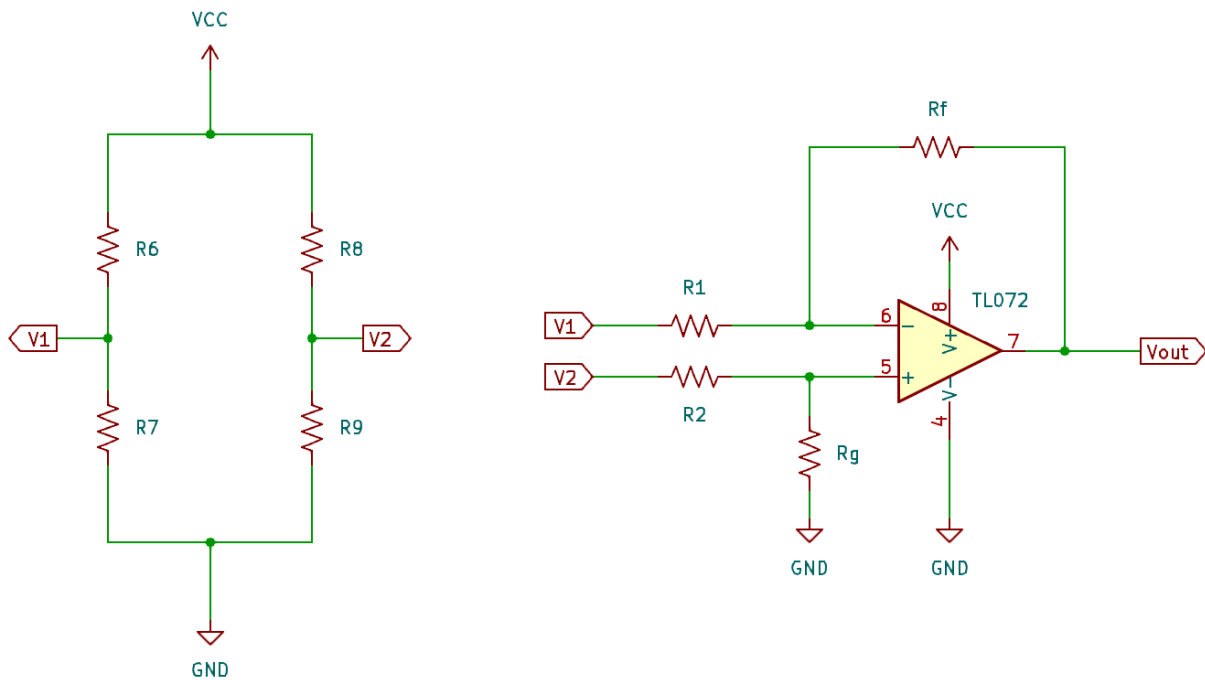


Figura 16: puente con un amplificador diferencial

$$V_{out} = \frac{(R_f + R_1) R_g}{(R_g + R_2) R_1} V_2 - \frac{R_f}{R_1} V_1$$



## ➤ Amplificador instrumental

Es una mejora de la configuración anterior dado que en la entrada presenta dos amplificadores como buffer obteniendo una impedancia de entrada de gran magnitud.

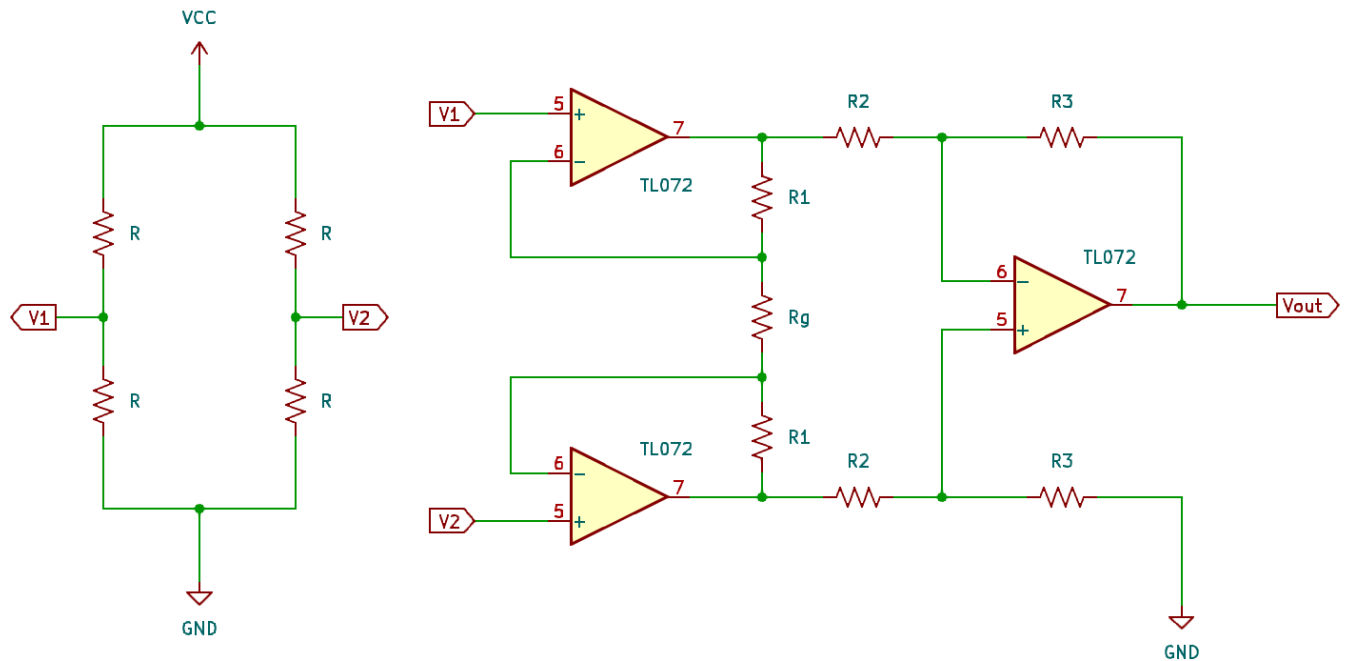


Figura 17: puente con un amplificador instrumental

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left( 1 + \frac{2 R_1}{R_g} \right) \frac{R_3}{R_2}$$



## ➤ Amplificador no inversor (Linealización)

Parece lógico tener fuente simétrica a través del puente para aumentar el rango dinámico y para tener los nodos sensores centrados alrededor del modo común de 0 V. La ventaja de este diseño es que la función de transferencia desde el nodo B será lineal con un cambio en la resistencia  $\Delta R$ .

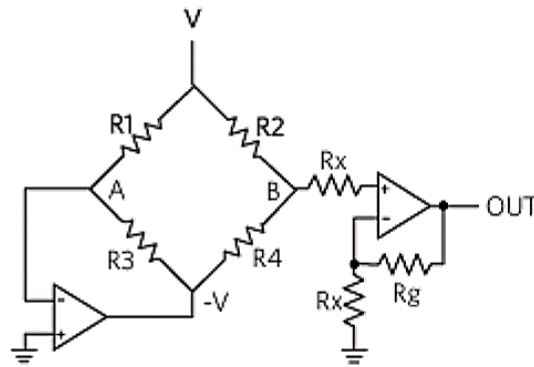


Figura 18: linealización de un puente

La implementación del circuito en la figura 18 utiliza dos amplificadores operacionales para reemplazar el amplificador de instrumentación más complejo. Ahora la salida del puente linealizado evita los caminos de corriente innecesarios creados por el amplificador diferencial. Este circuito facilita el proceso de diseño en comparación a los anteriormente presentados. El único problema aquí es suministrar una tensión simétrica a los amplificadores operacionales. El beneficio adicional es un rendimiento mejorado del rechazo de modo común, ya que el segundo amplificador funciona cómodamente alrededor 0 V.

$$V_B = \frac{V_{cc}}{2} \frac{\Delta R}{R}$$

Despejando  $\Delta R$ :

$$\Delta R = \frac{2 V_B R}{V_{cc}}$$



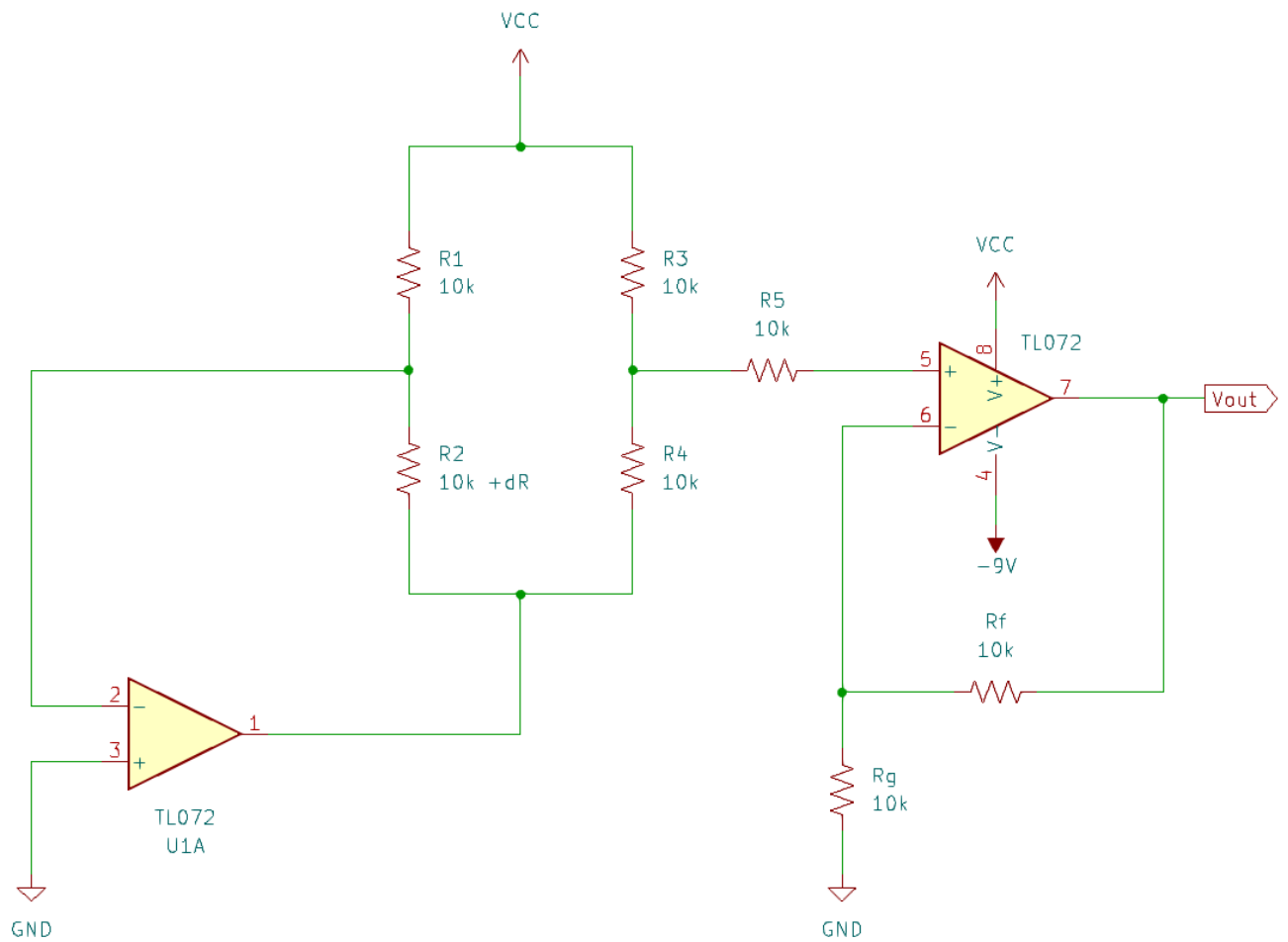


Figura 19: puente linealizado

$$V_{out} = \frac{V_{cc}}{2} \frac{\Delta R}{R} \left( 1 + \frac{R_f}{R_g} \right)$$

