



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y CIRCUITOS
FUNDAMENTOS DE MECATRÓNICA EC-5811
PROFESOR: GERARDO FERNÁNDEZ

LABORATORIO N° 2

Estudiantes:

Giancarlo Torlone 20-10626

Héctor Flores 18-00173

Robot PUMA 560

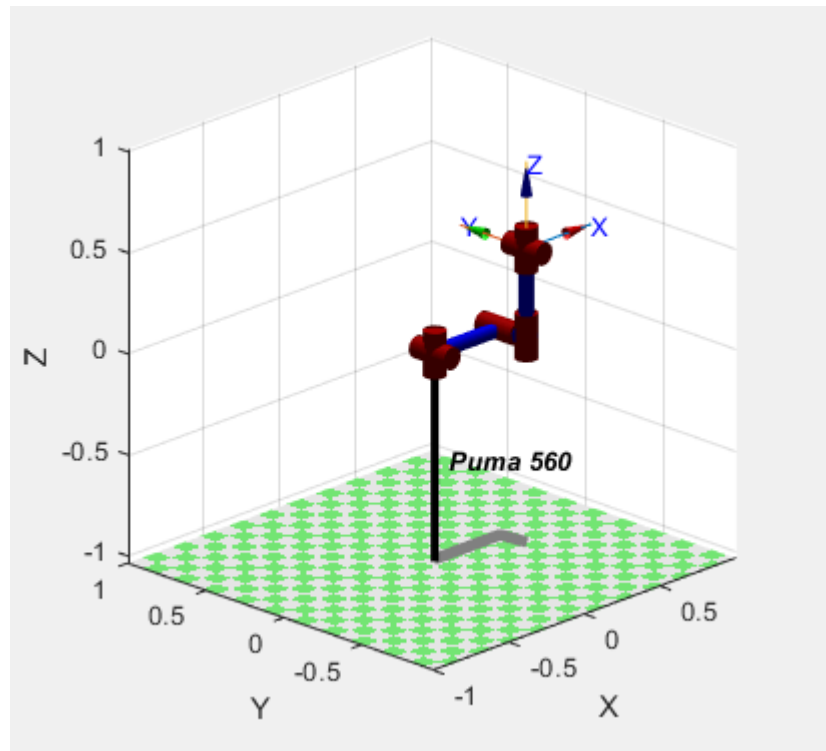


Figura 1. Robot PUMA 560

Tabla de parámetros de D-H usando p560

j	theta	d	a	alpha	offset
1	q1	0	0	1.5708	0
2	q2	0	0.4318	0	0
3	q3	0.15005	0.0203	-1.5708	0
4	q4	0.4318	0	1.5708	0
5	q5	0	0	-1.5708	0
6	q6	0	0	0	0

Figura 2. Parámetros D-H del robot PUMA 560 de Robotics Toolbox

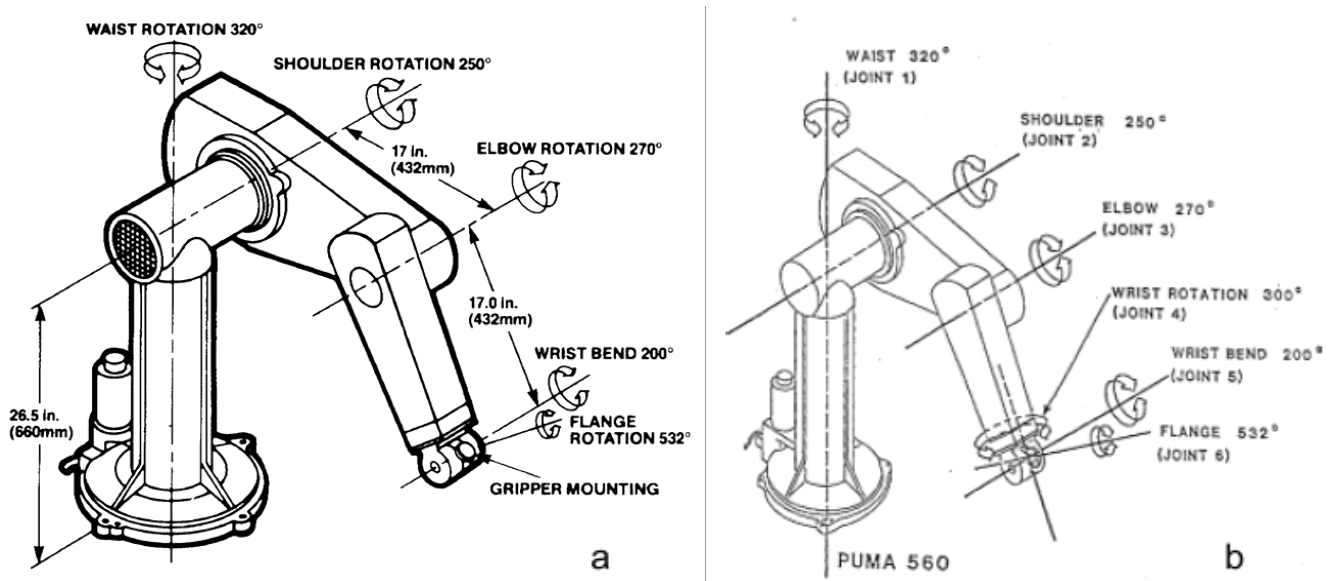


Figura 3. Rotación de las articulaciones y dimensiones del robot PUMA 560

Esquema cinemático y ubicación de los ejes del robot

A partir de la tabla de parámetros de D-H se procede a diseñar un esquema cinemático.

Durante la realización del esquema, se resaltan dos consideraciones:

La primera, parece haber una distancia **a1** entre la articulación 3 y 4.

Segundo, notamos que **L1** (link desplazado entre las articulaciones de la cintura y los hombros) no se usa en la tabla, pero en el esquema será dibujado para que el modelo se parezca a la forma física del robot. Por lo que para **L1** usaremos la medida de la **Figura 3a** de 660 mm, es decir, 0.660 m.

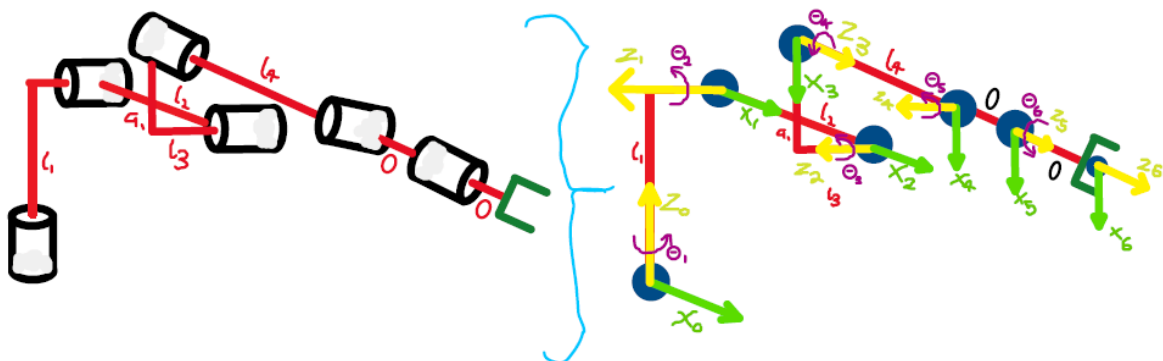


Figura 4. Esquema cinemático y ubicación de los ejes

Del esquema anterior obtenemos la siguiente tabla D-H:

```
PUMA 560:: 6 axis, RRRRRR, stdDH, slowRNE
```

j	theta	d	a	alpha	offset
1	q1	0.66	0	1.5708	0
2	q2	0	0.4318	0	0
3	q3	0.15005	0.0203	-1.5708	0
4	q4	0.4318	0	1.5708	0
5	q5	0	0	-1.5708	0
6	q6	0	0	0	0

Figura 5 Parámetros de D-H a partir del esquema cinemático diseñado

Comparación de parámetros D-H:

```
PUMA 560:: 6 axis, RRRRRR, stdDH, slowRNE
```

j	theta	d	a	alpha	offset
1	q1	0.66	0	1.5708	0
2	q2	0	0.4318	0	0
3	q3	0.15005	0.0203	-1.5708	0
4	q4	0.4318	0	1.5708	0
5	q5	0	0	-1.5708	0
6	q6	0	0	0	0

j	theta	d	a	alpha	offset
1	q1	0	0	1.5708	0
2	q2	0	0.4318	0	0
3	q3	0.15005	0.0203	-1.5708	0
4	q4	0.4318	0	1.5708	0
5	q5	0	0	-1.5708	0
6	q6	0	0	0	0

Figura 6. Comparación de parámetros D-H entre esquema (izquierda) y el obtenido usando Robotics Toolbox con p560 (derecha)

Podemos observar que los parámetros de ambas tablas resultan ser bastantes similares. La única diferencia notable es el valor de **d1** que, para el esquema cinemático de la **Figura 4** corresponde a **L1** cuyo valor es 0.66 m; mientras que utilizando el modelo p560 de la herramienta Robotics Toolbox **d1** es cero.

Posiciones definidas

Serie de posiciones definidas para el manipulador:

qz	(0, 0, 0, 0, 0, 0)	<i>zero angle</i>
qr	(0, $\frac{\pi}{2}$, $-\frac{\pi}{2}$, 0, 0, 0)	<i>ready</i> , the arm is straight and vertical
qs	(0, 0, $-\frac{\pi}{2}$, 0, 0, 0)	<i>stretch</i> , the arm is straight and horizontal
qn	(0, $\frac{\pi}{4}$, $-\pi$, 0, $\frac{\pi}{4}$, 0)	<i>nominal</i> , the arm is in a dextrous working pose

Posición Arbitraria: $q_a = [\pi, -\pi, \pi/2, 0, 0, \pi]$

Comparación de las posiciones del robot

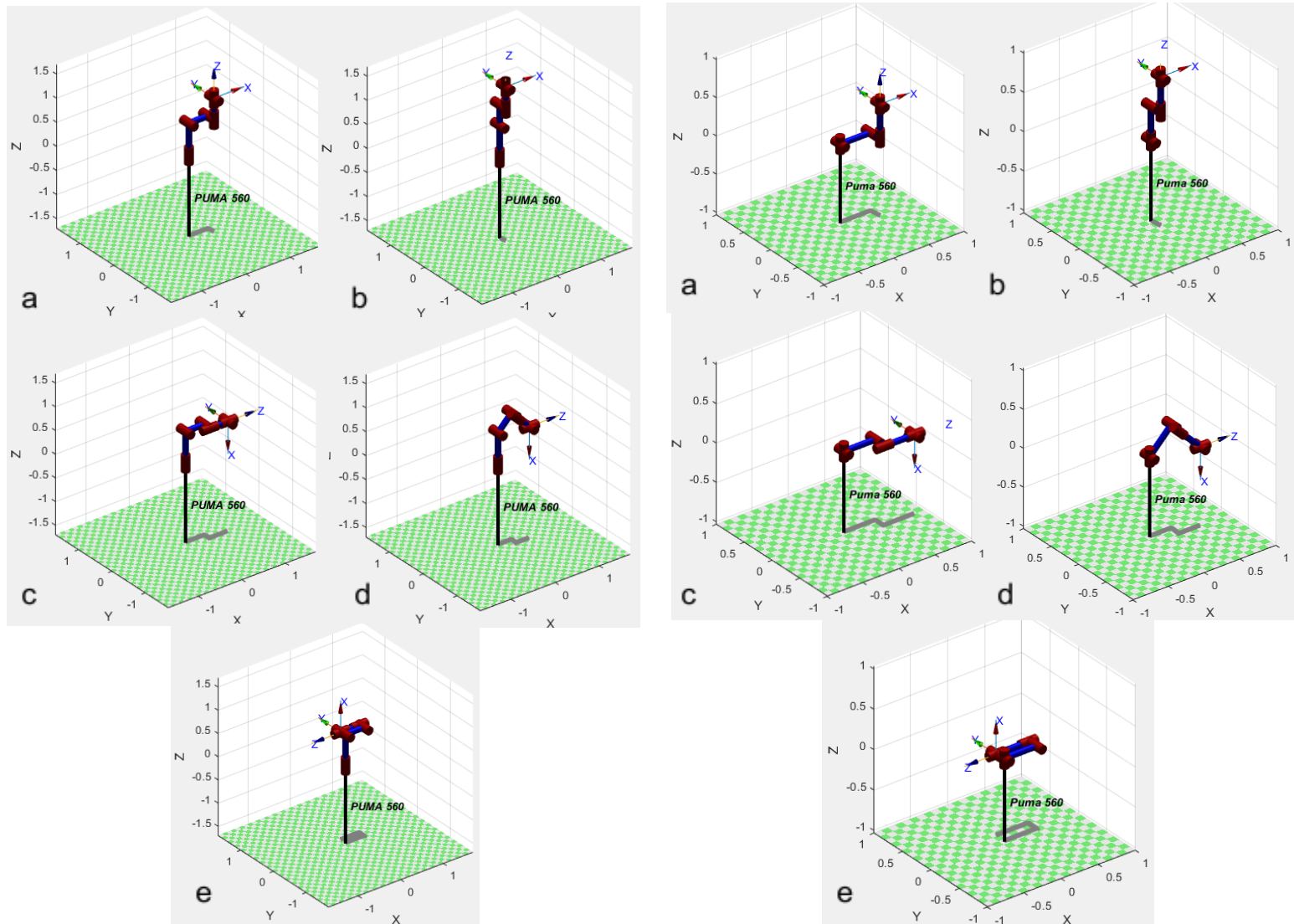


Figura 7. Comparación de las posiciones del robot PUMA 560 entre el diseñado con el esquema (izquierda) y el de Robotics Toolbox usando p560 (derecha). Las gráficas muestran el robot en las posiciones definidas: a) Zero Angle; b) Ready; c) Stretch; d) Nominal; e) Arbitraria

Las gráficas anteriores muestran que las posiciones usando los parámetros D-H obtenidos a partir del esquema y los parámetros D-H de Robotics Toolbox son muy consistentes y similares. La posición de los ángulos entre ambas comparaciones son bastante aproximadas y coinciden con los ejes obtenidos en el esquema cinemático de la **Figura 4**. Se puede observar además, el link **L1** de 0.66 m (en las gráficas de la izquierda) que fue tomado en cuenta en el esquema realizado.

Representación más realista del robot

Una representación 3D más realista del robot PUMA 560.

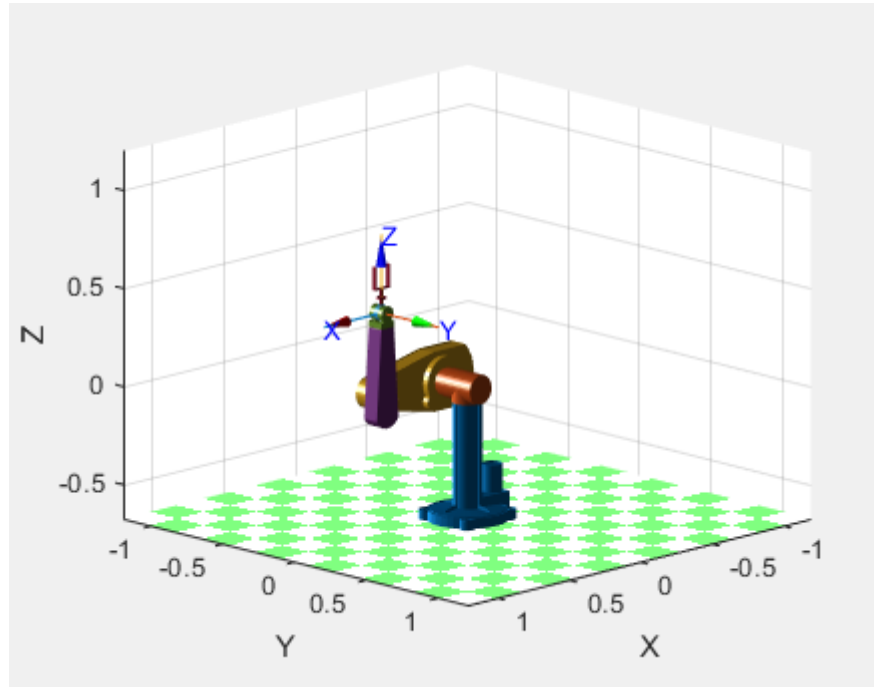


Figura 8. Representación 3D del robot

Cinemática Directa del PUMA 560

Calcularemos la cinemática directa para las posiciones **qz**, **qr**, **qs**, **qn** y **qa**, utilizando tanto los parámetros D-H del esquema diseñado en la **Figura 5** como los definidos por la herramienta Robotics Toolbox de la **Figura 2**.

Resultado con los parámetros de p560 de Robotics Toolbox

```
p560qz =
    1    0    0    0.4521
    0    1    0   -0.15
    0    0    1    0.4318
    0    0    0     1
```

```
p560qr =
    1    0    0    0.0203
    0    1    0   -0.15
    0    0    1    0.8636
    0    0    0     1
```

```
p560qs =
   -0.0000    0    1.0000    0.8636
    0         1    0   -0.1501
   -1.0000    0   -0.0000   -0.0203
    0         0    0     1
```

```
p560qn =
    0.0000    0    1.0000    0.5963
    0         1    0   -0.1501
   -1.0000    0    0.0000   -0.01435
    0         0    0     1
```

```
p560qa =
   -0.0000   -0.0000   -1.0000 -1.028e-06
    0.0000    1.0000   -0.0000    0.15
    1.0000   -0.0000   -0.0000   -0.0203
    0         0         0     1
```

Resultado con los parámetros obtenidos del esquema realizado

```
robqz =
    1    0    0    0.4521
    0    1    0   -0.15
    0    0    1    1.092
    0    0    0     1
```

```
robqr =
    1    0    0    0.0203
    0    1    0   -0.15
    0    0    1    1.524
    0    0    0     1
```

```
robqs =
   -0.0000    0    1.0000    0.8636
    0         1    0   -0.1501
   -1.0000    0   -0.0000    0.6397
    0         0    0     1
```

```
robqn =
    0.0000    0    1.0000    0.5963
    0         1    0   -0.1501
   -1.0000    0    0.0000    0.6456
    0         0    0     1
```

```
robqa =
   -0.0000   -0.0000   -1.0000 -1.028e-06
    0.0000    1.0000   -0.0000    0.15
    1.0000   -0.0000   -0.0000    0.6397
    0         0         0     1
```

Comparando ambos resultados, se puede observar que las Matrices de Rotación para las posiciones **qz**, **qr**, **qs**, **qn** y **qa** obtenidas con los parámetros D-H del modelo p560 y con los del esquema cinemático diseñado, son exactamente iguales. El único valor que es diferente entre las dos comparaciones es el tercer elemento de la Matriz de Posición que corresponde a Pz. Esto puede ser debido a **d1**; recordemos que en el esquema diseñado sí fue tomado en

cuenta y tiene un valor diferente de cero, pero el D-H de p560 del Robotics Toolbox no lo toma en cuenta.

Para finalizar con la cinemática directa, veremos el efecto de agregar el pedestal de 30 pulgadas que el PUMA 560 tiene. Estudiaremos únicamente el modelo p560 de Robotics Toolbox para esta parte, no utilizaremos el esquema diseñado.

El p560 tiene el sistema base colocado al final del pedestal, y no en el suelo. Vamos a incluir el pedestal, para ello se debe hacer una transformación del sistema base.

j	theta	d	a	alpha	offset
1	q1	0	0	1.5708	0
2	q2	0	0.4318	0	0
3	q3	0.15005	0.0203	-1.5708	0
4	q4	0.4318	0	1.5708	0
5	q5	0	0	-1.5708	0
6	q6	0	0	0	0

base: t = (0, 0, 0.762), RPY/xyz = (0, 0, 0) deg

Figura 9. Transformación del sistema base

Resultado de la cinemática directa con pedestal para los parámetros de p560 de Robotics Toolbox

```
p560qz =
    1    0    0    0.4521
    0    1    0   -0.15
    0    0    1    1.194
    0    0    0     1

p560qr =
    1    0    0    0.0203
    0    1    0   -0.15
    0    0    1    1.626
    0    0    0     1

p560qs =
   -0.0000    0    1.0000    0.8636
    0         1    0     -0.1501
   -1.0000    0   -0.0000    0.7417
    0         0    0         1

p560qn =
    0.0000    0    1.0000    0.5963
    0         1    0     -0.1501
   -1.0000    0    0.0000    0.7476
    0         0    0         1
```



```
p560qa =
-0.0000 -0.0000 -1.0000-1.028e-06
0.0000 1.0000 -0.0000 0.15
1.0000 -0.0000 -0.0000 0.7417
0 0 0 1
```

Al agregarle el pedestal, la cinemática directa cambia ligeramente. Comparando los resultados para el p560 antes de agregarle el pedestal y ahora, se observa que las Matrices de Rotación permanecen iguales, pero es el Vector Posición el que cambia, específicamente el valor de Pz.

Cinemática Inversa del PUMA 560

Para finalizar, vamos a calcular las posiciones de las articulaciones para la cinemática directa anterior (con el pedestal agregado).

Resultado Cinemática Inversa

```
CIqz =
2.5007 1.6167 0.0000 3.1416 1.6167 0.6409

CIqr =
0.2689 1.5708 -1.4768 3.1416 0.0940 2.8727

CIqs =
2.7975 -3.1416 -1.4768 1.8269 0.3562 1.2984

CIqn =
2.6486 -3.9270 0.0939 2.5326 0.9744 0.3734

CIqa =
3.1416 -3.1416 1.5708 0.1345 0.0000 3.0071
```

Cinemática Directa a partir de los resultados anteriores de la Cinemática Inversa

CDqz2 =

1	0	0	0.4521
0	1	0	-0.1501
0	0	1	1.194
0	0	0	1

CDqr2 =

1	0	0	0.0203
0	1	0	-0.15
0	0	1	1.626
0	0	0	1

CDqs2 =

-0.0000	0	1.0000	0.8636
0	1	0	-0.1501
-1.0000	0	-0.0000	0.7417
0	0	0	1

CDqn2 =

0.0000	0	1.0000	0.5963
0	1	0	-0.15
-1.0000	0	0.0000	0.7476
0	0	0	1

CDqa2 =

-0.0000	-0.0000	-1.0000	-1.028e-06
0.0000	1.0000	-0.0000	0.15
1.0000	-0.0000	-0.0000	0.7417
0	0	0	1

- Zero Angle q_z

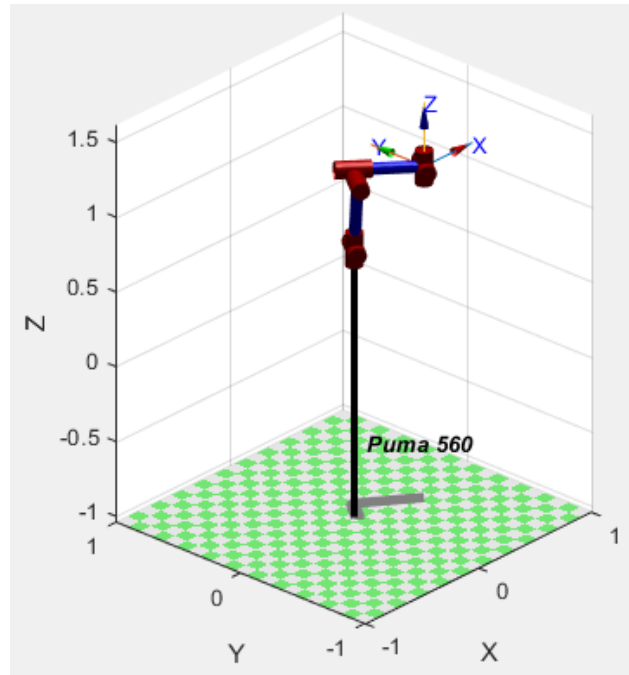
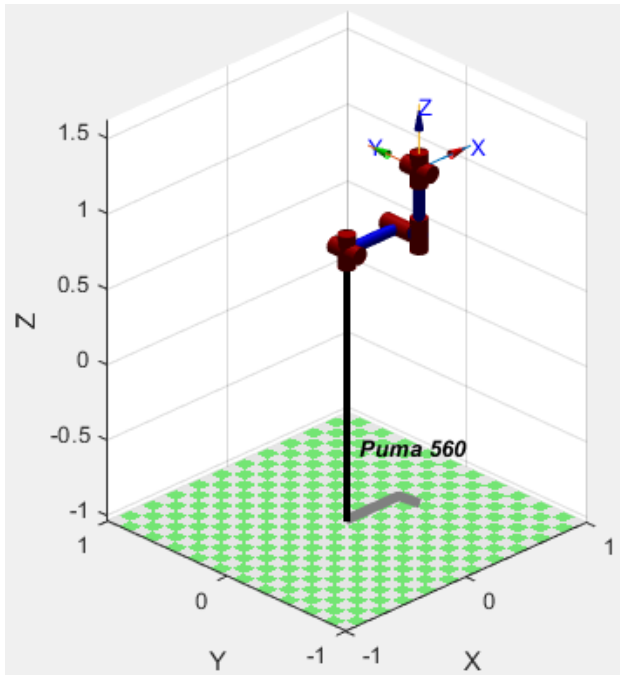


Figura 10. Posición definida q_z (izquierda) y su cinemática inversa (derecha)

- Ready q_r

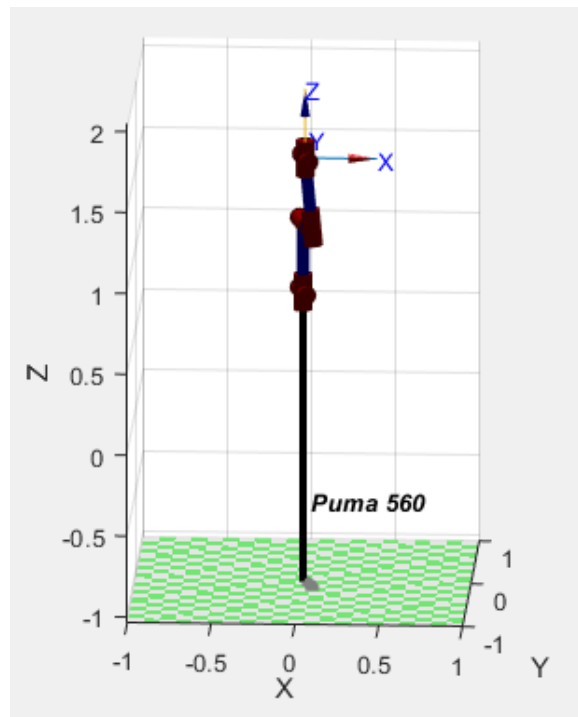
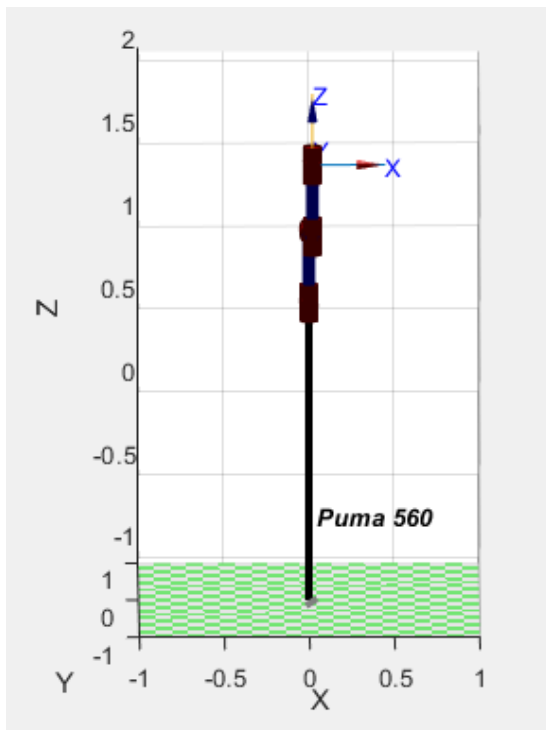


Figura 11. Posición definida q_r (izquierda) y su cinemática inversa (derecha)

- Stretch q_s

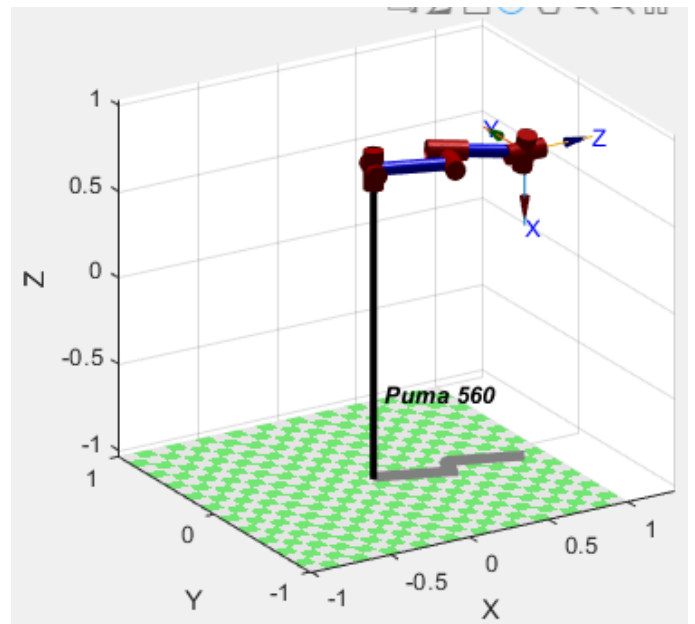
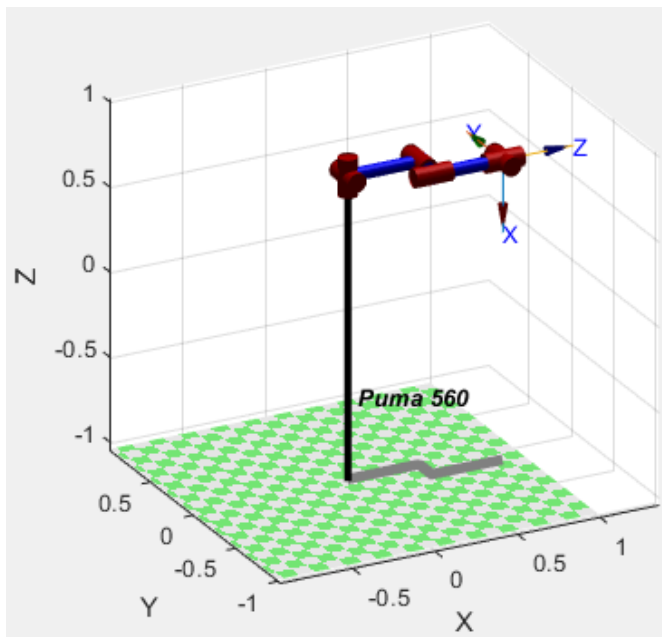


Figura 12. Posición definida q_s (izquierda) y su cinemática inversa (derecha)

- Nominal q_n

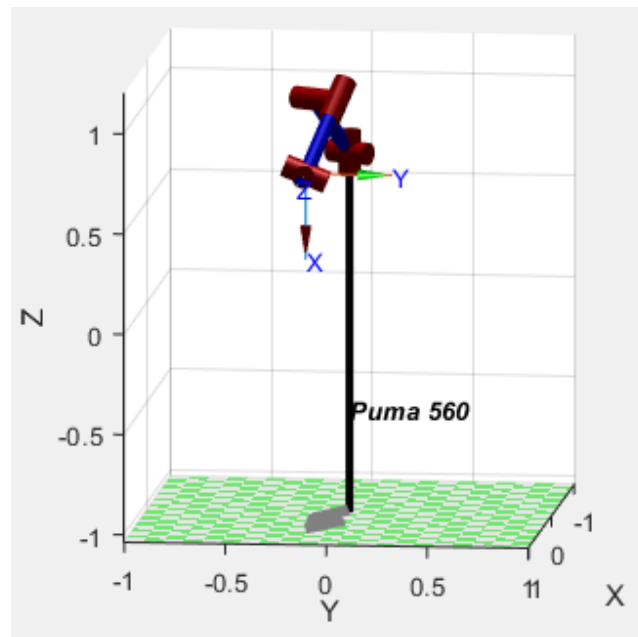
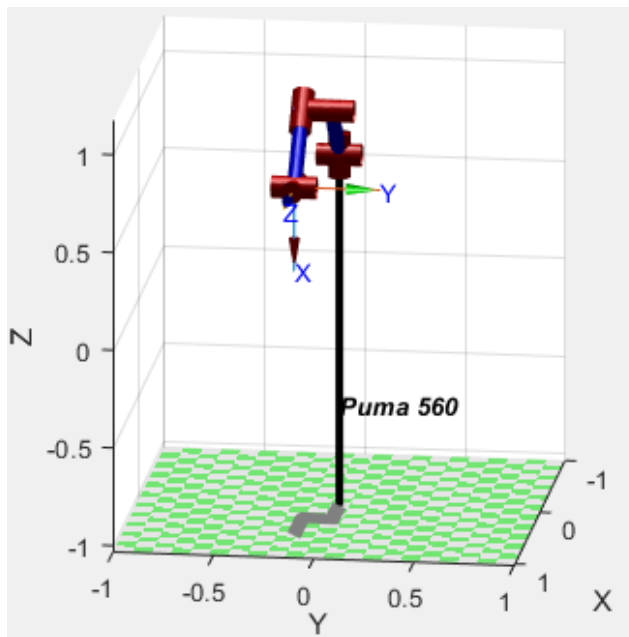


Figura 13. Posición definida q_n (izquierda) y su cinemática inversa (derecha)

- Arbitraria q_a

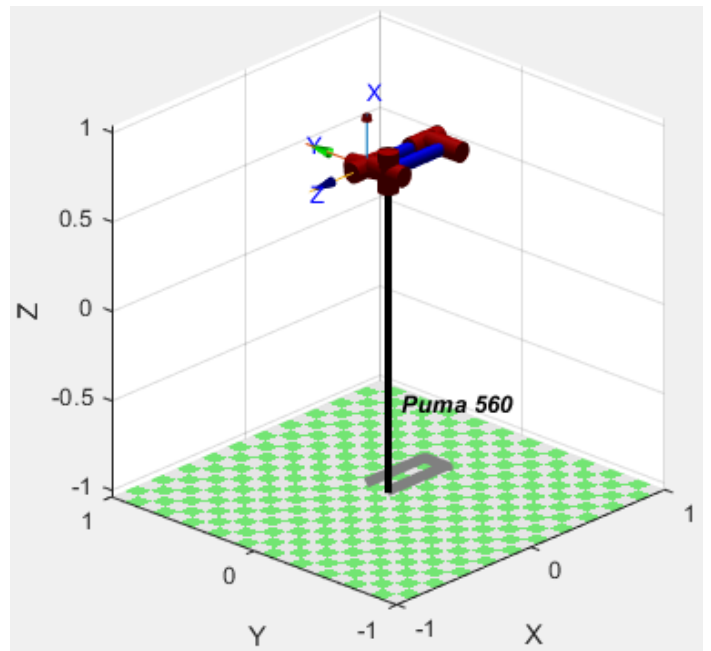
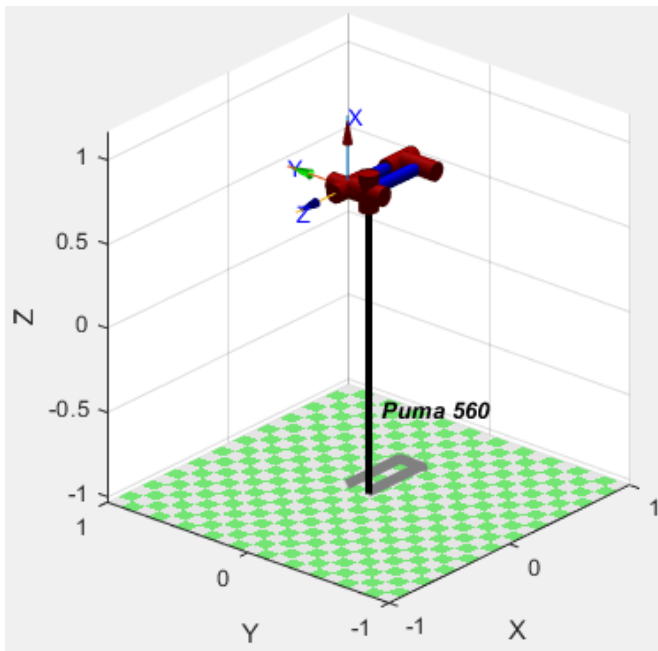


Figura 14. Posición arbitraria q_a (izquierda) y su cinemática inversa (derecha)

Las gráficas anteriores muestran la cinemática inversa para las posiciones q_z , q_r , q_s , q_n y q_a , es decir, se observa el posicionamiento de las articulaciones del robot a una determinada orientación y trayectoria, partiendo de una posición base o definida.