

# Mediciones Industriales

## TEMAS

- \*1.- Sensores moduladores
- \*2.- Sensores generadores
- \*3.- Sensores digitales
- \*4.- Teoría de error
- \*5.- Acondicionamiento sensores moduladores
- \*6.- Acondicionamiento sensores generadores
- \*7.- Ruido en componentes electrónicos
- \*8.- Partes de un sistema de medición
- \*9.- Dimensionamiento de cada fase del sistema de medición
- 10.- Simulación de sistema de medición
- 11.- Construcción o implementación y prueba de un sistema de medición

## CUESTIONARIO

## AUTOEVALUACIÓN

## BUSCAR EN ESTE BLOG



## 6.- Acondicionamiento sensores generadores

En el tema 2, se abordó la teoría relacionada con los sensores generadores (piezoeléctricos, piroeléctricos, fotovoltaicos y electroquímicos); para este tema se tiene previsto circuitos de acondicionamiento de los mismos.

### Instructivo sobre el acondicionamiento de sensores generadores.

#### Introducción.

Normalmente, la señal obtenida del sensor no puede aplicarse directamente al dispositivo de salida (multímetro, entre otros). La señal eléctrica proveniente de los sensores normalmente necesita de acondicionamiento (amplificación, filtrado, linealización, aislamiento, entre otros) para poder ser tratada.

El acondicionamiento de una señal consiste en la manipulación electrónica de dicha señal mediante dispositivos adecuados, para obtener rangos de voltajes o corrientes adecuados a las características de los sensores. El momento de realizar una instrumentación ya que al tener una señal proveniente de un sensor con rangos de voltaje más amplio, se puede obtener mayor resolución en la medición, además mayor inmunidad al ruido ambiente de la medición. Por ejemplo, para compensar los errores de ruido aleatorios puede realizarse un promediado de la señal. Los siguientes son algunos que se pueden presentar en el acondicionamiento de una señal.

1. Protección para evitar el daño al siguiente elemento.
2. Convertir una señal en otro tipo de señal. Sería el caso cuando es necesario convertir una señal de corriente directa, a una corriente o presión.
3. Obtener un nivel adecuado de la señal. En muchos casos es necesario amplificar una señal para que pueda ser leída.
4. Eliminación o reducción de ruido. La forma más común es utilizando filtros.
5. Manipulación de la señal. Por ejemplo, convertir una variable en una función lineal.

#### Acondicionamiento de sensores generadores.

Los circuitos más utilizados en el acondicionamiento de una señal proveniente de un sensor generador son los amplificadores operacionales (AO) y los amplificadores industriales; a parte de estos existen los puentes de Wheatstone, atenuadores, filtros paso-bajo, fuente de corriente entre otros. A continuación describiremos algunos de estos.

#### Amplificadores Operacionales

Los amplificadores para sensores generadores están basados en el uso de amplificadores operacionales. En un amplificador operacional (AO) real la tensión de salida no es nula cuando lo son en las entradas, es por lo que se debe aplicar una determinada diferencia de tensión (tensión de offset  $V_{OS}$ ) para anular la tensión de salida. Las corrientes de entrada no son nulas y además son diferentes, a la diferencia se le llama corriente de desequilibrio  $I_{OS}$ . Además, en estos desequilibrios, se producen derivas con el tiempo y la temperatura.

El efecto de los desequilibrios se puede analizar estudiando el amplificador inversor de la figura 1. Se podría utilizar la configuración no inversora. Se supone que el AO es ideal, la polaridad de  $V_{OS}$ , cualquiera, se ha tomado una de las posibles para el análisis.

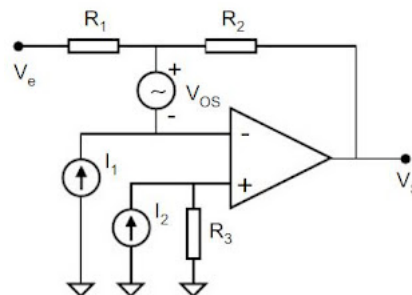


Figura n°1.

Analizando el circuito de la figura n°1, se obtiene la siguiente expresión para la tensión de salida:

$$V_s = -\frac{R_2}{R_1}V_e + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)V_{OS} - I_1R_2 + I_2R_3\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

ec 1

La resistencia  $R_3$  no es necesaria para la amplificación, pero si se elige  $R_3 = R_1 \parallel R_2$ , la expresión reduce a:

$$V_s = -\frac{R_2}{R_1}V_e + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)V_{OS} + I_{OS}R_2$$

ec 2

Aparece un término de error debido a la tensión de offset ( $V_{OS}$ ) y otro debido a la corriente de entrada. Al ser  $I_{OS} \ll I_1, I_2$ , la introducción de  $R_3$ , con el valor adecuado, ha reducido el término de error de corrientes, al quedar apareadas las resistencias de las dos entradas. Con estas expresiones se verá que será grande si se desea (como es normal) alta impedancia de entrada y alta ganancia ( $R_1$  y  $R_2 / R_1$ ). Reduciendo el valor de todas las resistencias en un mismo factor se reduce el error debido a  $I_{OS}$ . Se quiere que interesa utilizar, si es posible, resistencias de valor bajo. Una consecuencia negativa será la impedancia de entrada del amplificador.

La mayoría de los AO comerciales cuentan con entradas que permiten corregir la tensión inicial añadiendo un potenciómetro externo. No obstante, este tipo de ajuste tiene efectos secundarios inde-

- § Se modifican las corrientes de polarización y su desequilibrio.
- § Se incrementa la deriva térmica de la tensión de desequilibrio. Por ejemplo, para el AO bipolar, la deriva térmica de VOS aumenta unos  $3.3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  por cada mili-voltio que se ajusta.

Una alternativa para corregir la tensión de offset consiste en sumar una tensión externa de compensación a la terminal de referencia manteniendo las resistencias de entrada apareadas, tal como se ha indicado para minimizar el efecto del desequilibrio de las corrientes de polarización. Esta red de compensación también corrige los errores de cero debidos a causas ajenas al AO, como por ejemplo las que proceden de la fuente de alimentación. Además, el ajuste se puede hacer en un amplio margen. Ver figura n°2

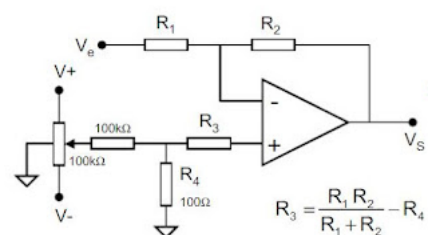


figura 2

En el amplificador inversor,  $R_1$  debe incluir la resistencia de salida de  $V_e$ , y en el amplificador no inversor, sería la resistencia de salida de  $V_e$ , como se muestra en la figura n°3

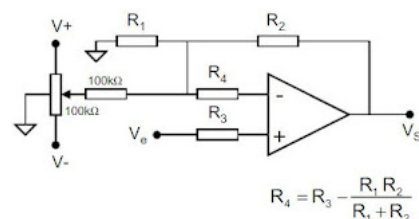


figura 3

En el potenciómetro, la toma central puesta a masa, aumenta la estabilidad del ajuste frente a variaciones de temperatura. El ajuste hay que realizarlo cuando el circuito ha alcanzado la temperatura de régimen permanente.

tensión que alimentan el potenciómetro de ajuste deben ser muy estables. También lo deben ser las AO. Una fluctuación ( $\Delta V_{cc}$ ) en la alimentación, produce un desequilibrio de valor:

$$\Delta V_{os} = \Delta V_{cc} / PSRR \quad \text{ec 3}$$

La importancia de los términos de error anteriormente comentados depende en última instancia de la deriva de  $I_{OS}$ . Éstos dependen de la tecnología y grado de calidad del AO. Hay tres tecnologías básicas de AO:

- Bipolar: todos los transistores son bipolares.
- Bífet: los transistores de entrada son FET (de canal p), pero el resto de etapas son bipolares.
- CMOS: todos los transistores son MOS

Además los fabricantes utilizan ciertas combinaciones de las anteriores como la BiMOS en la que de entrada son MOS y el resto una combinación de bipolar y MOS. En la tabla adjunta se muestran las características reales y sus derivas térmicas y temporales para distintos tipos de amplificadores operacionales. En el caso de las derivas térmicas, la temperatura obviamente es la de régimen permanente del componente del encapsulado. En cuanto a las derivas temporales, hay que decir que no son exactamente la deriva en un mes es m la deriva en N meses sería:  $\sqrt{N} * m$

Parámetro	$V_{os}$ máx. a 25 °C ( $\mu V$ )	$I_{os}$ máx. a 25 °C (pA)	$I_{os}$ máx. a 25 °C (pA)	$\Delta V_{os} / \Delta T$ medio ( $\mu V / ^\circ C$ )	$\Delta V_{os} / \Delta t$ medio ( $\mu V / \text{mes}$ )	$\Delta I_{os} / \Delta T$ (pA / $^\circ C$ )	$\Delta I_{os} / \Delta T$ (pA / $^\circ C$ )
<b>Bipolares</b>							
LM358A	3.000	100.000	$\pm 30.000$	20	—	—	300
OP-37	75	3.000	$\pm 2.800$	1,3	1	50	50
OP-77A	25	2.000	1.500	0,3	0,2	25	25
OP-177A	10	1.500	1.000	0,1	0,2	25	25
TLE 2021C	500	50.000	3.000	2	0,005	-80	—
<b>Bífet</b>							
LF356A	2.000	200	50	5	—	$I_{os} \times 2^{27/10}$	$I_{os} \times 2^{27/10}$
TL071C	10.000	200	100	18	—	$I_{os} \times 2^{27/10}$	$I_{os} \times 2^{27/10}$
TLE2061C	3.000	4 tip	2 tip	6	0,04	$I_{os} \times 2^{27/10}$	$I_{os} \times 2^{27/10}$
AD649	250	0,05	—	5	—	$I_{os} \times 2^{27/10}$	$I_{os} \times 2^{27/10}$
OPA111B	250	1	0,75	1	—	$I_{os} \times 2^{27/10}$	$I_{os} \times 2^{27/10}$
<b>CMOS</b>							
TLC271CP	10.000	0,7 tip	0,1 tip	2	—	$I_{os} \times 2^{27/10}$	$I_{os} \times 2^{27/10}$
TLC2201C	500	1 tip	0,5 tip	0,5	0,001	Nota 1	—
LMC605C	6.300	0,04 tip	0,01 tip	1,3 tip	—	—	—
LMC6001	350	0,025	—	10	—	—	—
<b>BiMOS</b>							
CA3140	15.000	50	30	8	—	$I_{os} \times 2^{27/10}$	$I_{os} \times 2^{27/10}$
<b>CMOS cho-</b> <b>pper</b>							
LMC566	20	$\pm 60$	—	0,05	0,1	—	—
LTC1052	5	$\pm 30$	$\pm 30$	0,05	0,1	Nota 2	—
LTC1150	5	$\pm 50$	$\pm 100$	0,05	0,05	—	—
MAX430C	10	100	200	0,05	0,1	$I_{os} \times 2^{27/10}$	$I_{os} \times 2^{27/10}$
TLC2652AC	1	4 tip	2 tip	0,03	0,02	Nota 3	Nota 3
TLC2654C	20	50 tip	30 tip	0,3	0,06	—	$\approx 0,65$
TSC901	15	50	100	0,15	—	—	—

Tabla nº1. Nota 1: IB permanece constante hasta 85 °C y aumenta a 250pA a 125 °C.

Nota 2: IB permanece casi constante hasta 75 °C y aumenta a 200pA a 125 °C.

Nota 3: IB varía no linealmente con T: cambia poco de 25°C a 80°C, y luego pasa de 3pA a 80°C a 100pA a 125°C. IOS decrece de 2pA hasta a 6pA a 125°C

### Amplificadores Electrométricos

Existen muchos sensores en los que las señales de salida son muy débiles. Se pueden dar salida en forma de corriente y en forma de fuente de tensión con alta impedancia de salida. Es el caso de los sensores en el efecto fotovoltaico, sensores piezoeléctricos o sensores químicos, entre otros. En todos estos casos se necesita un sistema de medida que posea una baja corriente de entrada. Estos circuitos se denominan amplificadores electrométricos y se caracterizan por poseer una resistencia de entrada superior a la corriente de entrada inferior a 1pA con bajas derivas.

Aparece un término de error debido a la tensión de offset ( $V_{OS}$ ) y otro debido a la corriente de entrada ( $I_{OS}$ ). Al ser  $I_{OS} \ll I_1, I_2$ , la introducción de  $R_3$ , con el valor adecuado, ha reducido el término de error debido a las corrientes, al quedar apareadas las resistencias de las dos entradas. Con estas expresiones se apreciará que será grande si se desea (como es normal) alta impedancia de entrada y alta ganancia ( $R_1$  y  $R_2 / R_1$ ). Reduciendo el valor de todas las resistencias en un mismo factor se reduce el error debido a  $I_{OS}$ . Se recomienda utilizar, si es posible, resistencias de valor bajo. Una consecuencia negativa será la baja impedancia de entrada del amplificador.

La medida de corrientes débiles se puede realizar tomando directamente la caída de tensión en una resistencia de valor elevado (figura 4.a) o realizando una conversión corriente-tensión mediante un transimpedancia (figura 4.b) basado en un AO con características electrométricas.

### Un amplificador de carga

Es un circuito cuya impedancia de entrada es un condensador, ofreciendo así una alta impedancia de entrada. Su función es ofrecer en la salida, con una impedancia muy baja, una tensión proporcional a la carga. Es, por tanto, un convertidor carga-tensión. Su estructura un tanto idealizada se muestra en la figura 4.c. Se basa en transferir la carga desde el sensor (en paralelo con el cable y la entrada del amplificador) a un condensador bien conocido,  $C_O$ , y medir su tensión con un amplificador de características electrométricas. La ganancia en lazo abierto del amplificador operacional es  $A$  se tiene:

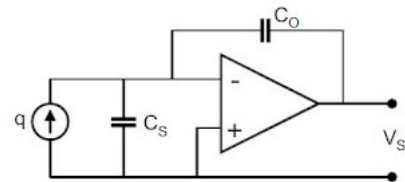


figura 7

$$V_s = \frac{-q}{C_o + (C_s + C_o)/A}$$

ec 8

Si  $A \gg 1$  entonces

$$V_s \approx -\frac{q}{C_o}$$

ec 9

Es fácil obtener su función de transferencia, si se sustituye el amplificador operacional por su circuito equivalente. Se aplica el teorema de Miller al condensador  $C_o$ .

- La sensibilidad es ahora independiente del cable, aunque a alta frecuencia, donde el valor de  $A$  no adquiere cierta importancia, sobre todo si  $C_o$  es pequeña.
- La exactitud en la ganancia del amplificador de carga depende de la que tenga  $C_o$ . No basta con condensador de precisión; al montarlo es preciso reducir las capacidades parásitas, si es necesario electrostáticamente. En cualquier caso, las derivas de un condensador de precisión son menos que las de una resistencia, por lo que conviene recalibrar el amplificador periódicamente.

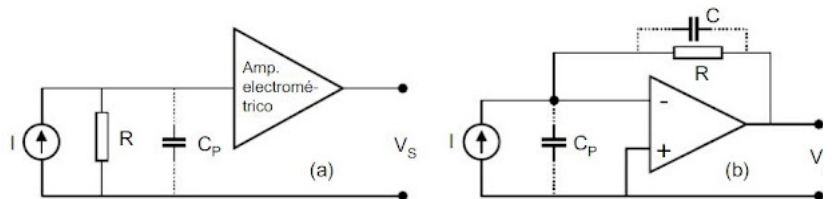


figura 4

De este circuito se desprende que  $V_s$  es:

$$V_s = \frac{-IR}{1 + R(C + C_p/A)w}$$

ec 5

Si  $A \gg 1$  entonces, donde  $A$  es la ganancia en lazo abierto del AO y  $C$  la capacidad asociada a  $R$

$$V_s = \frac{-IR}{1 + RCw}$$

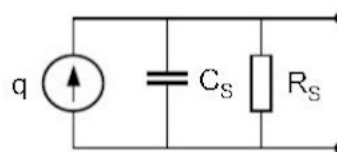
ec 6

Con el circuito de la figura 4.a, no se pueden medir fenómenos dinámicos, pues  $C_p$  (suma de sensor, la del cable y la de entrada del amplificador) limita la respuesta. Si, por ejemplo,  $R=1\text{M}\Omega$  y frecuencia de corte es  $f_c = 1/2\pi RC_p = 1.6 \times 10^{-3} \text{ Hz}$ . El tiempo de respuesta es, pues,  $t_R = 0.35/f_c = 2.2 \text{ s}$ .

Con el convertidor corriente-tensión de la figura 4.b, la respuesta es mucho más rápida. La función de transferencia es también más sencilla con  $f_c = 1/2\pi RC$ . Para  $R=1\text{M}\Omega$ , la capacidad asociada sería  $C=1\text{pF}$ . Con estos valores  $f_c = 0.16 \text{ Hz}$ , y  $t_R = 0.35/f_c = 2.2 \text{ s}$ . El efecto del AO ha sido eliminar la capacidad parásita al quedar dividido su valor por  $A$  en la función de transferencia. Si la impedancia de entrada del AO se supone infinita, la impedancia de entrada del circuito 4.a, es  $R$  mientras que la del circuito 4.b supone un efecto de carga mucho menor.

Son numerosos los sensores en los que la magnitud de salida es una carga eléctrica dependiente de entrada. Es, por ejemplo, el caso de los sensores piezoeléctricos. Según dijimos, su circuito equivalente se muestra en la figura 20. La señal de salida es preciso tratarla con un amplificador que presente alta

entrada, pues de lo contrario la capacidad ( $C_S$ ) se descargaría a través la entrada del amplificador.



Una solución es utilizar un amplificador electrométrico. En la figura n°5, se muestra el circuito sensor, la capacidad y la resistencia de fuga del cable y la capacidad y resistencia de entrada del am

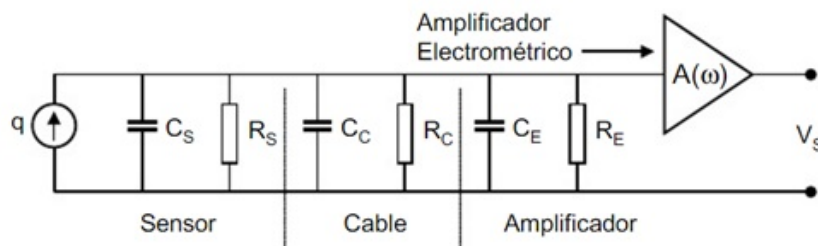


figura 5

El análisis del circuito se simplifica si se aplica la siguiente equivalencia derivada del teorema de The

n°6

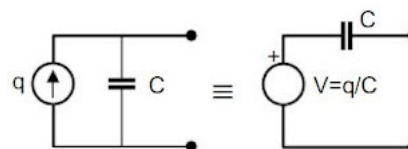


Figura N° 6

Tras el correspondiente análisis se llega a la siguiente expresión para la salida  $V_s$ :

$$V_s = A \frac{q}{C} * \frac{RC\omega j}{1 + RC\omega j} \quad \text{ec 7}$$

Donde  $R = R_S // R_C // R_E$  y  $C = C_S + C_C + C_E$

De la expresión anterior se desprende que:

- La sensibilidad del sensor ( $q$ ) queda reducida y, además, en una cuantía que depende de la  $R$  empleado.
- La respuesta en frecuencia es del tipo paso alto y con una frecuencia de corte ( $f_C = 1/2\pi R$  tanto de la longitud del cable de conexión como de su aislamiento).

Por tanto, el uso de un amplificador electrométrico será adecuado cuando pueda disponerse jun ejemplo, en el caso de micrófonos piezoeléctricos. El denominado amplificador de carga es una solu mayoría de los casos.

El circuito estudiado en la transparencia anterior está ciertamente idealizado, pues se han ignorado de fuga del sensor y del cable, y la de entrada del amplificador. Además, no se han tenido desequilibrios del AO ( $V_{OS}$  e  $I_{OS}$ ) y la resistencia de fugas de  $C_O$  ( $R_O$ ). En el circuito de la figura n° todos estos factores. Realicemos un primer análisis considerando despreciables los desequilibrios ( $e_0$ ) y  $R_O = \infty$

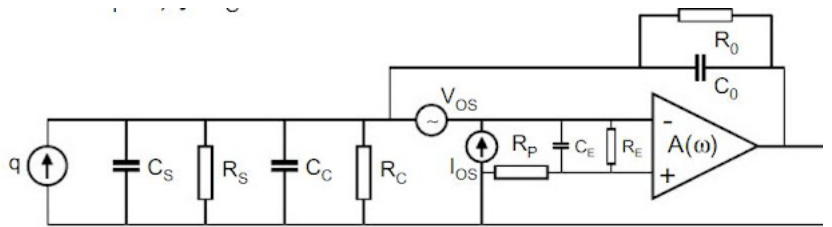


Figura N°8

$$V_s = -\frac{q}{C} * \frac{RAC_o \omega j}{1 + R[C + (1 + A)C_o] \omega j} \quad \text{ec 10}$$

Donde  $R = R_S // R_C // R_E$  y  $C = C_S + C_C + C_E$

Se trata también (como en el caso del amplificador electrométrico) de una respuesta tipo paso alto para medir fenómenos estáticos. Aunque, la frecuencia de corte ( $f_c = 1/2\pi RAC_o$ ) es ahora mucho más alta, ya que  $C_o$  multiplicada por  $A$ , lo que permite medir fenómenos muy lentos.

La resistencia  $R_o$ , necesaria para la polarización del AO, influye en la frecuencia de corte a la que el sistema responde. La presencia de  $R_o$  afecta también a la ganancia de la etapa de entrada. Según ya dijimos, suponiendo que  $R_p = R/R_o$ , esta viene dada por

$$V_s|_{OFFSET} = V_{os} \left( 1 + \frac{R_o}{R} \right) + I_{os} R_o \quad \text{ec 11}$$

A la vista de esta expresión, está claro que interesa que  $R_o$  sea lo menor posible, dentro de lo que permita la frecuencia a medir. Con este criterio se añade un resistor en paralelo con  $C_o$  ya que la resistencia de polarización suele ser demasiado alta.

#### Amplificador de Instrumentación

Los voltajes y corrientes de salida de muchos transductores son señales muy pequeñas. Además, a menudo es necesario transmitir la salida del transductor hacia el equipo de adquisición de datos o control. En ambientes industriales donde hay muchas máquinas eléctricas, el ruido eléctrico puede ser una gran dificultad en circuitos de bajo nivel. Estos ruidos pueden ser radiados, como un campo eléctrico inducido en el cableado de la planta, como circuitos tierra, y producidos por la fuente de alimentación alterna. A pesar de las fuentes de ruido, las señales de bajo nivel se deben transmitir con cuidado de no introducir más ruido. Un método efectivo para combatir el ruido es incrementar la intensidad de las señales de bajo nivel antes de su transmisión a través de los alambres. Esto se realiza frecuentemente con un amplificador llamado "amplificador de instrumentación".

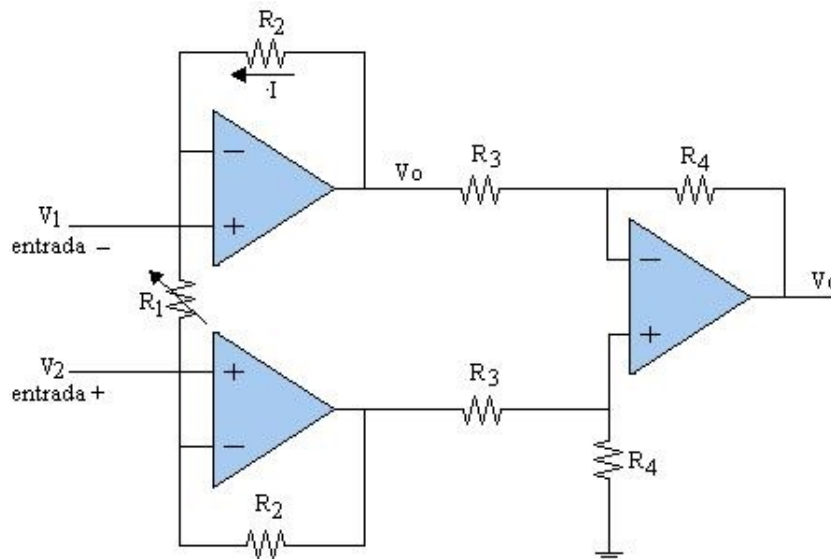


figura 9

$$V_o = \left(\frac{R_3}{R_4}\right) \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) (V_2 - V_1) \quad \text{ec12}$$

Las características que distinguen a un amplificador de instrumentación de un amplificador operac

1. Los amplificadores de instrumentación tienen ganancia finita. Un amplificador operacional tie muy grande, la cual es infinita en el caso ideal, suele utilizarse con realimentación externa p una ganancia finita.
2. El amplificador de instrumentación tiene una entrada diferencial de alta impedancia. operacional también la tiene, sin embargo, cuando los elementos de realimentación se adicior amplificador operacional, la impedancia de entrada disminuye considerablemente.

Dependiendo de la señal del sensor generador se pueden utilizar algunos de los siguientes circuitos | acondicionarlas:

#### Acondicionadores de señal para Termopares. AD594

Analog Devices dispone de unos circuitos integrados acondicionadores de señal para termopares, mostrado en la figura siguiente, para termopares tipo J que tienen un amplificador de instru compensador lineal, una salida de alarma de rotura o desconexión del termopar, se alimenta a +5V salida de 10mV/°C.

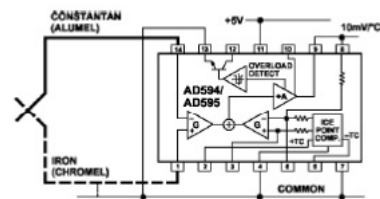


figura 10 Acondicionador de señal de un termopar

Ya que el voltaje generado por una termocúpla es muy pequeño ( $\sim 50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ), se debe usar un an ganancia lo más alta posible. Adicionalmente se debe emplear un convertidor A/D con una alta conseguir mejor resolución a nivel del instrumento digital virtual.

La termocúpla también requiere como ya se mencionó de un circuito de compensación de la unión c a la temperatura de referencia, el cual incluye a un sensor que puede ser un termistor o un se integrado IC con su respectivo circuito eléctrico.

Como parte del acondicionamiento a emplear para todos los tipos de sensores de temperatura, e filtros pasa bajas para rechazar las señales de ruido provenientes de las líneas de potencia (60 Hz evitar el efecto alias, problema siempre presente en los sistemas muestreados,

Analog Devices con la división denominada *lomation* tiene una serie de acondicionadores de señal módulos híbridos y en concreto para termopares tiene el módulo 1B51 aislado para aplicaciones ind dan una solución completa.

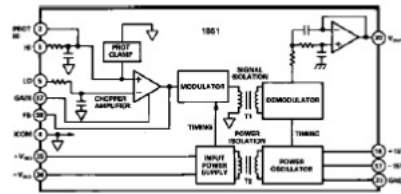


figura 11 Acondicionador de termopar con el módulo 1B51 de Analog Devices

**Los sensores fotovoltaicos** están basados en el efecto fotovoltaico. Son más lineales que los fotoconductores pero es necesario amplificar la señal que generan.

Circuito equivalente simplificado de un sensor fotovoltaico

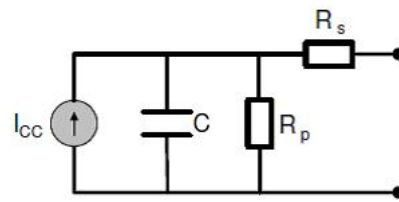


figura 12

Circuito de acondicionamiento

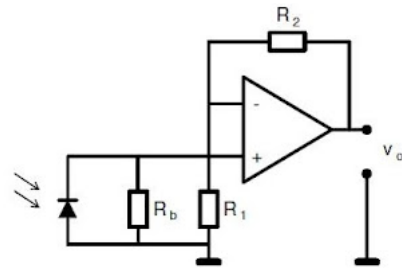


figura 13

Acondicionador de señal de corriente fotovoltaica de baja potencia:

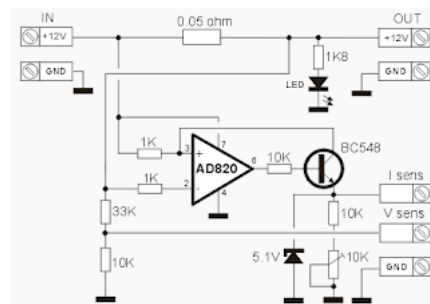


figura 14

En este circuito se amplifica y filtra la señal de un sensor fotovoltaico que genera una corriente para corriente principal entra por el conector de bornes "IN", pasando por un shunt de 0,05 ohm para de conector "OUT". Un shunt es una resistencia de precisión de muy bajo valor que se usa generalmer de aplicación. En él cae una pequeña tensión que, a través de la ley de Ohm, nos permite de calcula pasa por el circuito. Por ejemplo, con una corriente de 3A, la tensión sobre el shunt será de  $V = I \cdot R$ . La tensión obtenida es muy baja para ser de utilidad por lo tanto es necesario amplificarla. I



amplificador operacional con entradas del tipo FET y que puede trabajar con una sola tensión de este caso la misma tensión de 12V que será medida.

Acondicionadores de señal para las RTD

Hay muchas maneras de acondicionar la señal que se recibe de una RTD. La primera propuesta de es con un amplificador de instrumentación y su circuitería adicional, figura de la izquierda y la segunda propuesta algo similar con el circuito ADT70 perfectamente adecuado para acondicionar que entrega una salida de 5mV/°C cuando se utiliza una RTD de 1kΩ.

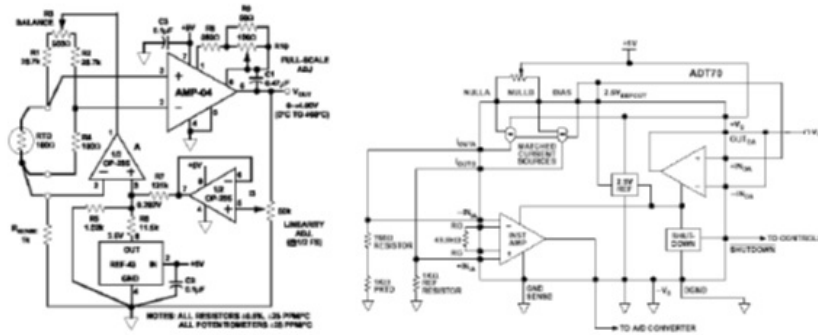


figura 15

La tercera propuesta es por medio de una familia de convertidores sigma-delta que incluyen acond de una RTD, con una fuente de corriente de 400µA, un amplificador de ganancia programable y disponen de una salida serie hacia un microcontrolador o DSP. Texas Instruments dispone acondicionador de RTD con un transmisor 4-20 mA.

Acondicionadores de señal para sensores de Humedad

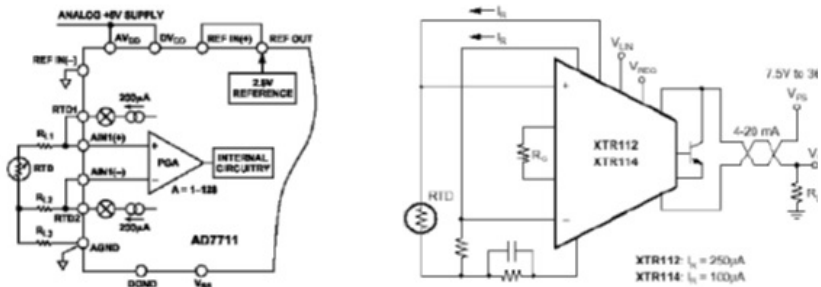


figura 16

Estos sensores proporcionan una señal de tensión proporcional a la humedad relativa y puede ser a por la entrada del convertidor A/D de cualquier microcontrolador.

Acondicionadores de señal para una Célula de Carga

La utilización de un amplificador operacional de instrumentación en modo diferencial, es comúnmente utilizado para la salida de una Célula de Carga. En la figura se muestra este ci imprescindible utilizar una referencia de tensión de precisión, que nos dará la tolerancia de la amplificador operacional de instrumentación de alta linealidad y bajo ruido. Con un circuito como este se pueden obtener 14 bits. Analog Devices dispone de una gama de amp operaciones de instrumentación como el AD624, AMP01, AMP02, AMP04,

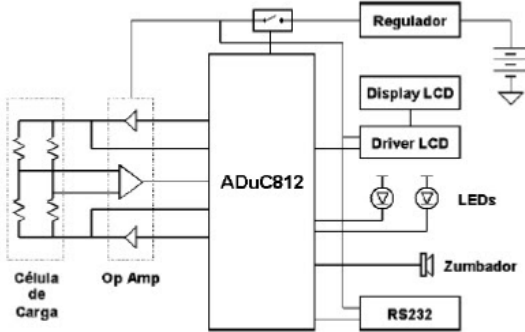
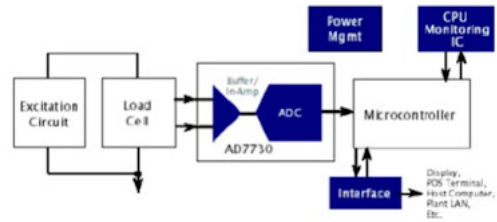


figura 17 Aplicación típica de una Célula de Carga para pesaje.

Actualmente con la rápida implantación de los convertidores sigma-delta, debido a sus buenas pre bajo coste, se han podido integrar en un solo circuito todo un conjunto de elementos que resuelven casos todos los circuitos externos. En la siguiente figura se muestra una aplicación típica de una célula un completo acondicionador de señal de Analog Devices, el AD7730, de una familia de convertidores



Aplicación típica de una Célula de Carga con un completo acondicionador de señal A

### Sensores Piezoeléctricos

Los sensores piezoeléctricos entregan una tensión cuando se les aplica una fuerza y pueden ser con un circuito tal como se muestra en la figura siguiente.

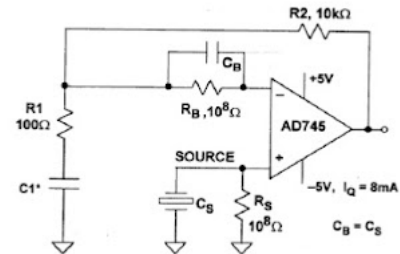


figura 18

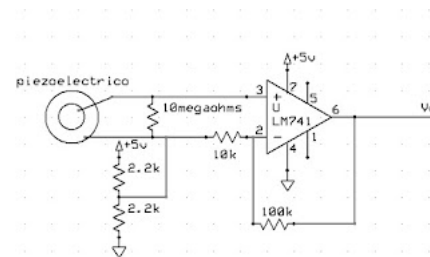


figura 19

Se utilizan amplificadores de carga que son amplificadores cuya impedancia de entrada es un condensador que proporciona una impedancia elevada a baja frecuencia. La carga generada en el sensor piezoeléctrico en el condensador CA para que el amplificador la convierta en una tensión  $V_o$ . Los sensores piezoeléctricos proporcionan una elevada impedancia de salida y proporcionan una corriente muy pequeña, lo que hace necesaria la señal generada por ellos mediante un amplificador de alta impedancia de entrada (amplificador elect

El modo tensión se implementa con un seguidor de tensión y el modo corriente mediante un convertidor de tensión. En el modo corriente la constante de tiempo puede ser menor y se obtienen mejores tiempos

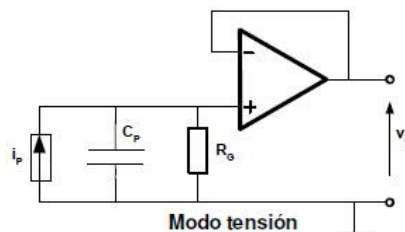


figura 20

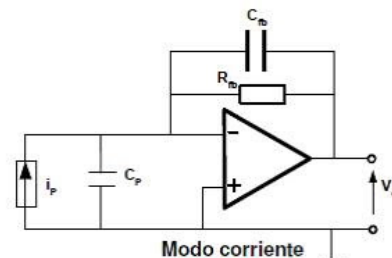


figura 21

Mediante un amplificador de carga se consigue que la carga eléctrica  $Q$ , producida por una fuerza aplicada al sensor, se acumule en forma de tensión en el condensador CA. Esta tensión aparece de salida del amplificador con signo contrario, y se mantiene aunque la fuerza aplicada sobre el ser

constante. La capacidad del sensor desaparece porque se cortocircuita virtualmente a masa a través

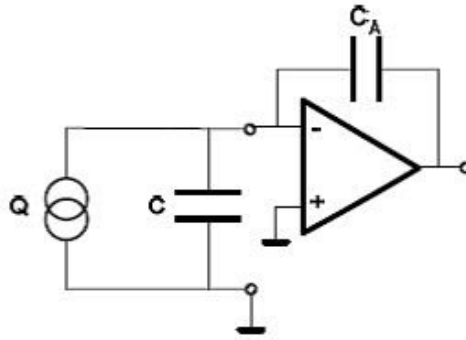


figura 22

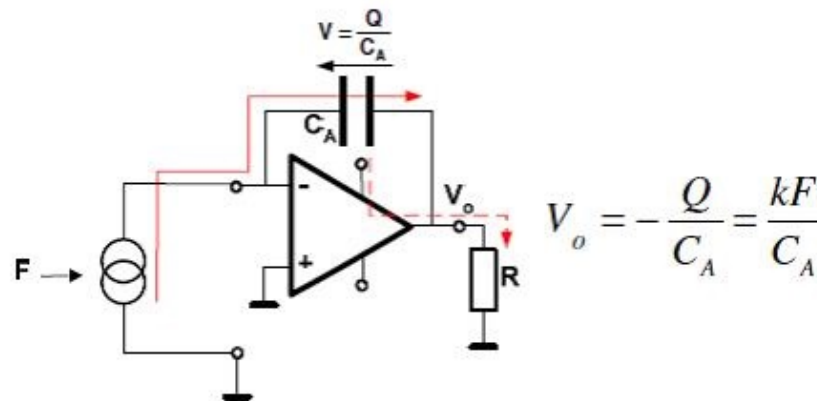
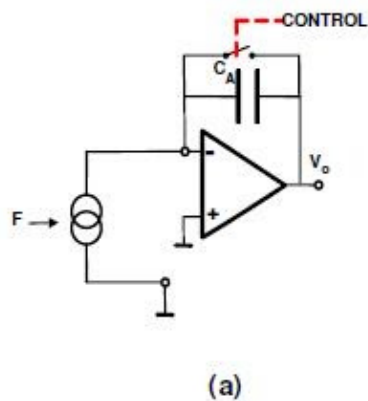


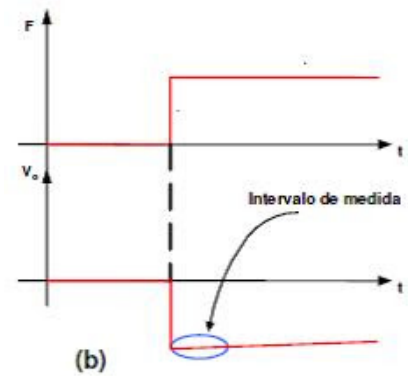
figura 23

La capacidad C de la salida del sensor no hay que tenerla en cuenta porque la tensión en sus bornes

Las tensiones de asimetría y las corrientes de polarización del amplificador ocasionan una rápida c tensión en bornes del condensador debida a la integración de los errores hasta llevar el amplifica Debido a ello el circuito deja de amplificar la carga y la señal de salida no sigue a la de entrada. P; problema hay que garantizar que el condensador CA está descargado antes de iniciar la medida. P; un interruptor que cortocircuita el condensador de forma permanente excepto durante el tiempo de m



(a)



(b)

figura 24

Para limitar los picos negativos de la tensión de salida se suele colocar una R en serie con la introduce retardos adicionales en la medida.

Un LVDT es un dispositivo electromecánico que consiste de dos componentes: Un cuerpo hueco contiene dos bobinados secundarios idénticos los cuales están posicionados en ambos lados del primario y un núcleo de ferrita cilíndrico se mueve libre longitudinalmente dentro de la bobina. típicamente están conectados en serie en oposición uno de otro. Sencillamente, los LVDT son transformadores con núcleo movable.

Estos sensores proporcionan una señal de tensión proporcional a la humedad relativa y puede se por la entrada del convertidor A/D de cualquier microcontrolador.

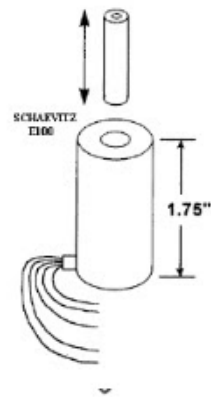


figura 25 Bobinado del LVDT con respecto a la posición

Aplicando una señal alterna de excitación al bobinado del primario, genera un campo magnético que induce voltajes en los bobinados del secundario a través del núcleo de ferrita móvil, por esto se inducen voltajes en ambos secundarios. Cuando el núcleo está centrado entre los dos secundarios, los voltajes inducidos en ambos son de igual magnitud pero están conectados en serie en oposición, el voltaje final será cero. Si el núcleo se mueve en una dirección, el voltaje de uno de los secundarios incrementa, y el voltaje del otro decrece; de este modo el voltaje final será de la misma polaridad (en fase) como el de referencia. Si el núcleo se mueve en dirección opuesta, el voltaje final será de polaridad opuesta ( $180^\circ$  de desfase).

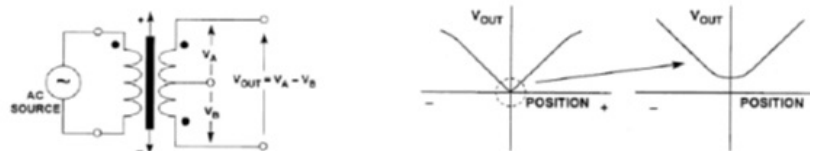


figura 26 voltaje de salida del LVDT con respecto a la posición

#### Acondicionamiento de Señal de los LVDT

La mayoría de tareas de un acondicionador de señal LVDT, se dedican a transformar las señales de salida de los LVDT, que están desfasadas  $180^\circ$  a un simple voltaje d.c. que representa la posición longitudinal. Por lo tanto se requiere una forma de demodulación para acondicionar la conversión de a.c. a d.c. El modo más común para acondicionar la señal LVDT es la técnica de demodulación síncrona.

En demodulación síncrona, la excitación del primario sirve como referencia para el demodulador. El demodulador rectifica a media onda la señal a.c., después se filtra con un pasabajos para producir una salida d.c. que indica el movimiento (posición) lejos de la posición central y cuyo signo indica la dirección.

El método de conversión de las señales LVDT, utiliza un número elevado de componentes discretos como se muestra a continuación, donde tiene cuatro secciones: oscilador/excitador, amplificador de demodulación y filtro pasa-bajos. Con la introducción del AD698, *Analog Devices* da soporte a las técnicas de acondicionamiento de señal de los LVDT. Es un completo convertidor monolítico de LVDT a salida continua.

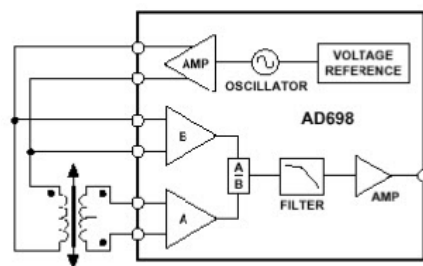


figura 27 Solución de acondicionador de señal LVDT con el AD698.

#### Acondicionador interno de las señales

Para hacer más fácil el trabajo, *Motorola* ha integrado circuitos dentro del sensor, además de la calibración en temperatura en el chip con la serie MPX2000, ofrece actualmente un acondicionador de señal que se ha integrado en el chip de la serie MPX5000 para permitir una interfaz directa con cualquier microcontrolador que tenga un convertidor A/D.

El acondicionamiento de la señal se hace por medio de cuatro etapas de amplificación, incorpora un amplificador bipolar lineal, unas técnicas de metalización de película delgada y un ajuste con láser interactivo especial tecnología al sensor.

Para las demás señales generadoras se utiliza principalmente los acondicionadores de señal, como se muestra en la figura 28, se prepara la señal que vamos a procesar antes de entrarla a un convertidor A/D, a un microprocesador. La alta integración de los circuitos está desplazando los montajes con muchos componentes a disminuir la mayor precisión en el proceso analógico, empezando por el uso de amplificadores operacionales en lugar de ellos en uno sólo, como los amplificadores de instrumentación.

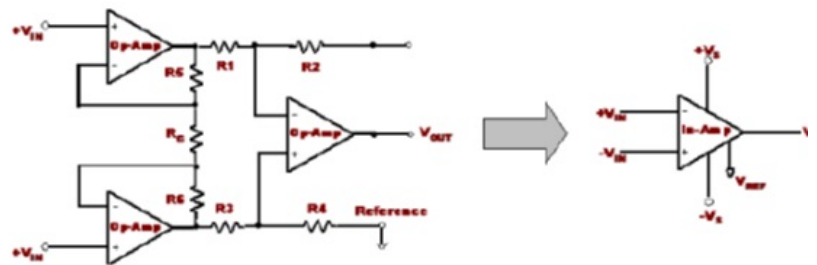


figura 28

También las cadenas de acondicionamiento se han ido reduciendo drásticamente y día a día hay que nuevos productos que compiten en coste con los "actuales" y mejoran sus prestaciones.



figura 29

Además se pueden encontrar en una cantidad de circuitos acondicionadores, de los principales circuitos analógicos, como *Analog Devices*, *Texas Instruments* y *BurnBrown* (comprada por TI), *Philips Semiconductors*, *ST*.

### Practica

En esta sección te dejamos algunas una prácticas de laboratorio, para que analices el acondicionamiento de algunos modelos de sensores generadores.

### Laboratorio N°1 Acondicionamiento de un termopar

#### Objetivo

- Estudiar el circuito de acondicionamiento de un termopar tipo J

#### Material requerido

- Termopar tipo "J".
- Amplificador Operacional OP07.
- Resistencias y capacitores varios (ver figura).
- Fuente de voltaje +12 y -12 volts.

#### Procedimiento

- Construya el circuito de la figura 1 empleando el amplificador OPA27. Determine su ganancia  $n$ .
- Mida el voltaje de salida de DC con el multímetro digital y regístrelo. Este es el voltaje de  $V_c$  (offset) del circuito.
- Modifique el circuito para incorporarle el termopar tal y como se aprecia en la figura 2.
- Mida la temperatura ambiente  $T_a$ .
- Acerque una fuente de calor a la unión del termopar y deje que se estabilice. Mida el voltaje de salida.
- Con los datos anteriores y con la ayuda de la tabla de valores para el termopar "J" determine la temperatura  $T_t$  de la unión del termopar.

#### Reporte

- Determine la ganancia  $G$  del circuito.
- Explique porqué se requiere el valor  $V_c$  del amplificador construido.
- Explique en detalle el procedimiento para determinar la temperatura  $T_t$  de la unión del termopar.
- Determine el error en la medición partiendo de los errores del proceso.

## Esquema de la práctica

## Experiencia I.

1. Revisión de la información proporcionada por el fabricante.
2. Preparación de las herramientas de registro para los datos obtenidos.
3. Acondicionamiento de los instrumentos y herramientas necesarias para emprender la caracterización
4. Caracterización de los valores necesarios bajo cambios en la variable a controlar, considerando la caracterización.
5. Caracterización de la variable a controlar a manera de planta o proceso de interés.

## Experiencia II.

1. Construcción de los circuitos de acondicionamiento de los sensores a utilizar.
  2. Revisión del funcionamiento de los elementos de acondicionamiento.
  3. Caracterización del funcionamiento del instrumento bajo las condiciones probadas en la sesión anterior
- Análisis de resultados.

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

**Sesión 1.**

La práctica consiste en realizar la caracterización de dos instrumentos (sensores) de medición termopar tipo K y sensor LM35, para ello se realizara un análisis de las condiciones de operación por el fabricante, antes de comenzar la práctica se prepararan las herramientas de captura de datos como se propondrá un número mínimo necesario de mediciones prudente como objetivo de la. Posteriormente se prepararan las condiciones y herramientas necesarias para realizar las m laboratorio y se emprenderá la larga tarea de tomar datos para ambos sensores, utilizando un ele para aumentar la temperatura de un medio en condiciones controladas.

Lista de tareas.

La primera sesión consiste en:

Caracterización del sensor monolítico LM35 (o equivalente).

Caracterización de termopar K y los instrumentos y materiales utilizados durante las mediciones.

Concluir que sensores necesitan acondicionamiento.

**Sesión 2.**

La segunda sesión de esta práctica consiste en acondicionar la señal de salida de los sensores de de esta empresa, para ello se construirán los circuitos electrónicos necesarios para el acondicio señales que así lo necesiten.

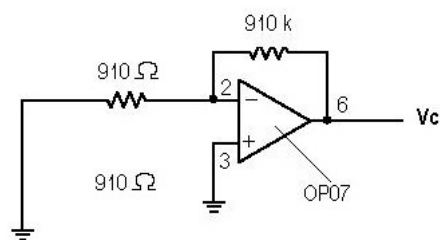
En esta práctica se compensara el efecto de unió fría presente en todo sensor de temperatura K, J, ensamblara un circuito de acondicionamiento utilizando amplificadores de instrumentación comercial

Lista de tareas.

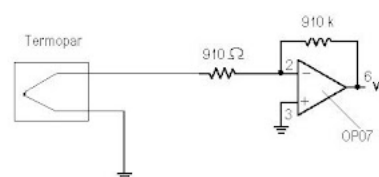
La segunda sesión consiste en:

Construcción de un circuito de acondicionamiento de señal para el uso de un sensor de temperatura.

Caracterización de la respuesta del sensor acondicionado.



Amplificador Diferencial entrada cero

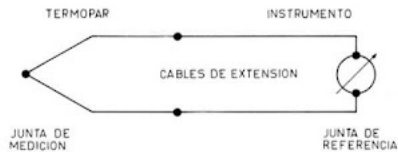


Amplificador del Termopar

**Introducción**

Una forma de medir la temperatura de un medio, es utilizando un termopar (llamado también **Term** mala traducción del término inglés **Thermocouple**). Un termopar se forma uniendo dos materiales distintos (generalmente en forma de alambre) mediante soldadura, fusión o uniéndolos a presión me termopar son sensores de temperatura más utilizados en la industria.

Un termopar se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados general temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orde el cual aumenta con la temperatura. Ver figura siguiente



Un termopar se puede usar para medir temperaturas, desde aproximadamente cero grados absolu los 3000 °C, según los materiales con que se construya, la forma de instalarlo en el medio a medir : de los instrumentos usados para medir el voltaje de los extremos del par, puede ser un dispositivo de alta precisión

Un termopar está disponible en diferentes combinaciones de metales o calibraciones. Las cuatro c comunes son J, K, T y E. Hay calibraciones de alta temperatura que son R, S, C y GB. Cada cal diferente rango de temperatura y ambiente, aunque la temperatura máxima varía con el diámetro de usa en el termopar. Aunque la calibración del termopar dicta el rango de temperatura, el rango máxi limitado por el diámetro del alambre de termopar. Esto es, un termopar muy delgado posiblemente n rango de temperatura.

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son de K. Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyec de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio). La termocupla K se usa típicamente en fund temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos termocuplas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero). Fi T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta a Pt100 (ver la nota técnica 4).

[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Ejemplo\\_Practica\\_22335.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Ejemplo_Practica_22335.pdf)

Metas.

- ✓•El estudiante de ingeniería confrontara la caracterización de un instrumento de manera práctica a fin resultados con los datos proporcionados por los fabricantes de algunos sensores de temperatura.
- ✓•El estudiante corroborara el comportamiento de los sensores de temperatura que se analizaran en cl
- ✓•Se comprobara de manera práctica la necesidad de caracterizar los instrumentos.

LISTA DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

Herramientas.

Equipo	Cantidad	Descripción
Multímetro		
Parrilla eléctrica y encendedor de gas		
Termo par tipo K		
Contenedor de líquido-solido	683,94-524,55	
Elementos de seguridad		

La parrilla eléctrica o elemento calefactor, es un elemento grupal, dos o tres elementos por grupo d mas que suficientes, los elementos de seguridad quedan a discreción del estudiantes en función de propias.

<https://topicoselectronica.files.wordpress.com/2014/09/instrumentac3b3n-prc3a1ctica-1-2-0.pdf>

<http://www.eafranco.com/docencia/instrumentacion/files/practicass/02/Practica02.pdf>

<http://ciecfie.epn.edu.ec/wss/VirtualDirectories/80/Automatizaci%C3%B3n-Instrumentacion/Laboratorios/instrumentacion/hojasguias/2016A/Pr%C3%A1ctica%205%20IE.pdf>

<http://www.uv.es/=termo/Laboratori/Termodinamica/Guiones/cas/02-10.pdf>

**Elaborado por los ingenieros: Cova. P. Yusmary y Bompal O. Jorge**

Publicadas por [Unknown](#)

Etiquetas: [\\*6.- Acondicionamiento sensores generadores](#)

**No hay comentarios:**

**Publicar un comentario**



Escribe tu comentario

[Entrada más reciente](#)

[Inicio](#)

[En](#)

Suscribirse a: [Enviar comentarios \(Atom\)](#)

Tema Picture Window. Imágenes del tema: [Dizzo](#). Con la tecnología de [Blogger](#).