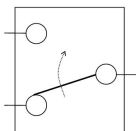


# Práctica N°1: Sensores

E304 - Instrumentación y Control (2022)

## 1. Introductorios

a) Dado el esquema de un interruptor convencional mostrado en la Figura:



realice un esquema del circuito de conexión necesario para poder encender o apagar una lámpara de filamento desde dos ubicaciones diferentes. Utilice para ello una fuente de tensión, una resistencia (lámpara) y dos interruptores.

b) A partir de una fuente de tensión continua, una resistencia y un interruptor o fin de carrera normalmente abierto (NA), realice el diagrama de un detector de posición:

- (i) con salida en nivel alto,
- (ii) con salida en nivel bajo.

2. La Figura 1 muestra el diagrama **P&ID** del sistema de control de un reactor químico para un proceso tipo *batch*. La reacción se produce a partir de dos reactivos (Feed A y Feed B). Como consecuencia de la reacción química, además del producto de interés, se produce espuma (**foam**) y gases que incrementan la presión del reactor.

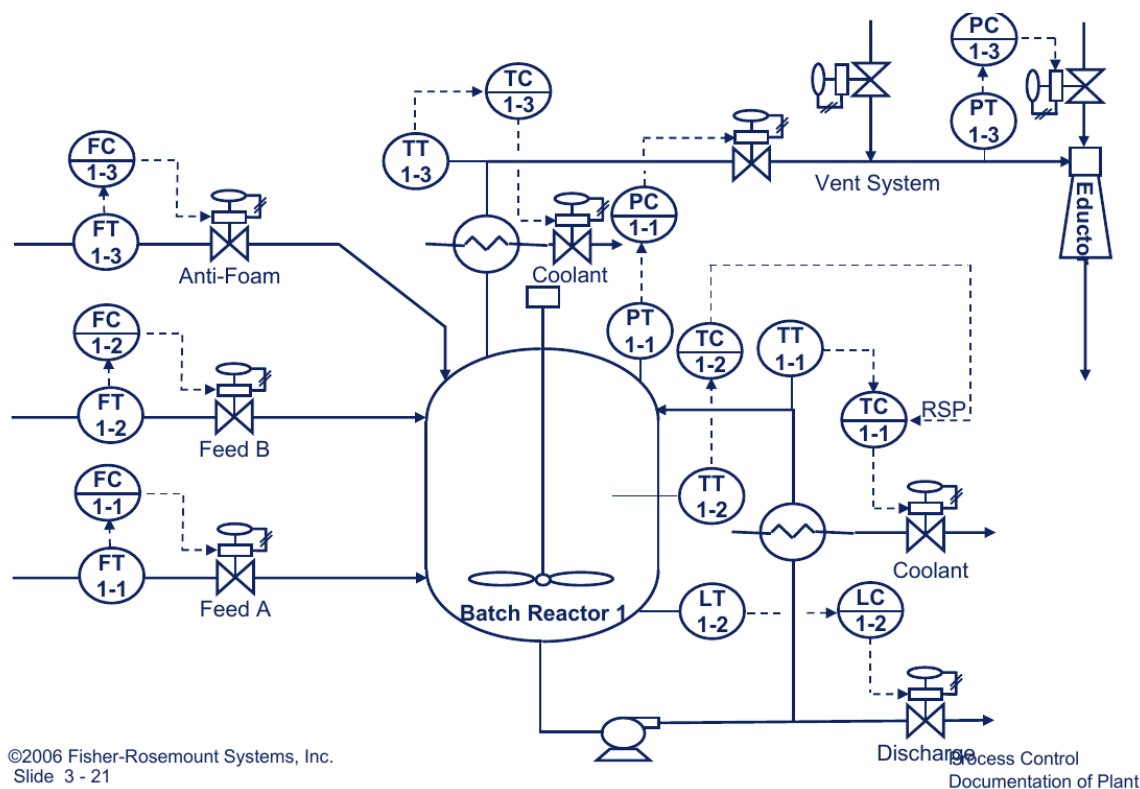


Figura 1: P&ID del control de un reactor batch

Identifique cada uno de sus elementos y lazos de control.

## Sensibilidad y Linealidad

3. La Tabla 1 muestra los datos obtenidos al identificar la **curva de calibración** de un sensor de presión:

Presión $x_i$ (kPa)	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
Salida $y_i$ (V)	0.005	0.098	0.224	0.300	0.405	0.520	0.602	0.715	0.799	0.902	0.999

Tabla 1: Curva de calibración de un sensor de presión.

- Obtener una expresión lineal para la curva de calibración por el método de mínimos cuadrados (ver Nota al final del ejercicio).
- Determinar el rango y la sensibilidad del sensor.
- Determinar errores relativos, error referido a fondo de escala y clase de precisión.

*Nota:* Para obtener una aproximación lineal por mínimos cuadrados puede usar Excel, Hojas de Cálculo de Google, o bien, manualmente:

$$y = ax + b \quad a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

donde  $n$  es el número de medidas.

4. La salida  $\Delta V$  de un puente de Wheatstone alimentado con una tensión  $V_{cc}$  es

$$\Delta V = \frac{V_{cc}}{2} \frac{x}{x + 2}$$

donde  $-5\% < x < 5\%$  es el porcentaje de apartamiento de una de las resistencias respecto de su valor nominal ( $R = R_N(1 + x)$ , si  $x = 0$  el puente está balanceado),

- Determinar el error de linealidad expresado en % sobre el fondo de escala, si se aproxima

$$\Delta V \cong \frac{V_{cc}}{2} \frac{x}{2}$$

- ¿Cómo cambia este error si  $-20\% < x < 20\%$ ?

## Sensores de Temperatura

5. Un **RTD** tiene  $\alpha_R = 0,005/^{\circ}\text{C}$ ,  $R_{20^{\circ}\text{C}} = 500\Omega$  y un coeficiente de disipación  $\delta = 30\text{mW}/^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ . El RTD es usado en un circuito puente, con  $R_1 = R_2 = 500\Omega$  en las ramas superiores y  $R_3$  usado para equilibrar el puente.

- Si la fuente es de 10V y el RTD está puesto en un baño a  $0^{\circ}\text{C}$ , encontrar el valor de  $R_3$  que equilibra al puente. Considere el efecto de autocalentamiento.
- Indique dos formas distintas de conexionado a 3 hilos y una a 4 hilos que permitan compensar la variación de temperatura en los cables. Analice ventajas y desventajas.
- ¿De qué depende la linealidad y de qué la sensibilidad del sistema de medida? ¿Cómo podría reducirse el error de linealidad y cuál sería el costo a pagar?

6. Se dispone de una **termocupla** tipo K para medir la temperatura de una torre de destilación de petróleo crudo.

- ¿Qué tensión entrega la termocupla cuando la temperatura del petróleo es de  $345^{\circ}\text{C}$  y la temperatura ambiente es de  $20^{\circ}\text{C}$ ?
- ¿Cuál es la temperatura del petróleo si la termocupla entrega una diferencia de tensión de aproximadamente  $12\text{mV}$ ? (considere misma temperatura ambiente).
- Continuará en el TP2...*

### Sensores de Deformación

7. a) ¿Qué cambio de resistencia se produce en un **strain gauge** de  $120\Omega$  de valor nominal ante una deformación de  $1000\mu\text{m}/\text{m}$ , si el  $\text{GF} = 2$ ?

b) Si el coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura es  $\alpha_R = 0,004/^{\circ}\text{C}$  y la temperatura experimenta un cambio de  $1^{\circ}\text{C}$ , ¿Qué variación se produce en el valor resistivo de la galga debido al efecto de la temperatura?

c) Comparando los resultados obtenidos en a) y b), y si deseamos medir esfuerzos utilizando galgas de estas características, justificar matemáticamente el conexionado utilizado para compensar la variación de la temperatura.

8. Un Strain Gauge (SG) con un  $\text{GF} = 2,03$  y  $R_0 = 350\Omega$  es usado en un puente de Wheatstone para sensar la deformación de una pieza, junto con otro SG no activo para compensación de temperatura. En las demás ramas del puente,  $R_1$ ,  $R_2$  y el SG no activo tienen una  $R = 350\Omega$ . Si  $V_{cc} = 10\text{V}$  y la deformación es de  $1450\mu\text{m}/\text{m}$ , encontrar el voltaje de offset del puente.

9. Se tiene un poste de aluminio de  $2,5\text{cm}$  de radio sujeto a esfuerzos de tracción, con un sensor de deformación y un compensador de temperatura ubicados en él. Los SG son parte de un puente cuya tensión de alimentación es de  $2\text{V}$ ,  $R_1 = R_2 = R_{SG} = 120\Omega$ .

a) Si el  $\text{GF}$  es igual a  $2,13$ , encontrar la variación de voltaje para cargas entre  $0$  a  $5000\text{Lb}$ . Recuerde que  $E_{Al} = 6,89 \cdot 10^{10}\text{N}/\text{m}^2$ .

b) ¿Con qué ganancia se deberá amplificar la salida del puente si se la quiere conectar a un conversor Analógico/Digital cuyo rango de entrada va de  $0\text{V}$  a  $2,5\text{V}$ ?

10. Un indicador de fuerza de deformación activo de  $120\Omega$ , con un  $\text{GF} = 2$ , está conectado a un circuito puente y montado en una muestra de acero. Calcular la tensión mínima (esfuerzo) que se puede detectar si la resolución del equipo de supervisión es de  $10\mu\text{V}$ .

- Tensión de alimentación del puente =  $8\text{V}$
- $E_{acero} = 2,1 \cdot 10^5\text{MN}/\text{m}^2$ .

11. Una **celda de carga** marca REACCION (comercializada por Flexar SRL) modelo CD-10 (hasta  $10\text{kg}$ ) indica en su etiqueta y en su hoja de datos  $R=350\Omega$  y una sensibilidad de  $2\text{mV}/\text{V}$ . Investigue qué significa esto último, y obtenga la sensibilidad del sistema de medida en función del peso de la carga en  $\text{kg}$  cuando se alimenta la misma con  $0-15\text{V}$ .

### Sensores de Iluminación

12. A partir de la Tabla presentada en las diapositivas de las clases teóricas, indique cuáles sensores LDR (de qué material) son aptos para medir iluminación en el espectro visible, y cuáles para medir en el infrarrojo.

¿Cómo conectaría un par de sensores de este tipo para implementar un robot móvil seguidor de luz?

**13.** La oximetría de pulso es un método no invasivo para monitorear la saturación de oxígeno en sangre de personas. Una de las aplicaciones más comunes se logra colocando el sensor en la punta del dedo del paciente. De un lado del dedo se irradia luz a dos longitudes de onda distintas, de manera alternada: 660nm (rojo) y 940nm (infrarrojo). Del otro lado se mide la intensidad de la luz transmitida a través del tejido y sangre.

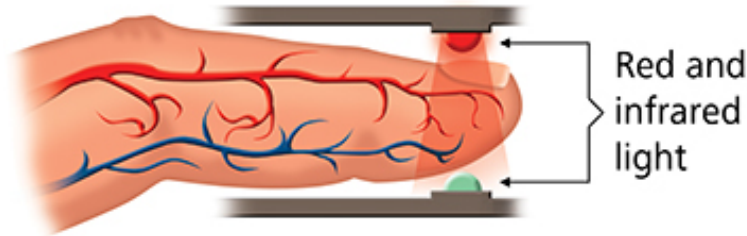


Figura 2: Esquema de oxímetro

El principio de funcionamiento se basa en que la hemoglobina oxigenada absorbe más la luz infrarroja y permite pasar la roja, mientras que la hemoglobina desoxigenada permite pasar más a la luz infrarroja y absorbe más la roja. Para la correcta determinación de la saturación de oxígeno es necesario medir de manera precisa la intensidad de la luz transmitida.

- a) ¿Qué tipo de sensor considera más conveniente para esta aplicación (LDR o fotodiodo)? Justificar.
- b) En base a la respuesta anterior, seleccionar un sensor comercial para esta aplicación. Puede utilizar el selector de partes de digikey o mouser.

### Sensores de Posición

**14.** Calcule el error de linealidad que tendrá a mitad de recorrido un sistema de medida de posición basado en un potenciómetro de resistencia nominal  $R = 1k\Omega$ , cuando se le conecta a un dispositivo con resistencia de carga  $R_L = 800\Omega$ .

**15.** Explique brevemente la diferencia entre un *encoder* de posición incremental y uno absoluto. ¿Cuál de los dos utilizaría para medir la velocidad angular de un motor y cuál para conocer la posición de una herramienta que se desplaza en forma esporádica entre numerosas posiciones prefijadas de una máquina industrial? ¿Por qué?

**16.** Un método de medición de velocidad angular con encoders incrementales es el de *medición de frecuencia*. El mismo consiste en contar la cantidad de pulsos emitidos por el encoder ( $n$ ) en una ventana de tiempo fija ( $\Delta T$ ).

- a) Deduzca la expresión que vincula el número de pulsos contados con la velocidad angular del motor en revoluciones por minuto (rpm).
- b) Obtenga la resolución de la medida de velocidad cuando se utiliza un encoder incremental de 100 ranuras y una ventana de tiempo de 100ms.

**17.** Se dispone de un sensor de proximidad inductivo con alcance nominal de 20mm para objetos de acero con superficie de  $200\text{mm}^2$ . ¿Puede utilizar este dispositivo para detectar objetos de acero cuadrados de 12,5 mm de lado a una distancia de 10 mm?

Para la resolución utilizar la tabla de factor de corrección y considerar una variación del alcance de hasta 20 % por variación en la tensión de alimentación y la temperatura.

$S_{obj}/S_{st}$	Factor de corrección
0,25	0,56
0,5	0,83
0,75	0,92
1,00	1,00

Tabla 2: Factor de corrección (FC) para sensor de proximidad inductivo (alcance real =  $FC \times$  alcance nominal)