

## LABORATORIO DE SENSORES Y TRANSDUCTORES

### PRÁCTICA N° 1

#### 1. TEMA

MEDICIÓN DE VARIABLES Y CÁLCULO DE ERRORES

#### 2. OBJETIVOS

- 2.1. Conocer los diferentes circuitos de acondicionamiento de sensores.
- 2.2. Diseñar un circuito de acondicionamiento para aplicaciones de instrumentación.
- 2.3. Familiarizar al estudiante con el cálculo de errores de los instrumentos y su efecto.

#### 3. MARCO TEÓRICO

Los amplificadores operacionales son dispositivos electrónicos que amplifican señales mediante una ganancia alta y son usados en distintas configuraciones de acuerdo con la aplicación requerida. Las características principales de un amplificador ideal generalmente son:

- La impedancia de entrada  $Z_{in}$  es muy alta, del orden de  $M\Omega$ .
- La impedancia de salida  $Z_{out}$  es muy baja, del orden de  $1\ \Omega$
- Las entradas apenas drenan corriente, por lo que no suponen una carga.
- La ganancia es muy alta, del orden de  $10^5$  o mayor.
- En lazo cerrado, las entradas inversora y no inversora son prácticamente iguales.
- La tensión de salida presenta un límite máximo y un límite mínimo que depende de la fuente de alimentación.

A continuación, se describen algunas configuraciones utilizadas en Instrumentación Electrónica.

##### ***Amplificador Inversor [1]***

Es un amplificador cuya ganancia en lazo cerrado está dada por la relación de sus resistencias externas  $R_f$  y  $R_1$ . Puede amplificar tanto señales DC como AC.

Para entender su funcionamiento es necesario hacer dos suposiciones de simplificación apegadas a la realidad:

1. El voltaje entre las entradas (+) y (-) es esencialmente 0 [V], cuando no se encuentra en saturación.
2. La corriente requerida por los terminales (+) y (-) es despreciable.

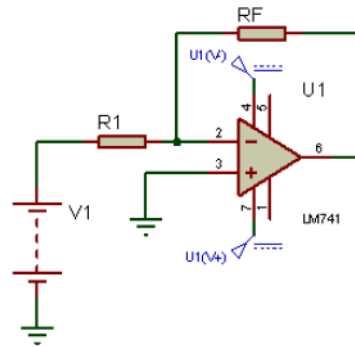


Figura 1: Amplificador Inversor

Para su diseño es necesario considerar la fórmula para el cálculo de la ganancia de voltaje en lazo cerrado ( $A_{CL}$ ):

$$A_{CL} = -\frac{R_F}{R_1}$$

Además, se debe considerar que la resistencia de entrada al circuito es  $R_1$ , debido a las consideraciones anteriores que hacen que todo el voltaje de la fuente caiga sobre dicha resistencia. Es importante tomar en cuenta el efecto de carga que se genera cuando la resistencia interna de la fuente es considerable. En este caso el valor de la ganancia de voltaje se reduce debido a la disminución del voltaje de salida, esto se puede apreciar en la siguiente figura:

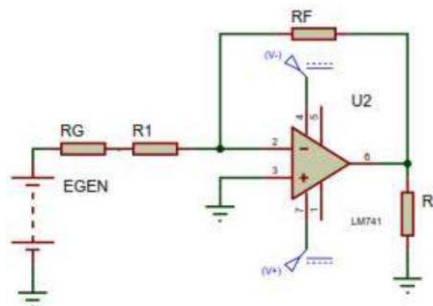


Figura 2: Resistencia Interna de la Fuente

### **Amplificador No Inversor [1]**

Con esta configuración el voltaje de salida tiene la misma polaridad que el voltaje de entrada. Respecto a su resistencia de entrada se debe añadir que es extremadamente grande, excediendo los 100 [MΩ].

Para la cuestión de diseño es necesario recordar la fórmula para determinar la ganancia de voltaje en lazo cerrado:

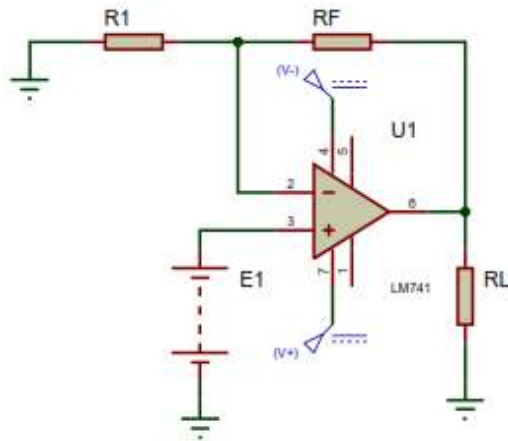


Figura 3: Amplificador No Inversor

$$A_{CL} = 1 + \frac{R_F}{R_1} \quad (2)$$

### **Amplificador Diferencial [1]**

Puede medir y también amplificar pequeñas señales que quedan ocultas en señales mucho más intensas.

Aquí se tiene que el voltaje de salida del amplificador diferencial es proporcional a la diferencia de voltajes aplicados a las entradas, es así como se define la ganancia diferencial.

$$V_o = \frac{R_3}{R_1} (E_1 - E_2) \quad (3)$$

Esta fórmula sirve para el diseño de esta configuración. Además, se usa ampliamente debido a su característica de rechazo al ruido.

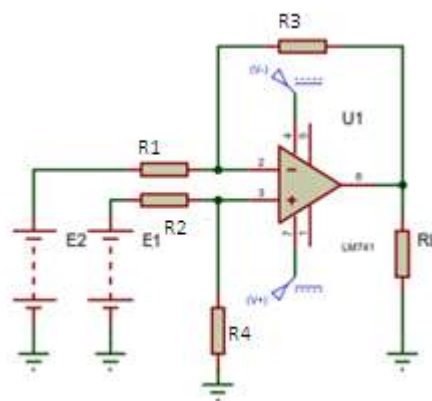


Figura 4: Amplificador Diferencial

Pero este amplificador presenta dos desventajas:

1. Tiene una baja resistencia de entrada (que se puede solucionar aislando las entradas con seguidores de voltaje)
2. El cambio de la ganancia es complicado ya que se debe satisfacer la condición:

$$R1 = R2 \text{ y } R3 = R4 \quad (4)$$

Respecto a la resistencia de entrada diferencial, teóricamente se le calcula recordando la consideración del corto circuito virtual:

$$R_{id} = 2R1 \quad (5)$$

### **Error [1]**

El error de la medida es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las medidas teóricas o ideales, como resultado de las imperfecciones de los aparatos y de las variables parásitas que afectan al proceso.



Figura 5: Errores con instrumentos.

## **TRABAJO PREPARATORIO**

- 4.1. Consulte la configuración, la ecuación de ganancia y agregue una imagen para el diseño de los siguientes circuitos operacionales:
  - 4.1.1. Comparador
  - 4.1.2. Sumador
  - 4.1.3. Seguidor de voltaje
  - 4.1.4. Diferencial (Considerar voltaje referencial)
  - 4.1.5. Puente de Wheatstone
  - 4.1.6. Circuito de disparo de un relé
- 4.2. Consulte los tipos de errores de las medidas y su fórmula matemática.
- 4.3. Realice una tabla de los valores de las resistencias estándar comerciales y de precisión.
- 4.4. Consulte los valores normalizados de voltaje, corriente y presión utilizados en el campo de la instrumentación.
- 4.5. Consulte los conceptos de rango, alcance, incertidumbre en la medida, exactitud, precisión, sensibilidad, repetibilidad e histéresis.

4.6. Presente el diseño de los siguientes circuitos, adjunte capturas de pantalla como evidencia y genere tabla de valores para comprobar el correcto funcionamiento.

### **Ejercicio 1: CIRCUITO INVERSOR**

El esquema de la conexión del circuito inversor se muestra en la figura 1 del marco teórico, se desea amplificar una señal sinusoidal de  $0.2 [V_p]$  a una frecuencia 1KHz en la entrada ( $V_{in}$ ) cuya resistencia ideal interna es de  $12 [\Omega]$ . En el circuito propuesto se desea obtener una ganancia de  $G=5$ . Calcular los valores de  $R_1$  y  $R_2$  que permitan obtener la ganancia solicitada. Además, registrar los valores de voltaje de salida del generador de señales ( $V_{io}$ ) y voltaje de salida del amplificador inversor ( $V_o$ ), además el circuito debe quedar balanceado.

### **Ejercicio 2: CIRCUITO NO INVERSOR**

Se desea amplificar la señal sinusoidal de  $0.1V_{in}$  pico y una frecuencia de 1KHz, y su resistencia intern  $R_G$  del generador es despreciable por la configuración del amplificador. El circuito tendrá una ganancia de  $G=10$ . Realizar pruebas con distintos valores de  $R_G$  Y  $R_3$ , con el fin de comprobar cómo estas afectan a la salida del circuito, además tomar en cuenta que el circuito quede balanceado.

### **Ejercicio 3: AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**

Se tiene un circuito de acondicionamiento con un LM741 alimentado con +12 y -12 voltios, cuya salida es de 0 a 5 V. P1 es un sensor pt100(tomar en cuenta que los PT100 del laboratorio inician con 110) y P2 sirve para encerrar el circuito. Calcule la ganancia necesaria.

4.6. Simule e implemente los circuitos en proteus: inversor, no inversor y diferencial del literal 4.5

## **5. EQUIPO Y MATERIALES**

Fuente DC

Multímetro

Circuitos implementados (protoboard, resistencias, amplificador operacional)

Generador de funciones

## **6. PROCEDIMIENTO**

6.1. El instructor procederá a realizar un tutorial sobre el uso de los diferentes circuitos, criterios de diseño y aplicaciones de los circuitos consultados en el preparatorio. También presentará una breve explicación de la herramienta de simulación Sensor Zone (Link en el apartado 7) explicando un ejemplo.

- 6.2. Se probará el correcto funcionamiento de los circuitos implementados y se tomará los datos correspondientes.

## 7. INFORME

- 7.1 Realice un resumen de lo visto en la práctica con los criterios de diseño a tomar en cuenta en cada uno de los circuitos.
- 7.2 Consulte los métodos utilizados para acondicionamiento de variables físicas a eléctricas y describa una de ellas.
- 7.3 Obtenga el error porcentual de los datos obtenidos mediante la simulación y la implementación de los circuitos desarrollados durante la práctica en una tabla comparativa y justifique la razón del error obtenido.
- 7.4 A partir de los circuitos operacionales consultados, diseñar los circuitos con la menor cantidad de etapas posibles de las siguientes ecuaciones de acondicionamiento:

Grupo 1	a) $V_{out} = 13(V_{in} - 75\text{ mV}) - 0.5V$ b) $V_{out} = 45 V_{in} - 8.5V$ c) $V_{out} = \frac{33}{10}(V_{in} - 42\text{ mV})$ d) $V_{out} = (V_{in} + 450\text{ mV}) + 3.5V$
Grupo 2	a) $V_{out} = 2(V_{in} - 600\text{ mV})$ b) $V_{out} = 5V_{in} - 0.2V$ c) $V_{out} = \frac{47}{3}(V_{in} - 75\text{ mV})$ d) $V_{out} = 4(V_{in} + 10\text{ mV}) + 5V$
Grupo 3	a) $V_{out} = 8(V_{in} - 400\text{ mV})$ b) $V_{out} = 5.2 V_{in} - 1V$ c) $V_{out} = \frac{75}{10}(V_{in} - 50\text{ mV})$ d) $V_{out} = \frac{1}{3}(V_{in} + 2V) - 0.5V$

### Consideraciones:

- La salida  $V_{out}$  debe ser entre [1-5V].
- El voltaje de polarización es  $\pm 12V$

### Presentar:

- El cálculo del rango de voltaje de entrada  $V_{in}$
- La simulación de los circuitos diseñados en el software de Simulación.

7.5 Utilizando la herramienta Sensor Zone, realice los ejercicios presentados en el literal 4.5

- Link de descarga de la herramienta virtual [SENSOR-ZONE.exe](#)

7.6 Conclusiones y Recomendaciones

7.7 Bibliografía.

## 8. REFERENCIAS

[1] Coughlin Roberto F., Driscoll Frederick F. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales. Prentice Hall, México DF, 1993.

[2] <https://www.digikey.com.mx/es/product-highlight/a/analog-devices/ad620-instrumentation-amplifier>

[3] Creus Solé, Antonio. Instrumentación Industrial. 8a ed., cap.1. Barcelona: Marcombo, 2011.

[4] <https://drive.google.com/drive/folders/19cCgy6vZHX1ZZjzUmQYjmCOL6oV7We-R?usp=sharing>

**Elaborado por:** Ing. María Fernanda Trujillo G. MSc.

**Revisado por:** Ing. Ana Rodas, MBA  
Jefe de Laboratorio