

Apuntes Robótica Industrial 2

Tema 4: Sensores y Actuadores Industriales

TEORÍA

Convertidor analógico-digital: Resolución (V/estado) = $\frac{\text{Tensión (V)}}{2^n - 1} - 1 \Rightarrow R = \frac{T}{2^n - 1}$

Convertidor analógico-digital: Resolución ($^{\circ}\text{C}/\text{estado}$) = $\underbrace{\frac{\text{Rango } T(^{\circ}\text{C})}{\text{Rango } I(\text{A})}}_{\text{Sensor}} \cdot \underbrace{\frac{\text{Corriente (A)}}{\text{Tensión (V)}}}_{\text{Conversión I/V}} \cdot \underbrace{\frac{\text{Tensión (V)}}{2^n - 1}}_{\text{DAC}}$

Voltaje máximo: $V_{\text{max}} = I_{\text{max}} \cdot R_i$, si $V_{\text{max}} > V(\text{DAC})$, la solución NO es válida.

EJEMPLOS

① Calcular la resolución de un convertidor analógico/digital de 8 bits y tensión de referencia de 5 V.

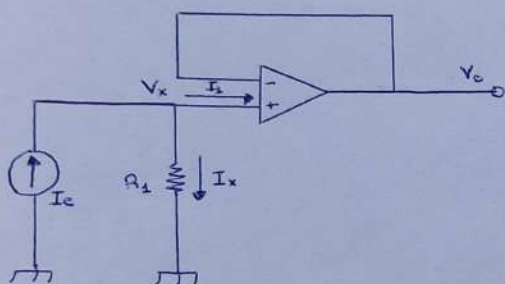
$$\text{Resolución} = \frac{\text{Tensión}}{2^n - 1} = \frac{5 \text{ V}}{2^8 - 1} = \frac{5 \text{ V}}{255} = 0.02 \text{ V/estado}$$

② Analiza la resolución de un sistema de monitorización de temperatura en una planta de fabricación de ladrillos. Los equipos involucrados en la planta son:

- PC industrial con tarjeta de adquisición de datos. Su DAC tiene una tensión de referencia de 24 V y 12 bits.

- Sensor de temperatura con un rango de medición 20°C a 120°C y salida en corriente de 4 a 20 mA.

- Etapa de conversión I/V basada en resistencias de 1 k Ω .



$$\begin{aligned} \text{Resolución} &= \frac{\text{Rango } (^{\circ}\text{C})}{\text{Rango (A)}} \cdot \frac{\text{Corriente (A)}}{\text{Tensión (V)}} \cdot \frac{\text{Tensión (V)}}{2^n - 1} = \\ &= \frac{100^{\circ}\text{C}}{0.016 \text{ A}} \cdot \frac{1 \text{ A}}{1000 \text{ V}} \cdot \frac{24 \text{ V}}{2^{12} - 1} = 0.037^{\circ}/\text{estado} \end{aligned}$$

③ Para el mismo sistema de monitorización de temperatura en una planta de fabricación de ladrillos, se necesita una resolución de $0.01^{\circ}/\text{estado}$. ¿Cuál es la resistencia que habría que utilizar en la conversión V/I? ¿Es factible la solución propuesta?

$$\begin{aligned} \text{Resolución} &= \frac{\text{Rango } (^{\circ}\text{C})}{\text{Rango (A)}} \cdot \frac{\text{Corriente (A)}}{\text{Tensión (V)}} \cdot \frac{\text{Tensión (V)}}{2^n - 1} \Rightarrow 0.01^{\circ}/\text{estado} = \frac{100^{\circ}\text{C}}{0.016 \text{ A}} \cdot \frac{1 \text{ A}}{R_i \text{ V}} \cdot \frac{24 \text{ V}}{2^{12} - 1} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{0.01^{\circ}/\text{estado}}{\frac{100^{\circ}\text{C}}{0.016 \text{ A}} \cdot \frac{24 \text{ V}}{2^{12} - 1}} &= \frac{1 \text{ A}}{R_i \text{ V}} \Rightarrow 0.000273 = \frac{1 \text{ A}}{R_i \text{ V}} \Rightarrow R_i = \frac{1 \text{ A}}{0.000273} = 3663.003663 \Omega \end{aligned}$$

$$V_{\text{max}} = I_{\text{max}} \cdot R_i = 0.02 \text{ A} \cdot 3663.003663 \Omega = 73.26007326 \text{ V} > 24 \text{ V} \Rightarrow \text{SOLUCIÓN NO VÁLIDA}$$

④ Para el mismo sistema de monitorización de temperatura en una planta de fabricación de ladrillos, se necesita una resolución de $0.01^{\circ}/\text{estado}$. ¿Cuál es el número de bits necesario en el DAC?

$$\begin{aligned} \text{Resolución} &= \frac{\text{Rango } (^{\circ}\text{C})}{\text{Rango (A)}} \cdot \frac{\text{Corriente (A)}}{\text{Tensión (V)}} \cdot \frac{\text{Tensión (V)}}{2^n - 1} \Rightarrow 0.01^{\circ}/\text{estado} = \frac{100^{\circ}\text{C}}{0.016 \text{ A}} \cdot \frac{1 \text{ A}}{1000 \text{ V}} \cdot \frac{24 \text{ V}}{2^n - 1} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{0.01^{\circ}/\text{estado}}{\frac{100^{\circ}\text{C}}{0.016 \text{ A}} \cdot \frac{1 \text{ A}}{1000 \text{ V}}} &= \frac{24 \text{ V}}{2^n - 1} \Rightarrow 0.0016 = \frac{24 \text{ V}}{2^n - 1} \Rightarrow 2^n - 1 = \frac{24 \text{ V}}{0.0016} = 15000 \Rightarrow 2^n = 15001 \Rightarrow \\ \Rightarrow n &= \frac{\ln(15001)}{\ln(2)} = 13.87277406 \text{ bits} \end{aligned}$$

EJERCICIOS DEL TEMA 4

Sensores y actuadores

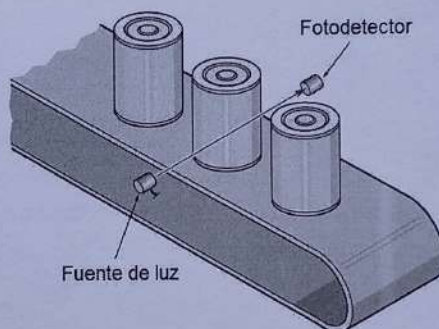
Ejercicio 1.

En la fase inicial de un control automático de una línea de producción, se cuenta con una cinta transportadora (movida por un motor de 24 V) y un alimentador de piezas por gravedad dotado de un cilindro neumático de doble efecto con válvula monoestable. El ciclo de producción comenzaría cuando el cilindro ha alimentado una pieza en la cinta. Ya que la línea automatizada no permite la instalación de un interruptor de posición final de carrera,

- (i) ¿Qué dispositivo instalarías para comenzar el ciclo de trabajo?

El objetivo del sistema es la clasificación de piezas según unos patrones nominales de altura. Un cilindro, con válvula monoestable, se mantiene en una posición alineada con la cinta para dejar pasar las piezas buenas y debe accionarse en ida y vuelta para rechazar las piezas malas.

- (ii) ¿Qué sistema de "sensado" propondrías para detectar paso y altura?



Resolución:

- (i) Por ejemplo, un sensor de presencia óptico en lugar de un interruptor de posición final de carrera: Si el sensor deja de ver la pieza, es que ha sido arrastrada por la cinta.
- (ii) Sendas células fotoeléctricas similares al sensor de presencia descrito en (i). Instaladas en vertical, podrían detectar paso y altura excesiva.

Ejercicio 2.

Seleccione el juego de sensores mínimo adecuado para la clasificación de los siguientes tipos de pieza en una línea automatizada: aluminio anodizado, acero pintado negro, acero blanco, plástico rojo, plástico negro; a partir de una tabla de selección.

Resolución:

Se trata de un sistema de clasificación de piezas por material y color. Típicamente, las estaciones automatizadas industriales cubren esta funcionalidad con dos sensores (inductivo y fotoeléctrico).

Si la pieza es metálica se activarán ambos sensores, sino tan solo el detector óptico. A través de una célula fotoeléctrica estándar (iluminando al objeto con tres tipos de luz de forma independiente: rojo, azul y verde) se puede distinguir la intensidad de luz que refleja el objeto para clasificar las piezas solicitadas. Si pasa una pieza roja, blanca o negra se reflejará la luz roja, las tres o ninguna, respectivamente. Finalmente, para clasificar el aluminio frente al resto, dependerá de las condiciones del proceso de anodización, siendo el color resultante típico azul o verde (diferente a los previos) y, por tanto, discriminable a partir del sensor fotoeléctrico.

Ejercicio 3. Un sensor potenciométrico ideal alimentado a 0 y 10 V se utiliza para conocer la posición de un husillo motorizado (actuador eléctrico lineal), acoplado a un CAD. Si el husillo cuenta con un recorrido útil de 240 mm, calcúlese el valor de n para contar con una resolución de 0,1 mm. ¿Y si las tensiones de salida del potenciómetro no son ideales y valen 0,134 y 9,478?

Resolución:

Se tiene que:

$$\frac{240 \text{ mm}_{\text{husillo}}}{10 \text{ V}} \times \frac{10 \text{ V}}{2^n - 1 \text{ estados}} = \frac{0,1 \text{ mm}_{\text{husillo}}}{\text{estado}} \Rightarrow n = 11,23 \approx 12 \text{ bits.}$$

Potenciómetro Sistema digital Resolución

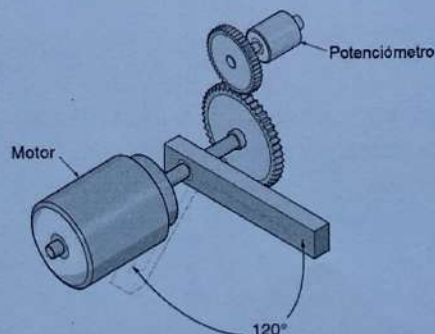
Por ejemplo, la señal del cursor se podría conectar a un convertidor A/D de 12 bits, tensiones de referencia 0-10 V, el cual esté integrado en un PLC con escala de medida programable en proporción 0-100% del rango de entrada.

En el caso planteado de que las tensiones de salida del potenciómetro no sean ideales, el CAD propuesto previamente sería suficiente. Sin embargo, la función de conversión $\text{mm}_{\text{husillo}} = f(V_{\text{pot}})$ cambiaría.

Previamente, se tenía que $\text{mm}_{\text{husillo}} = 24V_{\text{pot}}$. Ahora, resulta: $\text{mm}_{\text{husillo}} = 25,68V_{\text{pot}} - 3,44$.

Ejercicio 4. El brazo robótico de la figura gira 120° de "parada a parada" utilizando un potenciómetro como sensor de posición. El PLC con el que se pretende controlar dicho actuador cuenta con un sistema digital de 8 bits, necesitando conocer la posición real del brazo cada 0,5°.

- (i) Especifique si la configuración propuesta podrá cumplir los requerimientos.
- (ii) Sabiendo que la relación de transmisión (gear ratio) del sistema de engranaje es 1:2 y que el potenciómetro tiene un rango de funcionamiento de 350° y se encuentra alimentado a 5 V, ¿cuál es la resolución del sistema? ¿Es suficiente para controlar la posición angular cada 0,5°? En caso negativo, propóngase el valor mínimo de reducción en la transmisión.



Resolución

(i) Una resolución de 0.5° se traduce en que los 120° de giro del brazo robótico se dividen en 240 incrementos. Un sistema digital de 8 bits tiene 255 niveles (de 00000000 a 11111111), por lo que, en principio, la configuración cumple los requerimientos.

(ii) Típicamente, un potenciómetro de un solo giro (single-turn pot) tiene un rango de 350° . Al trabajar con una relación de transmisión (gear ratio) de 1:2 (cada vuelta del brazo supondría dos vueltas en el potenciómetro), la linealidad y los errores de resolución se reducirán a la mitad. Por tanto, la resolución resultante sería:

$$\underbrace{\frac{1^\circ_{\text{brazo robótico}}}{2^\circ_{\text{potenciómetro}}}}_{\text{Gear ratio}} \times \underbrace{\frac{350^\circ_{\text{potenciómetro}}}{5\text{ V}}}_{\text{Potenciómetro}} \times \underbrace{\frac{5\text{ V}}{255\text{ estados}}}_{\text{Sistema digital}} = \frac{0,686^\circ_{\text{brazo robótico}}}{\text{estado}}$$

Por tanto, es necesario modificar el valor de alimentación del potenciómetro.

Para conseguir una resolución de 0.5° , la ratio mínima de la reducción sería:

$$\frac{1^\circ_{\text{robot}}}{X^\circ_{\text{pot}}} \frac{350^\circ_{\text{pot}}}{5\text{ V}} \frac{5\text{ V}}{255\text{ estados}} = 0.5^\circ/\text{estado} \Rightarrow X = 2.74$$

La ratio mínima sería 1:2.74. Si se aproxima al valor 1:2.75, el rango de movimiento en el robot (120°) se transforma a 330° , que queda dentro del rango de funcionamiento del potenciómetro y por tanto es una configuración válida. Si se escogiera un ratio 1:3, el rango de funcionamiento del potenciómetro sería de 360° , incompatible con el funcionamiento del componente.

Ejercicio 5.

Sea el sistema de control de la barrera de un paso a nivel. La barrera tiene un rango de funcionamiento de 90° y está directamente acoplada a un potenciómetro. Dicho potenciómetro tiene un rango útil de 90° y está alimentado a 12V. El PLC que controla el sistema cuenta con un conversor analógico digital (CAD) de 8 bits y tiene un fondo de escala de 12V.

- a) ¿Cuál es la resolución del sistema?
- b) Se parte del sistema original y se cambia el CAD por uno de 12 bits.
 1. ¿Cuál es la resolución del sistema?
 2. ¿De cuántos bits debería ser el conversor para tener una resolución de 0.01° ?
- c) Se parte del sistema original y se cambia el CAD por uno con 5V de fondo de escala ¿Cuál es la resolución del sistema?
- d) Se parte del sistema original y se cambia el potenciómetro por uno con 120° de recorrido útil
 1. ¿Cuál es la resolución del sistema?
 2. ¿Cuál debería ser el recorrido del potenciómetro para tener una resolución de 1° ?
- e) Se parte del sistema original pero el rango de funcionamiento de la barrera es de 120° ¿Cuál es la resolución del sistema?
- f) Partiendo del sistema original, se cambia el potenciómetro para que tenga un rango útil de 350° y la transmisión se realiza mediante una reductora de 1:2.5 (1 vuelta en la barrera supondría 2.5 vueltas en el potenciómetro).
 1. ¿Cuál es la resolución del sistema?
 2. ¿Cuál debería ser la reducción para conseguir una resolución de 0.1° ?

Resolución:

- a) Se busca la relación entre movimiento angular de la barrera y bits del conversor analógico-digital. Para ello es necesario considerar la relación debida al acoplamiento mecánico y al potenciómetro:

$$\underbrace{\frac{1^\circ \text{ barrera}}{1^\circ \text{ pot}}}_{\text{Acoplamiento mecánico}} \cdot \underbrace{\frac{90^\circ \text{ pot}}{12V}}_{\text{Potenciómetro}} \cdot \underbrace{\frac{12V}{2^8 - 1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 0.35^\circ / \text{estado}$$

- b) Cambiamos el CAD por uno de 12 bits

$$1. \underbrace{\frac{1^\circ \text{ barrera}}{1^\circ \text{ pot}}}_{\text{Acoplamiento mecánico}} \cdot \underbrace{\frac{90^\circ \text{ pot}}{12V}}_{\text{Potenciómetro}} \cdot \underbrace{\frac{12V}{2^{12} - 1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 0.022^\circ / \text{estado}$$

$$2. \underbrace{\frac{1^\circ \text{ barrera}}{1^\circ \text{ pot}}}_{\text{Acoplamiento mecánico}} \cdot \underbrace{\frac{90^\circ \text{ pot}}{12V}}_{\text{Potenciómetro}} \cdot \underbrace{\frac{12V}{2^n - 1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 0.01^\circ / \text{estado}$$

$$2^n - 1 \text{ estados} = \frac{1^\circ \text{ barrera}}{1^\circ \text{ pot}} \cdot \frac{90^\circ \text{ pot}}{12V} \cdot \frac{12V}{0.01^\circ / \text{estado}}$$

$$n = \log_2 \left(\frac{1^\circ \text{ barrera}}{1^\circ \text{ pot}} \cdot \frac{90^\circ \text{ pot}}{12V} \cdot \frac{12V}{0.01^\circ / \text{estado}} + 1 \right) = 13.5 \square 14 \text{ bits}$$

- c) Si cambiamos el fondo de escala del CAD a 5V no podríamos leer al completo la posición de la barrera. El fondo de escala del CAD limita el valor máximo que podemos leer en la entrada a 5V cuando la posición final de la barrera implica una tensión de 12V. Por tanto, este valor no sería compatible con el funcionamiento del sistema.

- d) Cambiamos el recorrido útil del potenciómetro a 120°

$$1. \underbrace{\frac{1^\circ \text{ barrera}}{1^\circ \text{ pot}}}_{\text{Acoplamiento mecánico}} \cdot \underbrace{\frac{120^\circ \text{ pot}}{12V}}_{\text{Potenciómetro}} \cdot \underbrace{\frac{12V}{2^8 - 1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 0.47^\circ / \text{estado}$$

$$2. \underbrace{\frac{1^\circ \text{ barrera}}{1^\circ \text{ pot}}}_{\text{Acoplamiento mecánico}} \cdot \underbrace{\frac{x^\circ \text{ pot}}{12V}}_{\text{Potenciómetro}} \cdot \underbrace{\frac{12V}{2^n - 1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 1^\circ / \text{estado}$$

$$x^\circ \text{ pot} = \frac{1^\circ \text{ pot}}{1^\circ} \cdot \frac{2^8 - 1 \text{ estados}}{12V} \cdot 12V \cdot 1^\circ / \text{estado} = 255^\circ \text{ pot}$$

- e) No es posible realizar este cambio. Si el rango de funcionamiento de la barrera es de 120°, sería necesario un potenciómetro con un rango de funcionamiento de al menos 120°.

Aunque es posible utilizar un potenciómetro con mayor rango de funcionamiento que el sistema móvil, no es posible que el sistema móvil tenga más rango que el sensor, pues entonces el sensor se rompería durante el funcionamiento.

- f) Cambiamos el recorrido útil del potenciómetro a 350° y la transmisión a 1:2.5.

$$1. \underbrace{\frac{1^\circ_{\text{barrera}}}{2.5^\circ_{\text{pot}}}}_{\text{Acoplamiento mecánico}} \cdot \underbrace{\frac{350^\circ_{\text{pot}}}{12V}}_{\text{Potenciómetro}} \cdot \underbrace{\frac{12V}{2^8 - 1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 0.55^\circ / \text{estado}$$

$$2. \underbrace{\frac{1^\circ_{\text{barrera}}}{x^\circ_{\text{pot}}}}_{\text{Acoplamiento mecánico}} \cdot \underbrace{\frac{350^\circ_{\text{pot}}}{12V}}_{\text{Potenciómetro}} \cdot \underbrace{\frac{12V}{2^8 - 1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 0.1^\circ / \text{estado}$$

$$x^\circ_{\text{pot}} = \frac{1^\circ_{\text{barrera}}}{0.1^\circ / \text{estado}} \cdot \frac{350^\circ_{\text{pot}}}{12V} \cdot \frac{12V}{2^8 - 1 \text{ estados}} = 13.72^\circ_{\text{pot}}$$

La reductora necesaria debería ser, al menos, de 1:13,72 valiendo una comercial de, por ejemplo, 1:14.

Ejercicio 6.

Los sensores FSR (Force Sensing Resistors) son resistencias que varían linealmente su resistencia eléctrica en función de la fuerza que se ejerce sobre ellos. En la figura se muestra la relación fuerza-resistencia y el conexionado típico de funcionamiento del sensor FSR 402 de Interlink Electronics (considérese únicamente el rango entre 20g y 10kg):

Figure 1 - Force Curve

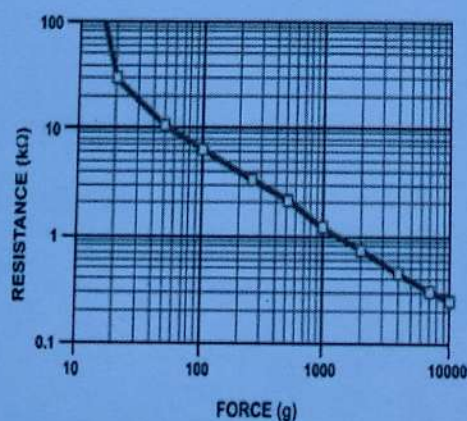
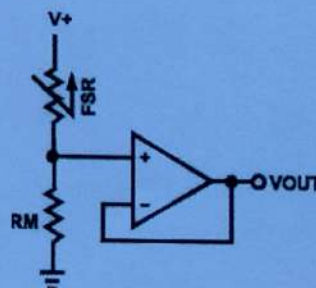


Figure 2 - Schematic



Se quieren utilizar estos sensores para conocer el peso de paquetes dentro de una línea de distribución. Para ello se utiliza un PLC con una entrada analógica de 10 bits y fondo de escala 24V. Estos mismos 24V se utilizan para alimentar el divisor de tensión, además R_M tiene un valor de 100Ω .

- ¿Cuál es la resolución del sistema?
- Sobre el sistema original, se cambia la tensión de alimentación del divisor de tensión a 12V. ¿Cuál sería la resolución del sistema?

- c) ¿Qué alimentación haría falta en el divisor de tensión para tener una resolución de al menos 40g?
- d) Se quiere conseguir una resolución de 15g con el sistema original. ¿cuál sería el valor necesario de R_M ?

Resolución

- a) En primer lugar, de la gráfica obtenemos los rangos de funcionamiento de los sensores. El rango de fuerzas considerado va de 20g a 10kg, lo que supone un rango de resistencias entre 30k Ω y 0.25k Ω . Por tanto, las amplitudes de los rangos de funcionamiento del sensor son:

$$\Delta F = 10k - 20 = 9.98kg$$

$$\Delta R = 30k - 0.25k = 29.75k\Omega$$

Considerando el divisor de tensión, los valores de tensión máximo y mínimo que habría a la salida del divisor de tensión sería:

$$V_{\min} = V_{cc} \frac{R_M}{R_M + FSR_{\max}} = 24V \frac{100\Omega}{100\Omega + 30k\Omega} = 0.0795V$$

$$V_{\max} = V_{cc} \frac{R_M}{R_M + FSR_{\min}} = 24V \frac{100\Omega}{100\Omega + 250\Omega} = 6.85V$$

$$\Delta V = V_{\max} - V_{\min} = 6.85 - 0.0795 = 6.77V$$

La resolución del sistema quedaría

$$\underbrace{\frac{9.98kg}{29.75k\Omega}}_{FSR} \cdot \underbrace{\frac{29.75k\Omega}{6.77V}}_{\text{Divisor de tensión}} \cdot \underbrace{\frac{24V}{2^{10} - 1 \text{ estados}}}_{CAD} = 34.6 \frac{g}{\text{estado}}$$

- b) Cambiando la tensión del CAD a 12V, la resolución quedaría:

$$\underbrace{\frac{9.98kg}{29.75k\Omega}}_{FSR} \cdot \underbrace{\frac{29.75k\Omega}{6.77V}}_{\text{Divisor de tensión}} \cdot \underbrace{\frac{12V}{2^{10} - 1 \text{ estados}}}_{CAD} = 17.3 \frac{g}{\text{estado}}$$

- c) La tensión de alimentación V_{cc} afecta al resultado del divisor de tensión y por tanto afecta en la resolución. Calculamos que caída de tensión en el divisor es necesaria para obtener una resolución de 40g

$$\underbrace{\frac{9.98kg}{29.75k\Omega}}_{FSR} \cdot \underbrace{\frac{29.75k\Omega}{xV}}_{\text{Divisor de tensión}} \cdot \underbrace{\frac{24V}{2^{10} - 1 \text{ estados}}}_{CAD} = 40 \frac{g}{\text{estado}}$$

$$x = \frac{9.98kg}{29.75k\Omega} \cdot \frac{29.75k\Omega}{40 \frac{g}{\text{estado}}} \cdot \frac{24V}{2^{10} - 1 \text{ estados}} = 5.85V$$

Calculo la tensión de alimentación V_{cc} que consigue esa diferencia en la caída de tensión en el divisor:

$$\Delta V = V_{\max} - V_{\min} = V_{CC} \left(\frac{R_M}{R_M + FSR_{\min}} - \frac{R_M}{R_M + FSR_{\max}} \right)$$

$$V_{CC} = \frac{\Delta V}{\left(\frac{R_M}{R_M + FSR_{\min}} - \frac{R_M}{R_M + FSR_{\max}} \right)}$$

$$V_{CC} = 20.72V$$

La tensión de alimentación necesaria en el divisor de tensión sería de 20.72V.

- d) La resistencia R_M afecta al resultado del divisor de tensión y por tanto a la resolución. Calculamos que caída de tensión en el divisor es necesaria para obtener una resolución de 15g

$$\frac{9.98kg}{29.75k\Omega} \cdot \frac{29.75k\Omega}{\underbrace{xV}_{\text{Divisor de tensión}}} \cdot \frac{24V}{\underbrace{2^{10}-1}_{\text{CAD}} \text{ estados}} = 15g/\text{estado}$$

$$x = \frac{9.98kg}{29.75k\Omega} \cdot \frac{29.75k\Omega}{15g/\text{estado}} \cdot \frac{24V}{2^{10}-1 \text{ estados}} = 15.61V$$

Calculo la resistencia R_M que consigue esta diferencia en la caída de tensión en el divisor:

$$\Delta V = V_{\max} - V_{\min} = V_{CC} \left(\frac{R_M}{R_M + FSR_{\min}} - \frac{R_M}{R_M + FSR_{\max}} \right)$$

$$\Delta V = V_{CC} R_M \left(\frac{1}{R_M + FSR_{\min}} - \frac{1}{R_M + FSR_{\max}} \right)$$

$$\Delta V = V_{CC} R_M \left(\frac{FSR_{\max} - FSR_{\min}}{(R_M + FSR_{\min})(R_M + FSR_{\max})} \right)$$

$$\Delta V (R_M^2 + R_M (FSR_{\max} + FSR_{\min}) + FSR_{\min} \cdot FSR_{\max}) = V_{CC} R_M (FSR_{\max} - FSR_{\min})$$

$$\Delta V \cdot R_M^2 + [(FSR_{\max} + FSR_{\min}) \Delta V - (FSR_{\max} - FSR_{\min}) V_{CC}] R_M + \Delta V \cdot FSR_{\min} \cdot FSR_{\max}$$

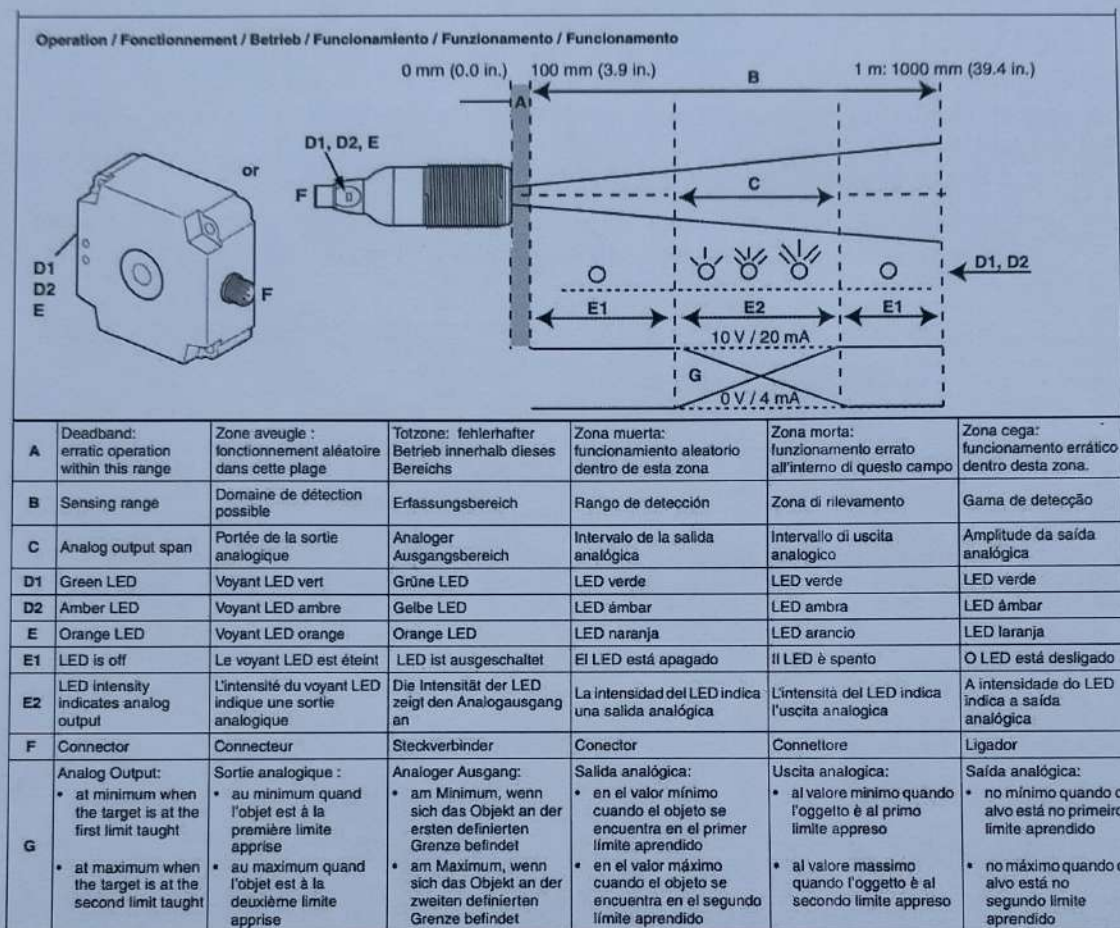
$$R_{M_1} = 14.99k\Omega$$

$$R_{M_2} = 500.35\Omega$$

Se ha obtenido una solución doble, ya que el divisor de tensión consigue el rango requeridos de tensiones de salida con dos posibles resistencias R_M . Por tanto, para tener una resolución de 15g, se debería utilizar una resistencia de 15k Ω o una resistencia de 500 Ω .

Ejercicio 7.

La siguiente figura es un extracto de la hoja de características del sensor de ultrasonidos XX9D1A1C2M12 de Schneider.



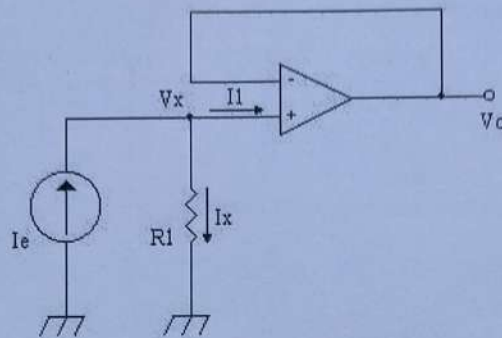
Este sensor puede ser adquirido con salida analógica en tensión (0-10V) o corriente (4-20mA) y su rango de funcionamiento puede ser configurado en el intervalo 1-1000mm.

En un sistema industrial, este sensor se conecta a un PLC que cuenta con una entrada analógica de 12 bits, cuyo fondo de escala es de 12V.

Si el sensor tiene salida en tensión:

- Si funciona en todo su rango de funcionamiento, ¿cuál es la resolución del sensor?
- Para aumentar la resolución del sensor se puede disminuir su rango de funcionamiento. ¿Cuál debería ser la amplitud de este rango para conseguir una resolución de 0.1mm?

Si el sensor tiene salida en corriente, la transformación en tensión se realiza mediante un circuito como el de la figura, en el que la caída de tensión en R1 es leída por la entrada analógica (siendo $V_0 = V_x$) y debida al emisor de corriente Ie.



- c) ¿Cuál es el valor límite de $R1$ admisible por el sistema?
- d) Considerando el rango máximo de funcionamiento del sensor, ¿cuál es la resolución del sistema?
- e) Manteniendo el rango máximo de funcionamiento, bastaría con una resolución de 0.6mm para el correcto funcionamiento del sistema. ¿Cuál sería el valor necesario de $R1$?

Resolución

- a) El rango de distancias que puede medir el sensor es de:

$$\Delta d = 1000 - 100 = 900 \text{ mm}$$

La resolución del sistema sería:

$$\underbrace{\frac{900 \text{ mm}}{10 \text{ V}}}_{\text{Sensor}} \cdot \underbrace{\frac{12 \text{ V}}{2^{12} - 1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 0.26 \text{ mm/estado}$$

- b) Para conseguir una resolución de 0.1mm, el rango de distancias medible tendría que ser:

$$\underbrace{\frac{x \text{ mm}}{10 \text{ V}}}_{\text{Sensor}} \cdot \underbrace{\frac{12 \text{ V}}{2^{12} - 1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 0.1 \text{ mm/estado}$$

$$x = 0.1 \text{ mm/estado} \cdot \frac{2^{12} - 1 \text{ estados}}{12 \text{ V}} \cdot 10 \text{ V} = 341.25 \text{ mm}$$

- c) El valor máximo de $R1$ admisible será aquel que hace que la mayor caída de tensión sea igual al fondo de escala del conversor.

La salida en corriente del sensor varía en el rango 4-20mA, la mayor caída de tensión se produce cuando la corriente emitida es de 20mA. Como el fondo de escala es de 12V, la resistencia necesaria sería:

$$V = IR$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 600 \Omega$$

- d) El rango de corriente de salida del sensor es:

$$\Delta I = 20 - 4 = 16 \text{ mA}$$

Considerando la resistencia calculada en el apartado anterior, el rango de tensión equivalente sería:

$$\Delta V = R \cdot \Delta I = 600 \Omega \cdot 16 \text{ mA} = 9.6 \text{ V}$$

La resolución del sistema quedaría, por tanto:

$$\underbrace{\frac{900\text{mm}}{16\text{mA}}}_{\text{Sensor}} \cdot \underbrace{\frac{1\text{A}}{600\text{V}}}_{\substack{\text{Conversion} \\ V=IR}} \cdot \underbrace{\frac{12\text{V}}{2^{12}-1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 0.27\text{mm/estado}$$

e) Se pretende una resolución de 0.6mm, la resistencia necesaria sería:

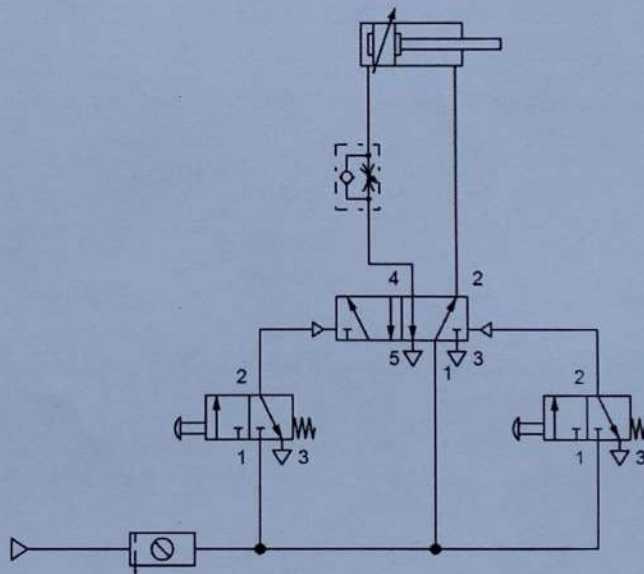
$$\underbrace{\frac{900\text{mm}}{16\text{mA}}}_{\text{Sensor}} \cdot \underbrace{\frac{1}{R\Omega}}_{\substack{\text{Conversion} \\ V=IR}} \cdot \underbrace{\frac{12\text{V}}{2^{12}-1 \text{ estados}}}_{\text{CAD}} = 0.6\text{mm/estado}$$

$$R = \frac{900\text{mm}}{16\text{mA}} \cdot \frac{1}{0.6\text{mm/estado}} \cdot \frac{12\text{V}}{2^{12}-1 \text{ estados}} = 274.7\Omega$$

Como se puede ver, esta resistencia es menor que la máxima admisible (600Ω).

Ejercicio 8.

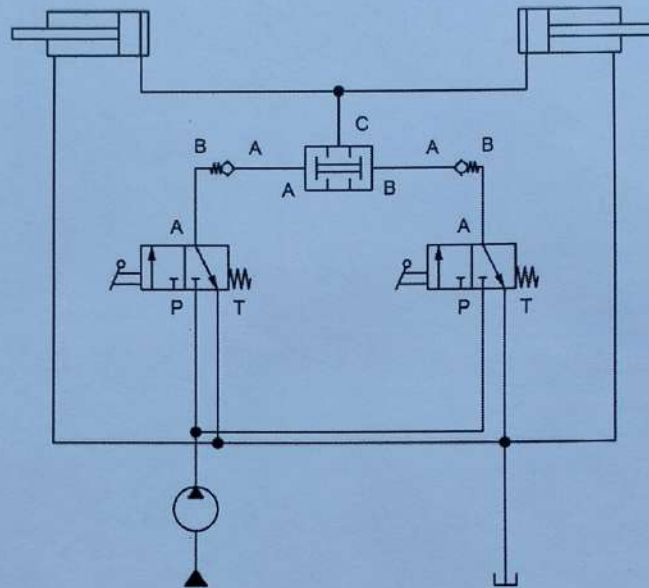
A partir de los sistemas neumáticos e hidráulicos de las figuras, se pide identificar los elementos de los automatismos y describir el funcionamiento del conjunto.



Resolución:

- Elementos del automatismo:** Cilindro de doble efecto con amortiguación regulable al final de sus carreras, regulador de caudal unidireccional (válvula de caudal regulable en una dirección y paso libre en la otra), válvula 5/2 biestable (ocupa cualquier posición de forma estable), válvulas 3/2 NC (en posición de reposo, la presión se encuentra tarada) con accionamiento por pulsadores manuales, unidad de mantenimiento y fuente de aire.

- **Descripción de funcionamiento:** El cilindro de doble efecto avanza cuando se acciona el pulsador neumático de la izquierda. De igual manera, retrocede al pulsar el accionamiento de la derecha. Ambas operaciones se controlan desde la válvula central que cambia de estado y hace que el aire siga un recorrido u otro. La válvula de caudal regulable puede estrangular el caudal conduciendo a un retroceso más lento del cilindro.



Resolución:

- **Elementos del automatismo:** Cilindros de doble efecto, válvula de simultaneidad (solo hay salida si se activan ambas entradas), válvulas antirretorno, válvulas 3/2 NC con accionamiento por palanca basculante o rotatoria (activación por presión y retorno mecánico por muelle), bomba hidráulica de flujo unidireccional, fuente y escape hidráulico.
- **Descripción de funcionamiento:** El esquema propuesto no infiere movimiento en el actuador hidráulico. Al accionar los pulsadores, las válvulas 3/2 permiten el paso de aceite hasta las respectivas válvulas antirretorno. Sin embargo, éstas bloquean la circulación del flujo de aceite hasta la válvula de simultaneidad y, por tanto, no se aplica movimiento al cilindro de doble efecto.

Ejercicio 9.

Suponga un cilindro neumático de doble efecto A con dos finales de carrera, FC1 y FC2. Cuando dicho actuador se encuentra en el inicio de su carrera (A-) se activa FC1 y cuando el pistón se encuentra en el final de su carrera (A+) se activa FC2.

Se pide diseñar un automatismo neumático en el que una activación manual, M, haga que el cilindro entre en una secuencia permanente desde su inicio hasta su final de carrera y vuelta. La desactivación de M provocará que el cilindro neumático se quede parado en el estado en el que se encuentre.

Resolución:

