

## **ROBÓTICA**

### **PRÁCTICA N° # 7**

#### **1. TEMA**

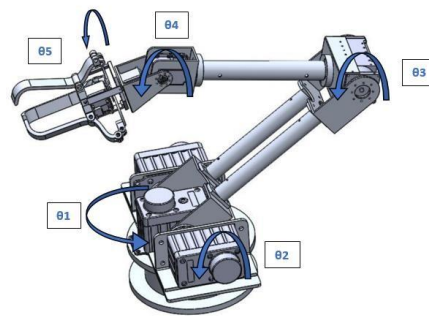
CINEMÁTICA DIRECTA DE UN MANIPULADOR ROBOTICO DE 5 GDL

#### **2. OBJETIVOS**

- 2.1. Obtener el modelo cinemático directo del robot de 5 GDL.
- 2.2. Validar el modelo cinemático directo mediante la comparación de las coordenadas cartesianas del modelo con las del robot real.

#### **3. MARCO TEÓRICO**

Un robot antropomórfico es aquel cuya forma se asemeja a la morfología del cuerpo humano, el Robot con Arquitectura Antropomórfica de cinco grados de libertad busca específicamente ser similar a un brazo humano. Cuando se habla de grados de libertad se hace referencia a los movimientos independientes que puede realizar cada una de las articulaciones del robot que en este caso son cinco, el movimiento de las articulaciones es de tipo rotacional. En la Figura 3.1 se puede visualizar como están enumeradas las articulaciones del robot y como se realiza su movimiento.



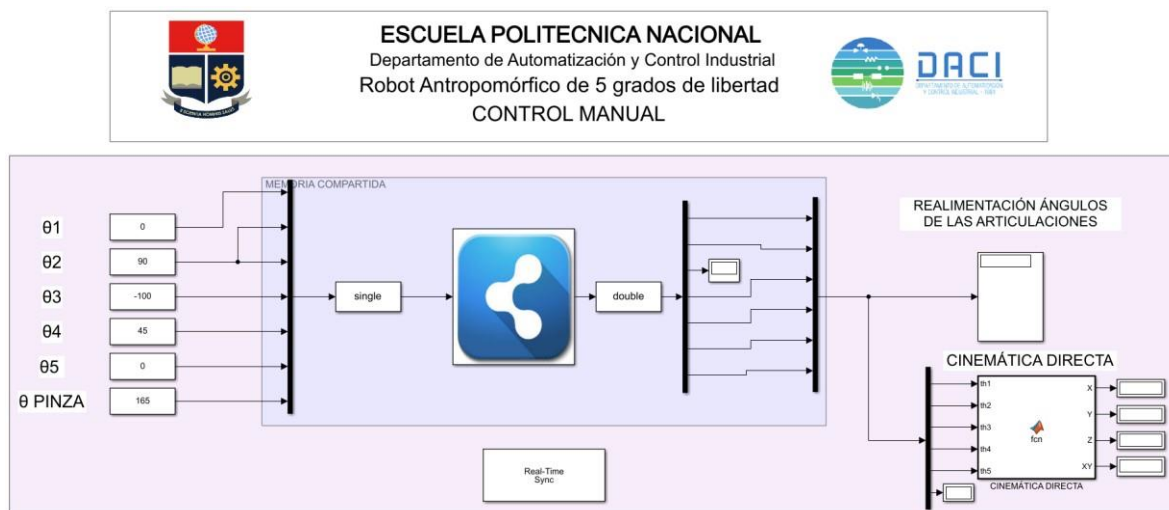
**Figura 3.1.** Asignación del número de articulaciones y eje de rotación.

Como se ve en la Figura 3.1. el robot antropomórfico de 5 GDL está conformado por siete servomotores que se encargan del movimiento de las articulaciones y de la pinza, su distribución se describe en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Servomotores.

| N° de articulación | Cantidad de motores | Modelo del motor | Ubicación | Rango de rotación | Voltaje de alimentación | Corriente |
|--------------------|---------------------|------------------|-----------|-------------------|-------------------------|-----------|
| 1                  | 1                   | Torxis           | Hombro    | -90 a 90°         | 24 VDC                  | 3 A       |
| 2                  | 2                   | Torxis           | Hombro    | 0 a 90°           | 24 VDC                  | 3 A       |
| 3                  | 1                   | Dynamixel PRO    | Codo      | 0 a -150°         | 24 VDC                  | 1.9 A     |
| 4                  | 1                   | Dynamixel MX-64R | Muñeca    | 0 a 180°          | 12 VDC                  | 1.5 A     |
| 5                  | 1                   | Dynamixel MX-28R | Muñeca    | -45 a 100°        | 12 VDC                  | 1.4 A     |

Se ha provisto de un HMI que permite modificar el ángulo que se desea enviar a los motores del robot manualmente el cual se observa en la Figura 3.2. Antes de correr el programa es importante colocar al robot en la posición inicial, esto se realiza ingresando los ángulos de los motores sean  $\theta_1=0$ ;  $\theta_2=90$ ;  $\theta_3=-100$ ;  $\theta_4=45$ ;  $\theta_5=0$ ;  $\theta_{PINZA}=160$ .



**Figura 3.2.** Interfaz control manual de los motores

La cinemática directa es la técnica apropiada para controlar manualmente brazos robóticos. Con la cinemática directa, las posiciones y orientaciones del extremo del robot se derivan de las posiciones de sus articulaciones. Esto permite a los usuarios guiar manualmente el robot moviendo sus articulaciones o puntos de referencia. El modelo cinemático directo del robot manipulador permite obtener la relación entre las coordenadas del efector final y los ángulos de cada articulación [2]. Dentro de los diferentes métodos utilizados para determinar el modelo cinemático directo de un robot manipulador se tiene el algoritmo de Denavit-Hartenberg (D-H). El algoritmo de Denavit-Hartenberg utiliza matrices de transformación homogénea

para establecer el modelo a partir de la ubicación de sistema de referencia en cada articulación e identificado sus eslabones y sus dimensiones. El robot posee 5 grados de libertad y 5 articulaciones de tipo rotacional.

La matriz de transformación homogénea para el cálculo del modelo cinemático tiene la siguiente estructura:

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & W_{3 \times 1} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

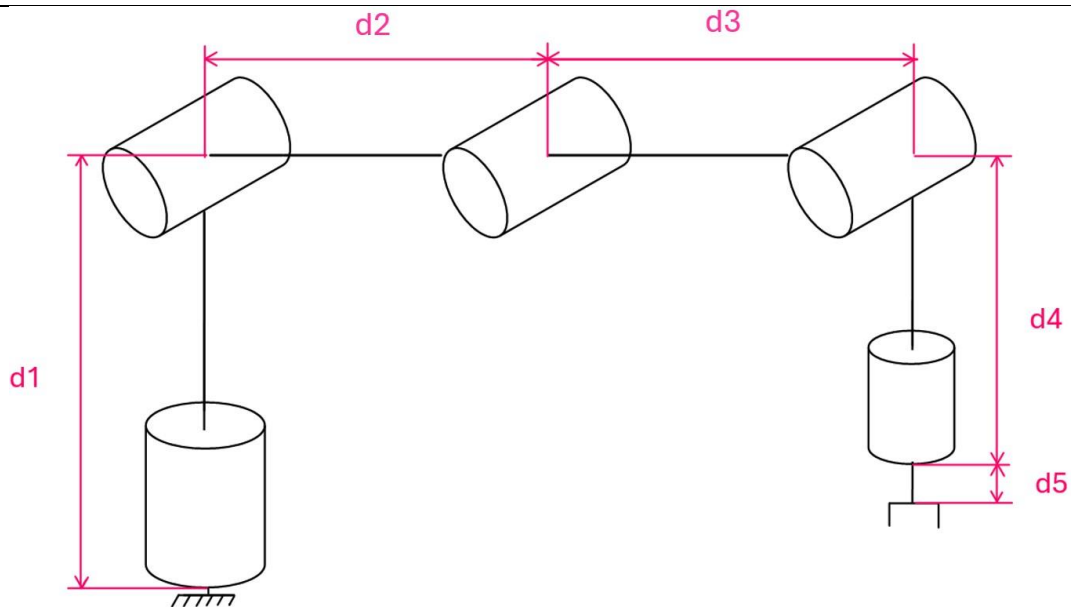
En donde  $R_{3 \times 3}$  representa la matriz de rotación,  $P_{3 \times 1}$  representa el vector de traslación,  $f_{1 \times 3}$  representa la transformación de perspectiva, y  $W_{3 \times 1}$  representa el escalado global.

Para definir las matrices de transformación de la articulación  $i$  con respecto al sistema de referencia  $i - 1$  se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Donde  $T_i^{i-1}$  es la matriz que relaciona el  $i$ -ésimo eslabón con respecto al eslabón anterior ( $i - 1$ ). La ecuación (3.2) depende de los parámetros  $\theta_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $d_i$  y  $a_i$  los cuales se definen para cada articulación en base a la convención de D-H.

La representación esquemática del robot que se muestra en la Figura 3.3.



**Figura 3.3.** Esquema de representación del robot PIMI-14-04

El valor de las distancias de los eslabones se detalla en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.** Distancias de los eslabones

| # Eslabón | Distancia [cm] |
|-----------|----------------|
| 1 (d1)    | 11             |
| 2 (d2)    | 35             |
| 3 (d3)    | 31             |
| 4 (d4)    | 7              |
| 5 (d5)    | 16             |

#### 4. TRABAJO PREPARATORIO

- 4.1. Describa con sus propias palabras el algoritmo de Denavit-Hartenberg para la obtención del modelo cinemático de robóticos manipuladores.
- 4.2. Determine el modelo cinemático directo del robot de la Figura 3.1. mediante el método geométrico.
- 4.3. Determine el modelo cinemático directo del robot con arquitectura antropomórfica de 5 GDL robot figura 3.1 y 33 mediante el algoritmo de Denavit-Hartenberg.
- 4.4. Compare los resultados obtenidos en los literales 4.2 y 4.3
- 4.5. Desarrolle un script con el modelo cinemático directo obtenida en el literal 4.2.

4.6. Desarrolle un script con el modelo de la cinemática mediante Denavit-Hartenberg obtenida en el literal 4.3.

## 5. EQUIPO Y MATERIALES

### Equipo

- Computador
- ROBOT 5GDL
- Fuente de 12v y 24v.

### Software

- Matlab-Simulink
- Visual Studio

## 6. PROCEDIMIENTO

6.1. El instructor explicará la utilidad de la cinemática directa y cómo se realizará la práctica.

6.2. Se comprobará el modelo cinemático directo utilizando la interfaz de control de los ángulos que se muestra en la Figura 3.2, se debe colocar el programa realizado en la pregunta 4.4 del trabajo preparatorio en la misma carpeta de la interfaz gráfica.

Se deberá ingresar en la interfaz gráfica los ángulos de la Tabla 6.1. que deberán posicionar al efector final del Robot en las posiciones X,Y,Z de la misma tabla. Se debe recolectar datos y llenar la Tabla 6.2.

**Tabla 6.1.** Posiciones y ángulos deseados

| N° de posición | Ángulos de las articulaciones [°]                                                                      | Posición efector final [cm] |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1              | $\theta_1=-22$ ;<br>$\theta_2=82$ ; $\theta_3=-127$ ; $\theta_4=44$ ;<br>$\theta_5=22$ ;<br>PINZA=160; | X=25;<br>Y=-10;<br>Z=2;     |
| 2              | $\theta_1=-14$ ;                                                                                       | X=40;                       |
|                | $\theta_2=63$ ; $\theta_3=-98$ ; $\theta_4=36$ ;<br>$\theta_5=14$ ; $\theta$<br>PINZA=160;             | Y=-10; Z=2;                 |

|   |                                                                                                                       |                                |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 3 | $\theta_1=7$ ; $\theta_2=64$ ;<br>$\theta_3=-100$ ;<br>$\theta_4=36$ ; $\theta_5=-$<br>$7$ ;<br>$\Theta$ PINZA=160;   | $X=40$ ;<br>$Y=5$ ;<br>$Z=2$ ; |
| 4 | $\theta_1=11$ ; $\theta_2=84$ ;<br>$\theta_3=-129$ ;<br>$\theta_4=45$ ; $\theta_5=-$<br>$11$ ;<br>$\Theta$ PINZA=160; | $X=25$ ;<br>$Y=5$ ;<br>$Z=2$ ; |

**Tabla 6.2.** Posiciones y ángulos medidos

| N° de posición | Ángulos ingresados al robot [°]                                                                 | Ángulos realimentados del robot [°] | Posición real XYZ del robot (medida) [cm] | Posición XYZ calculada con la cinemática directa [cm] |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1              | $\theta_1$ :<br>$\theta_2$ :<br>$\theta_3$ :<br>$\theta_4$ :<br>$\theta_5$ :<br>$\Theta$ PINZA: |                                     |                                           |                                                       |
| 2              | $\theta_1$ :<br>$\theta_2$ :<br>$\theta_3$ :<br>$\theta_4$ :<br>$\theta_5$ :<br>$\Theta$ PINZA: |                                     |                                           |                                                       |
| 3              | $\theta_1$ :<br>$\theta_2$ :<br>$\theta_3$ :<br>$\theta_4$ :<br>$\theta_5$ :<br>$\Theta$ PINZA: |                                     |                                           |                                                       |
| 4              | $\theta_1$ :<br>$\theta_2$ :<br>$\theta_3$ :<br>$\theta_4$ :<br>$\theta_5$ :<br>$\Theta$ PINZA: |                                     |                                           |                                                       |

## 7. INFORME

- 7.1. Presente el script y capturas de pantalla del programa desarrollado
- 7.2. Realizar el cálculo de errores para los ángulos finales. Analice y Justifique los valores obtenidos.

- 
- 7.3. Realizar el cálculo de errores para el punto final (x y z). Analice y Justifique los valores obtenidos.
  - 7.4. Analice qué variables afectan más el error en la posición final del efector: errores angulares o errores en las longitudes de los eslabones. Justifique su respuesta con un ejemplo numérico.
  - 7.5. Conclusiones (Individuales)
  - 7.6. Recomendaciones (Individuales)
  - 7.7. Bibliografía

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cantuña, “M. Control manual de un robot con arquitectura antropomórfica de cinco grados de libertad”, EPN. 2024.
- [2] Córdova Paredes, J. D. (2020). Desarrollo de prácticas el laboratorio para el modelado, cooperación y generación de trayectorias para dos manipuladores robóticos ABB del laboratorio de control de procesos industriales. 172 hojas. Quito:EPN.

**Elaborado por:** MSc. Diego Maldonado  
**Revisado por:** Dr. Paulo Leica y Dr. Danilo Chávez