

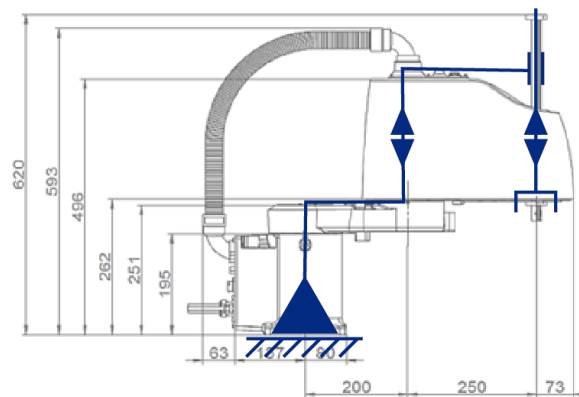


Apellidos:	
Nombre:	DNI:

Convocatoria Ordinaria. Mayo 2024

Cuestión 1 (0.5 ptos): Dibuje la cadena cinemática de un robot SCARA indicando el número y tipo de grados de libertad que posee. ¿Cuál es la aplicación típica de estos robots?

Los robots SCARA se caracterizan por poseer cuatro grados de libertad, tres rotacionales y uno prismático. Suelen utilizarse para tareas de pick and place por su gran velocidad y su configuración típica es:



Cuestión 2 (0.5 ptos): ¿Qué es una configuración singular? ¿Por qué motivos puede obtenerse en un robot manipulador?

Una configuración singular es aquella en la que el manipulador pierde un grado de libertad, es decir, aquella en la que el movimiento de una articulación no produce movimiento en el elemento terminal. Desde el punto de vista cinemático provoca que existan infinitas configuraciones articulares para la misma posición y orientación. Desde un punto de vista dinámico, una fuerza aplicada en el elemento terminal no se transmite a las articulaciones sino a la estructura del robot.

Se producen en dos casos: en los límites del espacio de trabajo y en el caso de alineación de dos ejes del robot.

Cuestión 3 (0.5 ptos): Describa las diferencias entre un cilindro neumático de simple y doble efecto.

Un cilindro de doble efecto debe ser actuado tanto en un sentido de movimiento como en el contrario mientras que de simple efecto tiene un mecanismo de autoretorno a su posición no actuada.

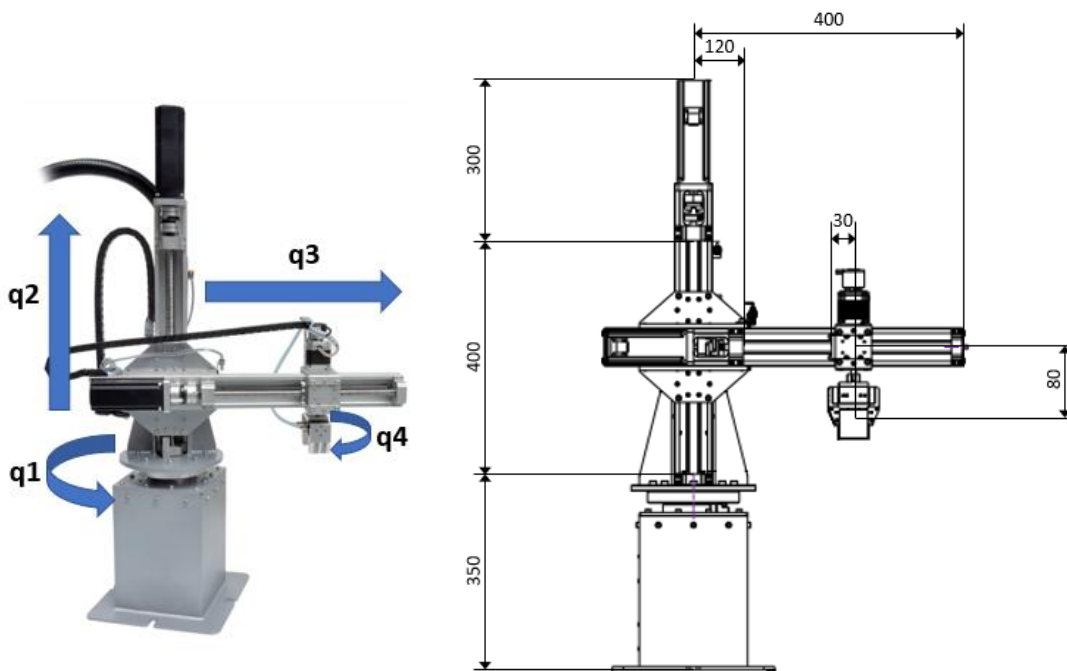


Cuestión 4 (0.5 ptos): Dado un sensor óptico y uno inductivo, ¿qué tipo de material puede y no puede ser detectado por cada uno de ellos?

Los sensores inductivos reaccionan ante la presencia de elementos metálicos, no siendo capaces de detectar el resto de elementos. Los sensores ópticos son capaces de detectar todos aquellos materiales opacos que alteran un haz óptico.

Problema 1 (2 ptos): Las siguientes figuras muestran la geometría y las dimensiones del robot TR300 de WoBit. Se trata de un robot de 4 grados de libertad cuyo TCP se encuentra en el extremo inferior del último grado de libertad.

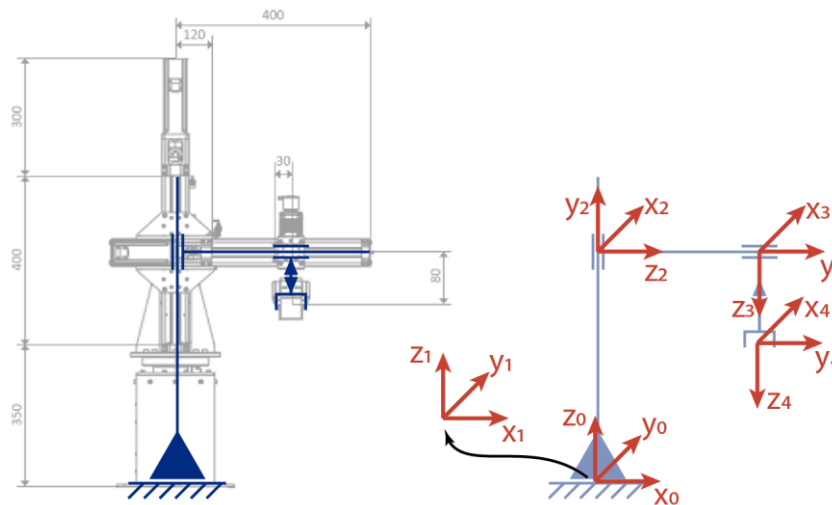
- Dibuje un boceto del robot que incluya los sistemas de referencia S_i de acuerdo con el estándar Denavit-Hartenberg (1 pto).
- Extraiga su tabla de parámetros de Denavit-Hartenberg (1 pto). *La puntuación se obtendrá sólo por las filas que sean completamente correctas.*



Nota: Dimensiones en mm.

Resolución:

- La siguiente figura muestra el esquema y los sistemas de referencia del robot en cuestión:



b) La tabla de parámetros de Denavit-Hatemberg es:

i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	q_1	0	0	0
2	90°	$q_2+0.35$	0	90°
3	0	$q_3+0.12+0.03$	0	90°
4	q_4	0.08	0	0

Problema 2 (2.5 pts). Se dispone de un robot definido por la siguiente tabla de parámetros Denavit-Hartenberg:

i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	0	q_1	0	90°
2	q_2-90°	0	0	0
3	0	q_3	115	0
4	q_4	100	0	0

- Calcule la cinemática directa del robot, las distancias están expresadas en mm (1 pto).
- Teniendo en cuenta el resultado del apartado b), ¿qué efecto tiene el grado de libertad q_4 sobre el robot? (0.5 pts).
- Calcule la cinemática inversa del robot considerando únicamente la posición del elemento terminal (1 pto).

Resolución:

- Considerando la información de la tabla, las matrices de transformación entre los sistemas de referencia son:

$$A_0^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C90 = 0 & -S90 = -1 & 0 \\ 0 & S90 = 1 & C90 = 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & q_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



$$A_1^2 = \begin{bmatrix} C(q_2 - 90) = S_2 & -S(q_2 - 90) = C_2 & 0 & 0 \\ S(q_2 - 90) = -C_2 & C(q_2 - 90) = S_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ -C_2 & S_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0.115 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0.115 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^4 = \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & 0 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La matriz de transformación homogénea final es el producto de estas tres matrices intermedias:

$$T = A_0^1 A_1^2 A_2^3 A_3^4 = \begin{bmatrix} S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -C_2 & S_2 & 0 & q_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & 0.115 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0.1 + q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} S_2 C_4 + C_2 S_4 & -S_2 S_4 + C_2 C_4 & 0 & 0.115 S_2 \\ 0 & 0 & -1 & -0.1 - q_3 \\ -C_2 C_4 + S_2 S_4 & C_2 S_4 + S_2 C_4 & 0 & -0.115 C_2 + q_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Por tanto, las expresiones de la cinemática directa que expresan las coordenadas cartesianas en función de las coordenadas articulares son:

$$x = 0.115 \sin q_2$$

$$y = -0.1 - q_3$$

$$z = q_1 - 0.115 \cos q_2$$

- b) El grado de libertad q_4 no afecta a la posición final del end-effector, únicamente influye en su orientación espacial.
- c) Partiendo de la cinemática directa calculada para el robot, se puede calcular su cinemática inversa si se despejan las coordenadas articulares en función de las coordenadas cartesianas. De esta manera queda:

$$y = -0.1 - q_3 \Rightarrow q_3 = -0.1 - y$$

$$x = 0.115 \sin q_2 \Rightarrow \sin q_2 = \frac{x}{0.115} \Rightarrow \begin{cases} q_2 = \arcsin \frac{x}{0.115} \\ q_2 = 180^\circ - \arcsin \frac{x}{0.115} \end{cases}$$

Partiendo de la definición del $\sin q_2$, se puede calcular $\cos q_2$ en función de x

$$\cos q_2 = \pm \sqrt{1 - \left(\frac{x}{0.115}\right)^2}$$

Por último, se puede calcular la expresión de q_1 :



$$q_1 = z \mp 0.115 \sqrt{1 - \left(\frac{x}{0.115}\right)^2}$$

Problema 3 (1 punto): Considere el sistema de control de un motor conectado a un compresor de basura. Dicho motor tiene un rango de funcionamiento de 90° y está directamente acoplada a un potenciómetro. Dicho potenciómetro tiene un rango útil de 120° y está alimentado a 12V. El PLC que controla el sistema cuenta con un conversor analógico digital (CAD) de 10 bits y tiene un fondo de escala de 12V.

- Calcule la resolución del sensor del sistema (0.5 pts).
- Si bastase para la aplicación una resolución de 1°, calcule el número de bits mínimo con los que debe contar el CAD (0.5 pts)

Resolución:

- La resolución del sistema original será:

$$R = \frac{120^\circ}{12V} \cdot \frac{12V}{(2^n - 1) \text{ estados}} = 0.12^\circ / \text{estado}$$

- Para conseguir una resolución de 1°:

$$R = \frac{120^\circ}{(2^n - 1) \text{ estados}} \Rightarrow 2^n - 1 = \frac{120^\circ}{1^\circ / \text{estado}} = 120 \text{ estados}$$

$$n = \log_2 121 = 6.9 \approx 7 \text{ bits}$$

El conversor analógico digital necesitaría una resolución mínima de 7bits para conseguir la resolución pedida de 1°.

Ejercicio 5 (2.5 pts): Considere el siguiente proceso de producción de argamasa para construcción. Para dicho proceso:

- Describa las entradas, salidas y recursos del PLC utilizados.
- Diseñe el diagrama GRAFCET para la automatización del proceso.

El proceso de preparación de la mezcla deseada se inicia cada vez que se presione el botón de inicio **START**. Como consecuencia, dos procesos tienen lugar de manera simultánea: vertido de sólidos, y vertido de líquidos.

El vertido de sólidos se inicia abriendo la válvula **V1** durante 5 segundos. A continuación, se abre la válvula **V2** durante 1 minuto. Una vez los dos elementos están en el depósito, la apertura de la válvula **V3** está condicionada por el estado del agitador del sub-sistema de vertido de líquidos, de manera que esta se abrirá sólo cuando el agitador haya estado funcionando, al menos, dos minutos. Esta válvula estará abierta por 30 s. Concluida la apertura de V3, el sub-sistema de vertido de sólidos queda a la espera del siguiente ciclo de producción.



En cuanto al sub-sistema de vertido de líquidos, una vez que han pasado 10 segundos desde el inicio del ciclo, se abre la válvula de agua **Vw** hasta alcanzar el nivel marcado por el sensor **level_1**. En este punto, se activará el **agitador** el cual permanecerá encendido por 5 minutos. Mientras el agitador está funcionando, se seguirá agregando agua hasta que el sensor de nivel **level_2** se active (*nótese que es imposible conocer el tiempo en el que se alcanza dicho nivel en el depósito*).

Una vez el agitador se detiene y se han terminado de verter todos los componentes, se abre la válvula de salida **Vout** hasta que el sensor de nivel **Level_0** se desactive. En este punto, el sistema pasa a esperar el inicio de un nuevo ciclo de producción.

Debido a la acumulación de residuos, la capacidad productiva del tanque es únicamente de 10 mezclas antes de requerir mantenimiento. Cada vez que se han realizado 10 repeticiones del proceso, el sistema debe pasar a un estado de mantenimiento, activando el indicador luminoso **Lum** y evitando una nueva ejecución hasta que un operario confirme el mantenimiento mediante el pulsador **READY**.

Resolución:

a) *Los recursos del PLC utilizados son:*

- *Entradas:*
 - i. *Start*
 - ii. *Level_1*
 - iii. *Level_2*
 - iv. *Level_0*
 - v. *Ready*
- *Salidas*
 - i. *V1*
 - ii. *V2*
 - iii. *V3*
 - iv. *Vw*
 - v. *Agitador*
 - vi. *Vout*
 - vii. *Lum*
- *Temporizadores*
 - i. *Temp_v1*
 - ii. *Temp_v2*
 - iii. *Temp_v3*
 - iv. *TempPre_Vw*
 - v. *Temp_agitador1*
 - vi. *Temp_agitador2*
- *Contadores*
 - i. *Cnt_ciclos*

