



# Sensor RTD PT-100



## Introduccion

Los fenómenos más ampliamente medidos en el ambiente de control es la temperatura. Estos elementos, tales como detectores de temperatura de resistencia (RTD), termistores, termopares o diodos Se utilizan para detectar temperaturas, así como cambios de temperatura.

Estos sensores son uno de los sensores de temperatura más precisos disponibles, que cubre amplios rangos de temperatura. Sin embargo, obtener mediciones precisas con convertidores de analógico a digital (ADC) de precisión requiere atención al detalle en el diseño de circuitos de medida y cálculo de la medida. Se presentan diferentes topologías de circuito con ADC de precisión para diferentes configuraciones de RTD.



Figura 1: Distintos tipos de RTD



Ventajas	Desventajas
Alta precisión y estabilidad	Alto costo
Razonablemente lineal	Requiere excitación por corriente
Buena repetibilidad	Peligro de auto calentamiento, baja resistencia

## Ecuación Callendar – Van Dusen

$$R_{RTD}(T) = R_0 (1 + A T + B T^2 + C T^3 (T - 100)) \text{ Si } T < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{RTD}(T) = R_0 (1 + A T + B T^2) \text{ Si } T \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Los coeficientes de las ecuaciones anteriores están definidos por normas (IEC 60751):

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,183 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$

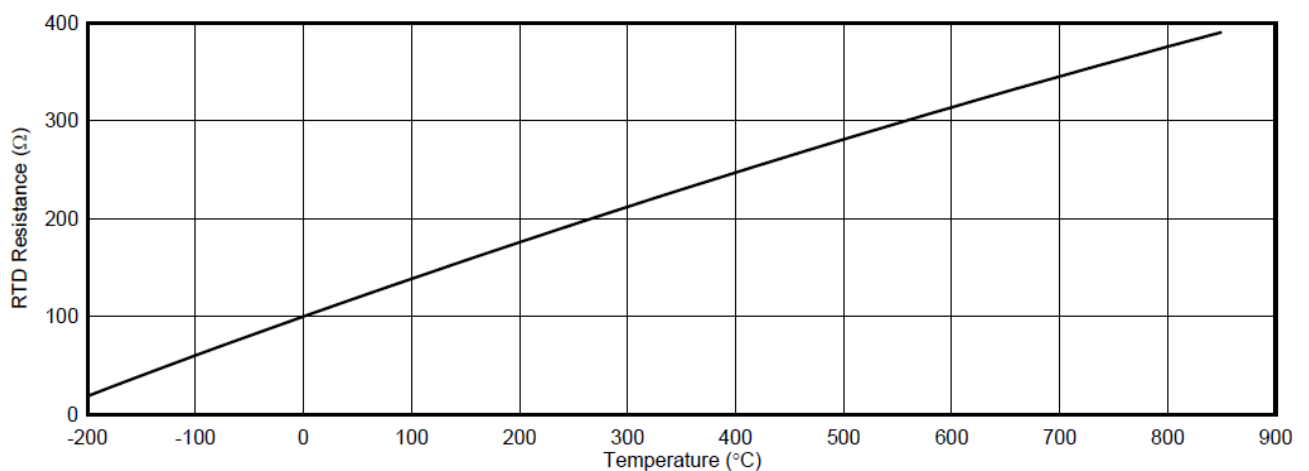


Figura 2: Variación de resistencia de un PT100 entre -200 °C y 850 °C



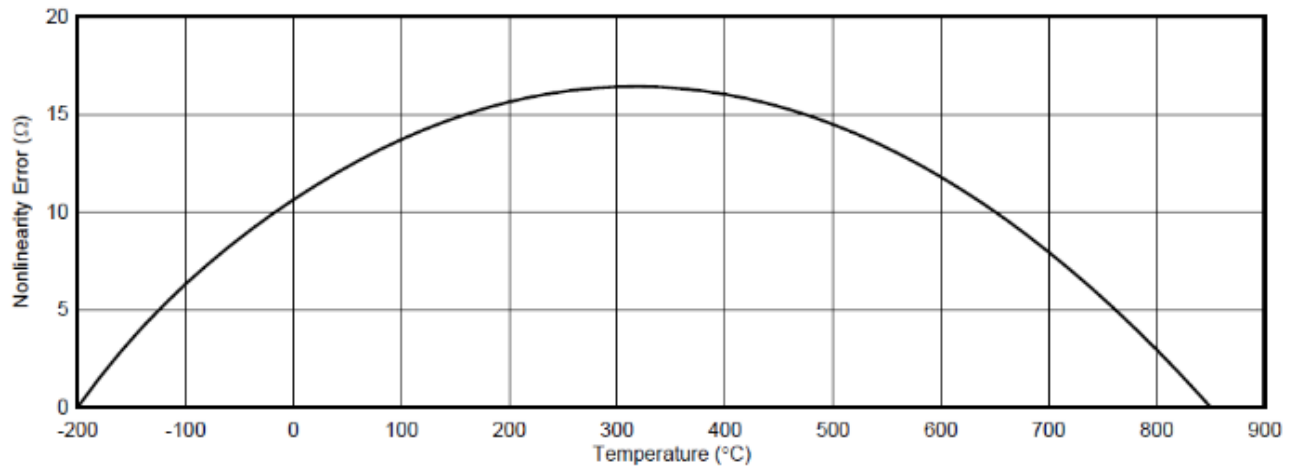


Figura 3: PT100 NO linealidad entre -200 °C y 850 °C

Los resultados muestran una **no** linealidad superior a 16 Ω, lo que dificulta una aproximación lineal incluso en valores pequeños rangos. Para temperaturas superiores a 0 °C, las temperaturas se pueden determinar resolviendo la ecuación cuadrática a partir de Ecuación 2. Para temperaturas inferiores a 0°C, el polinomio de tercer orden de la Ecuación 1 puede ser difícil de calcular. Usando microcontroladores simples, determinar la temperatura puede ser complejo y el uso de una tabla de consulta para determinar la temperatura es una práctica común.

Los estándares de calibración más nuevos permiten una mayor precisión de cálculo utilizando polinomios de orden superior sobre rangos de temperatura segmentados, pero la ecuación de Callendar - Van Dusen sigue siendo un uso común estándar de conversión.

## Configuración de conexión de distintos RTD

Los RTD se fabrican en tres configuraciones de cableado diferentes. En cada cableado la configuración requiere una topología de circuito y excitación diferente para reducir el error de medición. En la figura siguiente se muestran tres configuraciones de cableado diferentes.

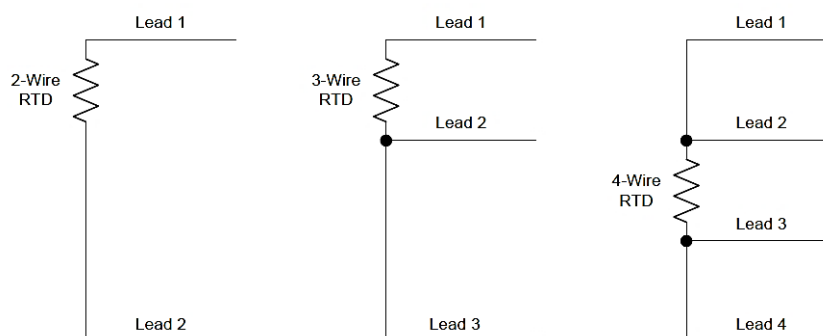


Figura 4: RTD de 2, 3 y 4 hilos



En la configuración de dos cables, el RTD se conecta a través de dos cables conectados a cualquiera de los extremos del RTD. En esta configuración, las resistencias de los cables conductores no se pueden separar de la resistencia RTD, agregando un error que no se puede separar de la medición RTD. Estos producen mediciones poco precisas y se utilizan cuando la precisión no es crítica o cuando las longitudes de los cables son cortas.

En la configuración de tres cables, el RTD está conectado a un solo cable conductor en un extremo y a dos cables conductores en el extremo opuesto. Usando diferentes topologías y medidas de circuito, los efectos de la resistencia del conductor pueden cancelarse efectivamente, reduciendo el error en las mediciones. En la compensación por la resistencia del cable conductor, **se asume** que las resistencias de los conductores coinciden.

En la configuración de cuatro cables, se conectan dos cables conductores a cada extremo del RTD. En esta configuración, la resistencia RTD se puede medir con una medición resistiva de cuatro hilos con una precisión superior. La excitación del RTD se realiza a través de un cable en cada extremo, mientras que la resistencia del RTD se mide con el otro cable en cada extremo. En esta medición, la resistencia RTD se detecta sin error contribuido del cable conductor que reacciona con la excitación del sensor. Los RTD de cuatro hilos producen las mediciones más precisas, pero son la configuración RTD más costosa.

## Formas de medición

Debido a que el RTD es un dispositivo resistivo, debe conducir una corriente a través del dispositivo y monitorear la tensión resultante. Sin embargo, cualquier resistencia en los conductores que conectan su sistema de medición a el RTD agregará error a sus lecturas. Para ejemplo, considere un elemento RTD de dos hilos conectado a un sistema de medición que también suministra una fuente de corriente constante para accionar el RTD. La caída de tensión en la resistencia del conductor,  $R_L$ , se suma la tensión medida.

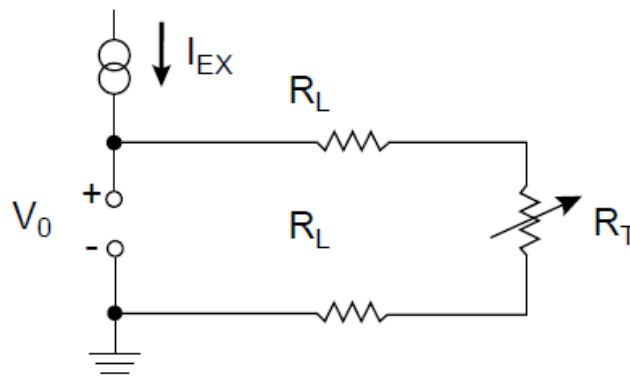


Figura 5: RTD de 2 hilos



Usando el RTD de tres hilos en un configuración de Wheatstone con una fuente de corriente, puede compensar las caídas. En esta configuración de puente, los efectos de  $R_{L1}$  y  $R_{L3}$  se anulan entre sí porque están ubicados en brazos opuestos del puente. La resistencia  $R_{L2}$  no agrega error porque circula poca corriente a través de él. Alternativamente, puede usar una fuente de excitación actual y conecte el RTD de tres hilos. En esta configuración, la resistencia  $R_{L1}$ , **agrega error** a la medición.

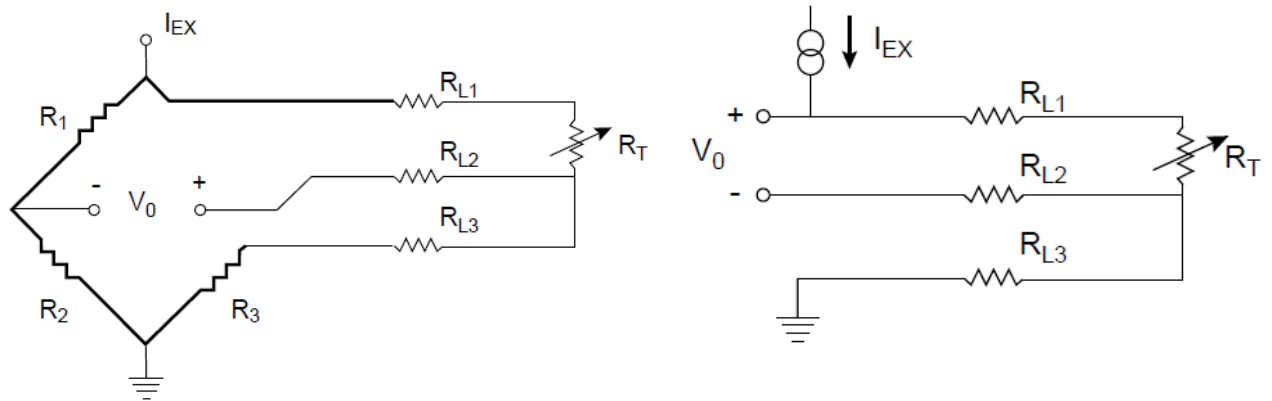


Figura 6: Configuración de RTD de 3 hilos

Si está utilizando cables de más de 3 metros de longitud, probablemente tendrá que compensar esa resistencia. Un par de cables llevan la corriente a través del RTD, el otro par se utilizan para mediciones. Porque solo una insignificante la corriente fluye a través de los cables de detección, la caída por las resistencias  $R_{L2}$  y  $R_{L3}$  es despreciable.

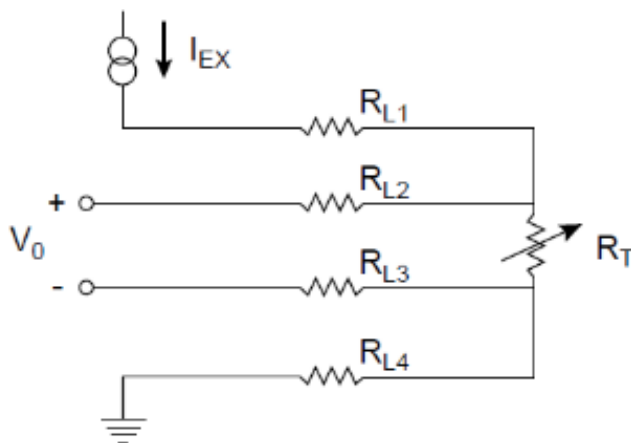


Figura 7: RTD de 4 hilos (medición tipo Kelvin)



## Excitación por corriente para un RTD

- ✓ Fuente de corriente constante con TL431

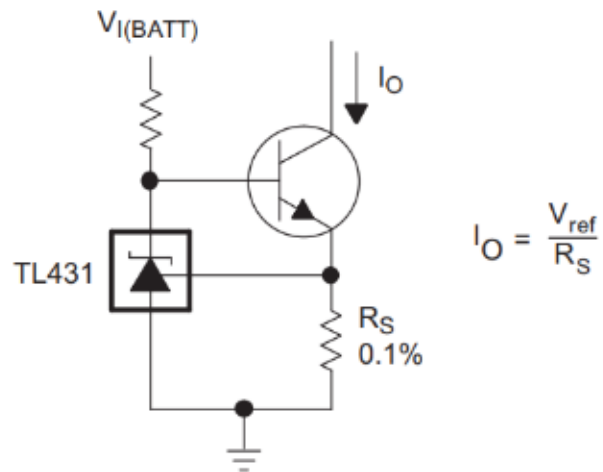


Figura 8: Fuente de corriente constante con TL431

- ✓ Referencia de corriente: TI – REF200

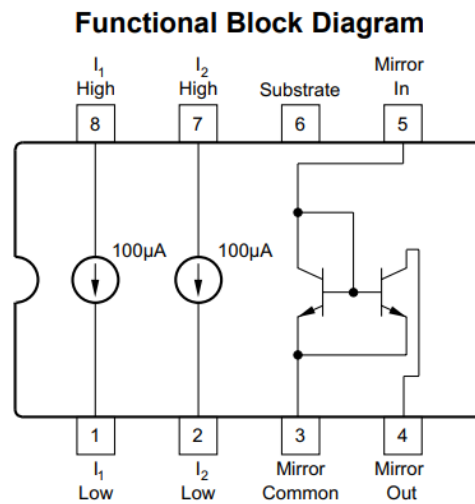


Figura 9: Diagrama en bloques. TI - Ref 200.



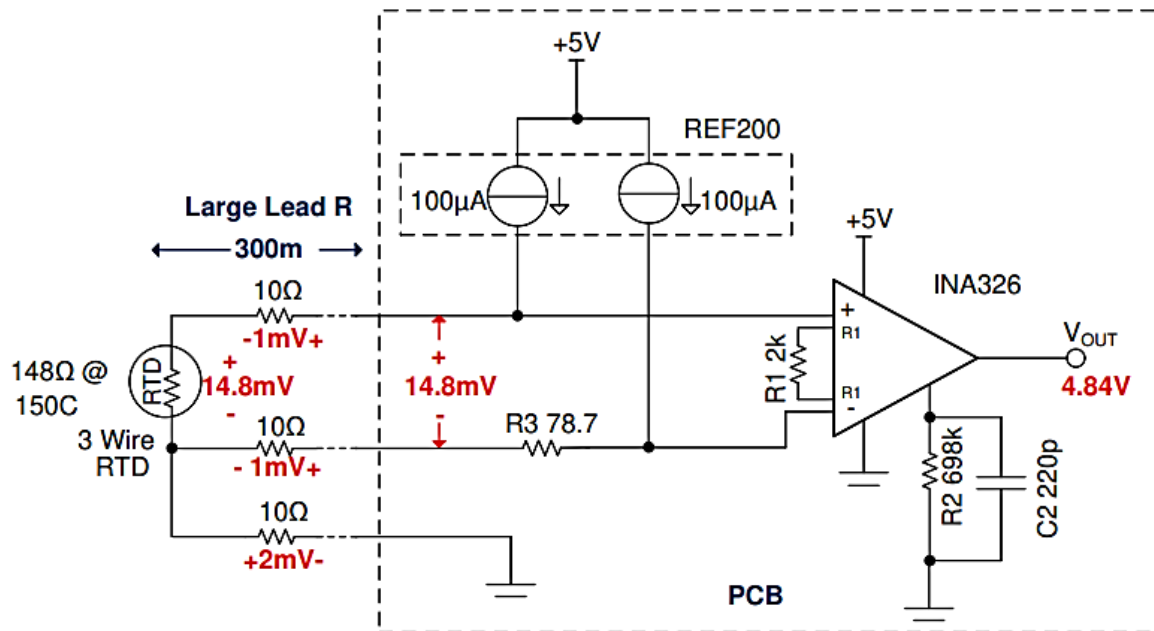


Figura 10: Ejemplo de aplicación (fuente Datasheet)

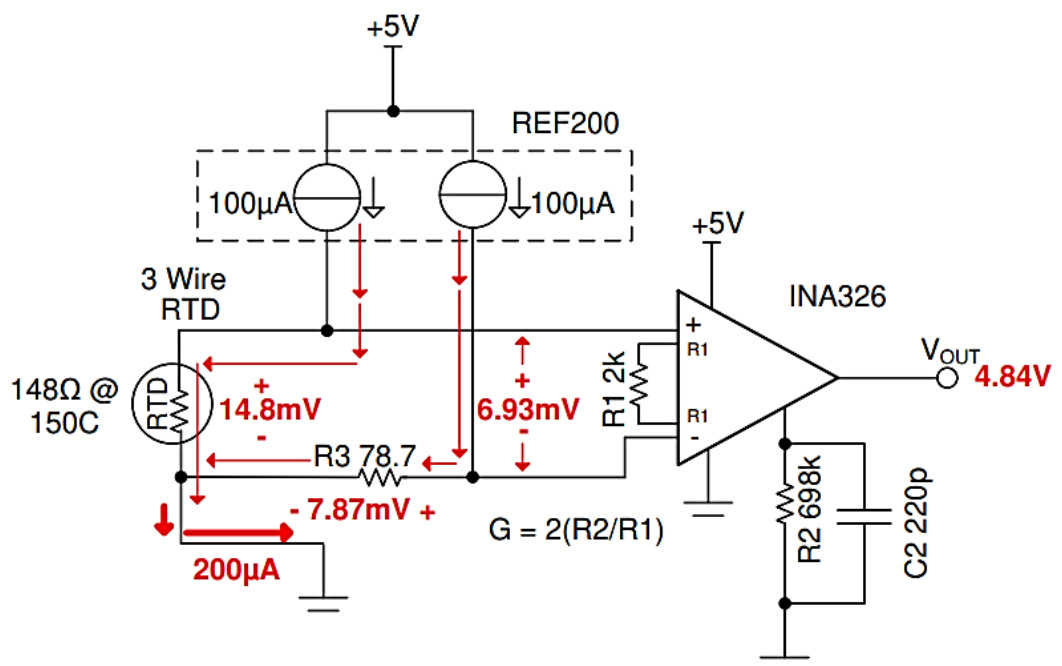


Figura 11: Ejemplo de aplicación (fuente Datasheet)





- ✓ Con referencia de tensión y operacionales

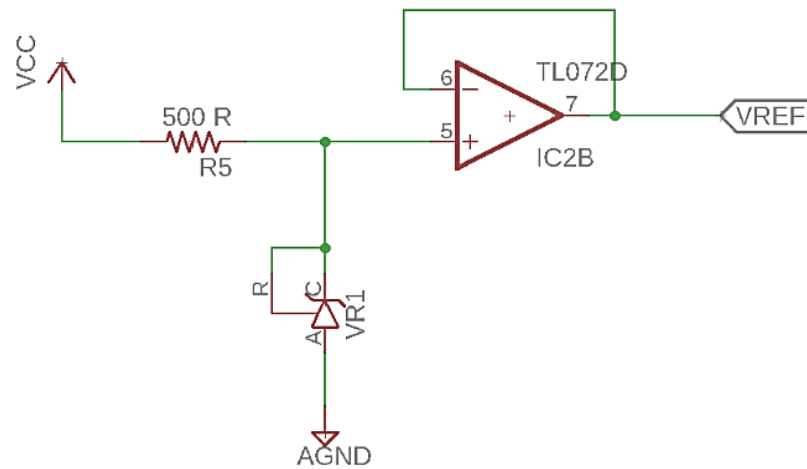


Figura 12: Referencia de tensión con TL 431

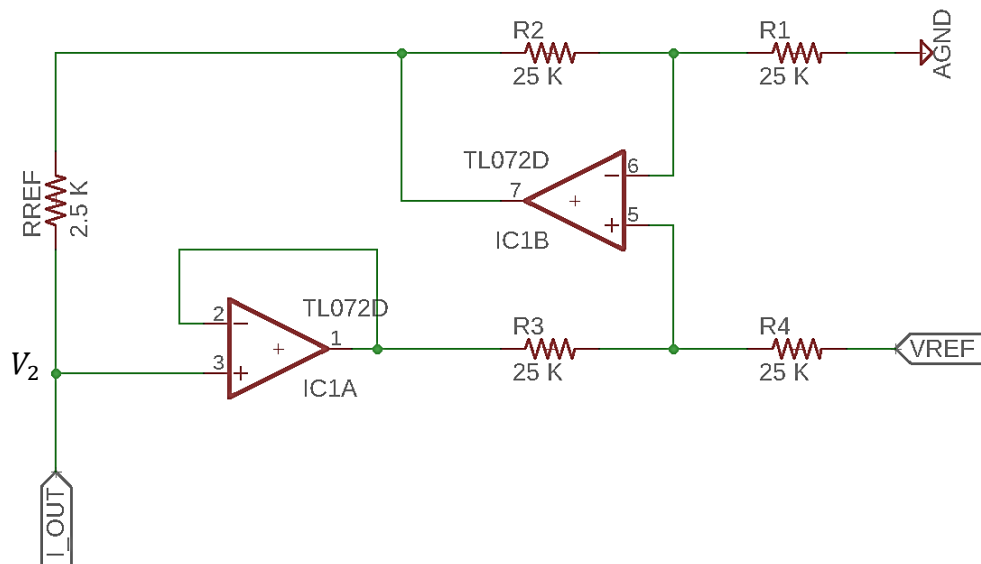


Figura 13: Fuente de corriente constante con operacionales

$$V_{o1B} = V_{ref} G + V_{o1A}$$

$$G = \frac{R_2}{R_1} = 1$$

$$V_{o1B} = V_{ref} + \underbrace{V_{o1A}}_{V_2} \quad [1]$$



$$V_{RREF} = V_{o1B} - V_2 \quad [2]$$

Reemplazo [1] en [2]:

$$V_{RREF} = V_{ref} + V_2 - V_2$$

$$V_{RREF} = V_{ref}$$

$$I_{RREF} = \frac{V_{ref}}{R_{RREF}} = \frac{2,5 V}{2,5 K\Omega} = 1 mA$$

**Corrección de resistencia de cables (hilos)  $R_L$**

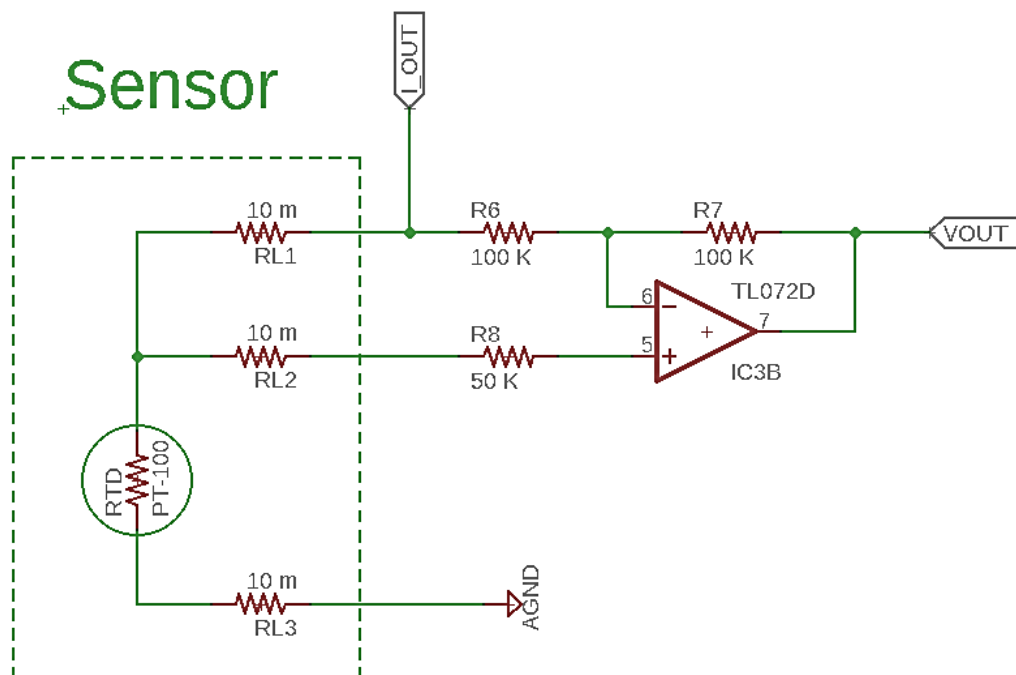


Figura 14: Corrección de resistencia y medición

$$V_{o3B} = (V_{RTD} + V_{RL3}) \left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) - (V_{RL1} + V_{RTD} + V_{RL3}) \left(\frac{R_7}{R_6}\right)$$



Si asumimos que:

$$R_7 = R_6$$

$$V_{o3B} = (V_{RTD} + V_{RL3}) (2) - (V_{RL1} + V_{RTD} + V_{RL3})$$

Si asumimos que:

$$R_{L1} = R_{L3}$$

$$V_{o3B} = (V_{RTD} + V_{RL3}) (2) - (V_{RL1} + V_{RTD} + V_{RL3})$$

$$V_{o3B} = 2 V_{RTD} + 2 V_{RL3} - V_{RL1} - V_{RTD} - V_{RL3}$$

$$V_{o3B} = V_{RTD}$$

## Filtro y amplificador final

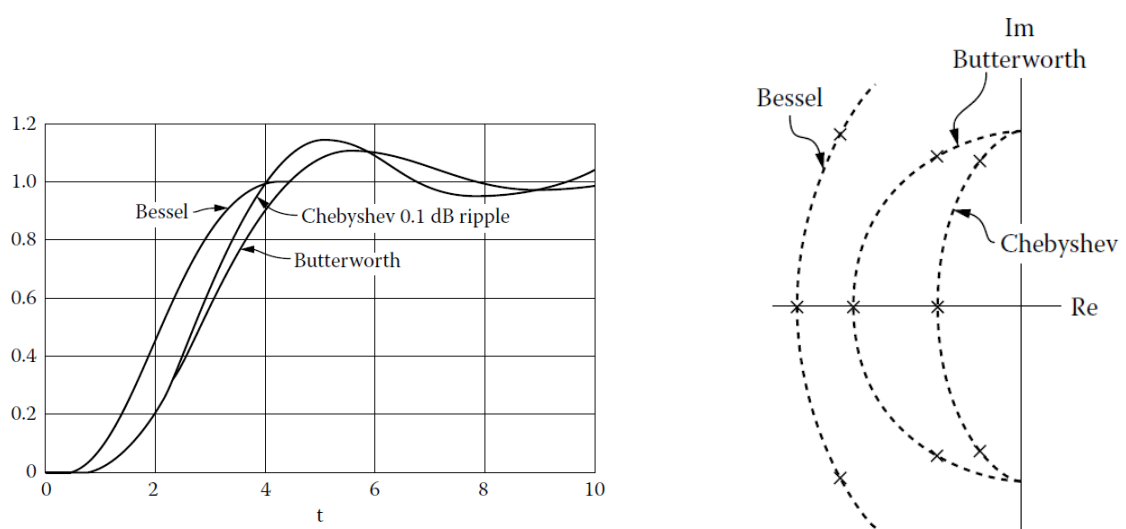


Figura 15: Respuesta a un escalón y lugar de raíz



Diseñar un filtro para un sensor de temperatura RTD, con frecuencia de corte de 10 Hz y ganancia  $k = 10$ , utilizando la función de transferencia de Bessel - Thomson.

### Bessel

$n$

1	$(s + 1.000)$
2	$(s^2 + 3.000s + 3.000)$
3	$(s + 2.322)(s^2 + 3.678s + 6.459)$
4	$(s^2 + 4.208s + 11.488)(s^2 + 5.792s + 9.140)$
5	$(s + 3.647)(s^2 + 4.649s + 18.156)(s^2 + 6.704s + 14.272)$
6	$(s^2 + 5.032s + 26.514)(s^2 + 7.471s + 20.853)(s^2 + 8.497s + 18.801)$
7	$(s + 4.972)(s^2 + 5.371s + 36.597)(s^2 + 8.140s + 28.937)(s^2 + 9.517s + 25.666)$
8	$(s^2 + 5.678s + 48.432)(s^2 + 8.737s + 38.569)(s^2 + 10.410s + 33.935)(s^2 + 11.176s + 31.977)$

Para  $n=2$ , se obtiene que:  $a = 3$  y  $b = 3$

$$C_{1n} = \frac{a \pm \sqrt{a^2 + 8b(k-1)}}{4b} = \frac{3 + \sqrt{(3)^2 + 8(3)(10-1)}}{4(3)} = 1.5 F$$

$$C_{2n} = \frac{1}{b C_1} = \frac{1}{(3) 1.5} = 0.22 F$$

Renormalización:

$$ISF = 10^4$$

$$FSF = \frac{\omega_1}{\omega_n} = \frac{2\pi f_1}{1} = 2\pi 10 = 20\pi$$

$$R = ISF R_n = 10^4 1\Omega = 10 k\Omega$$

$$C_1 = \frac{C_{1n}}{ISF FSF} = \frac{1.5 F}{20\pi 10^4} = 2,38 \mu F$$

$$C_2 = \frac{C_{1n}}{ISF FSF} = \frac{0.22 F}{20\pi 10^4} = 353,67 nF$$

$$R_b = (k - 1) R_a$$



Elegimos un valor de  $R_a = 1k$  y calculamos  $R_b$ :

$$R_b = (10 - 1) 1 K\Omega = 9 K\Omega$$

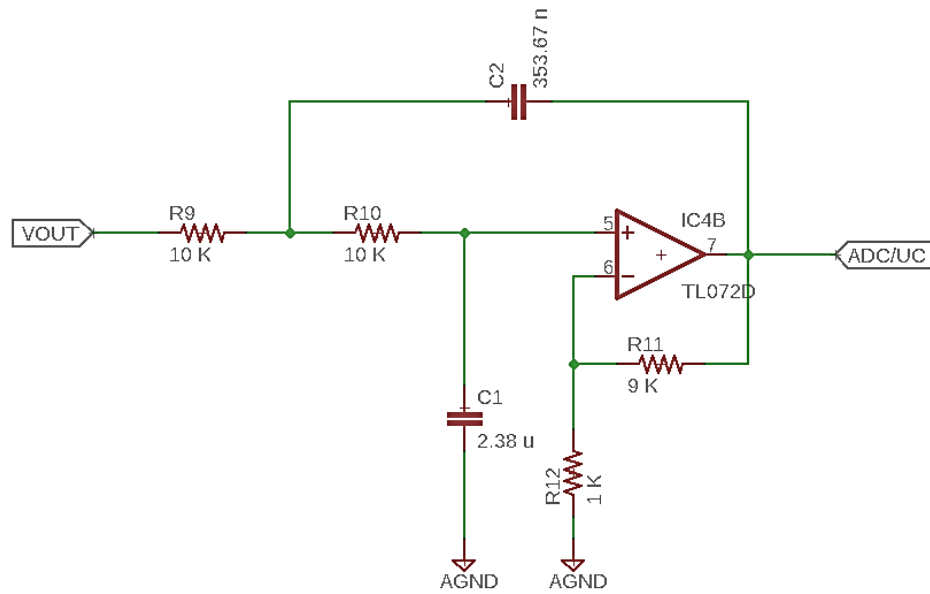


Figura 16: Resultado final del filtro Bessel - Thomson

