

Informe de Trabajo Práctico N°4

Cinemática Directa

Robótica I

Ingeniería en Mecatrónica
Facultad de Ingeniería - UNCUIYO

Alumno: Juan Manuel BORQUEZ PEREZ
Legajo: 13567



UNCUIYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD
DE INGENIERÍA

1. Ejercicio 1.

Trabaje en Matlab y resuelva la cinemática directa del Paint Mate 200iA (FANUC), para los siguientes arreglos de variables articulares

θ	d	a	α
0	0,45	0,075	-90°
0	0	0,3	0
0	0	0,075	-90°
0	0,32	0	90°
0	0	0	-90°
0	0,008	0	0

Figura 1: Parametros DH Fanuc.

1.1.

Coordenadas articulares:

$$\bar{q}_1 = [0; 0; 0; 0; 0; 0]$$

Matriz de transformación total:

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0 & 0 & 0.45 \\ 0 & -1.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.0 & 0.122 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

1.2.

Coordenadas articulares:

$$\bar{q}_2 = [\pi/4; -\pi/2; 0; 0; 0; 0]$$

Matriz de transformación total:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0.7071 & 0.7071 & 0.285 \\ 0 & -0.7071 & 0.7071 & 0.285 \\ 1.0 & 0 & 0 & 0.825 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

1.3.

Coordenadas articulares:

$$\bar{q}_3 = [\pi/5; -2\pi/5; -\pi/10; \pi/2; 3\pi/10; -\pi/2]$$

Matriz de transformación total:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1.0 & 0 & 0.3946 \\ 0 & 0 & 1.0 & 0.2947 \\ 1.0 & 0 & 0 & 0.8103 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

1.4.

Coordenadas articulares:

$$\bar{q}_4 = [-0.61; -0.15; -0.30; 1.40; 1.90; -1.40]$$

Matriz de transformación total:

$$\begin{pmatrix} 0.8941 & 0.3322 & 0.3003 & 0.4764 \\ -0.3545 & 0.1156 & 0.9279 & -0.3239 \\ 0.2735 & -0.9361 & 0.2211 & 0.2411 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

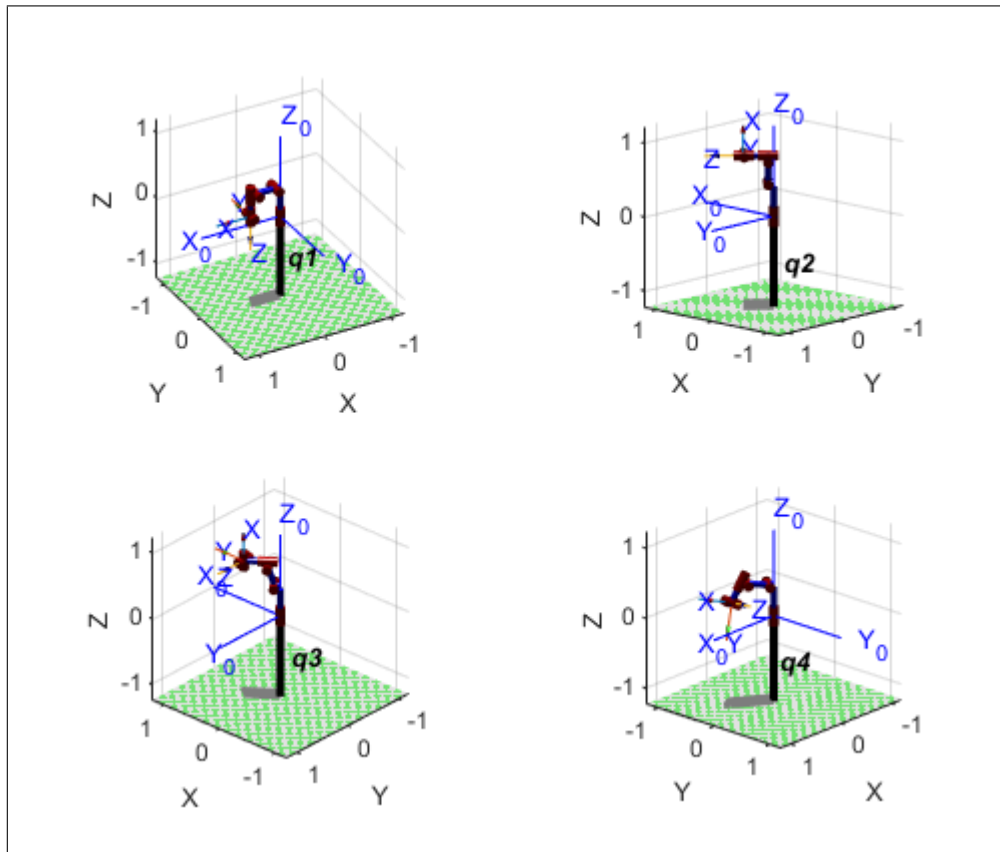


Figura 2: Posiciones articulares correspondientes.

2. Ejercicio 2.

2.1. Verificación del robot

Por observación de la matriz DH dada en comparación con la propuesta en el TP3 para el mismo tipo de robot se puede identificar que se refieren a distintos modelos. La que se confeccionó para el TP3 corresponde al SCARA IRB 910SC-3/0.45 mientras que la que se indica aquí corresponde al SCARA IRB 910SC-3/0.55. La diferencia se presenta en el parámetro L (fig. 3), que se corresponde con el parámetro a del S_1 , en la fila 1 de la

matrices DH (table 1 y table 2). Además se puede observar en la table 2 que los sistemas 2 y 1 coinciden en origen a lo largo del eje z y también el sistema 4 comparte origen en el extremo final con el sistema 3, mientras que en table 1 se tomó un desplazamiento en el eje z entre el sistema 1 y 2, y también entre el sistema 3 y 4. Luego existe una diferencia en la medida tomada para la separación entre el sistema de la base y el sistema 1.

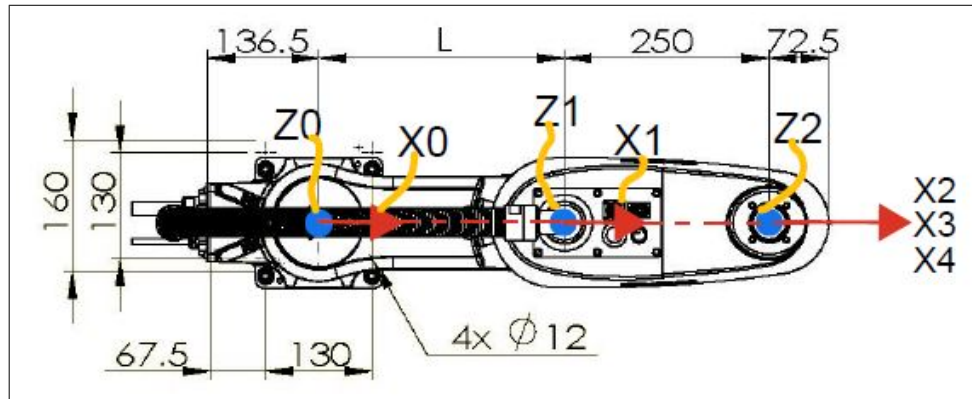


Figura 3: Indicación del parámetro L.

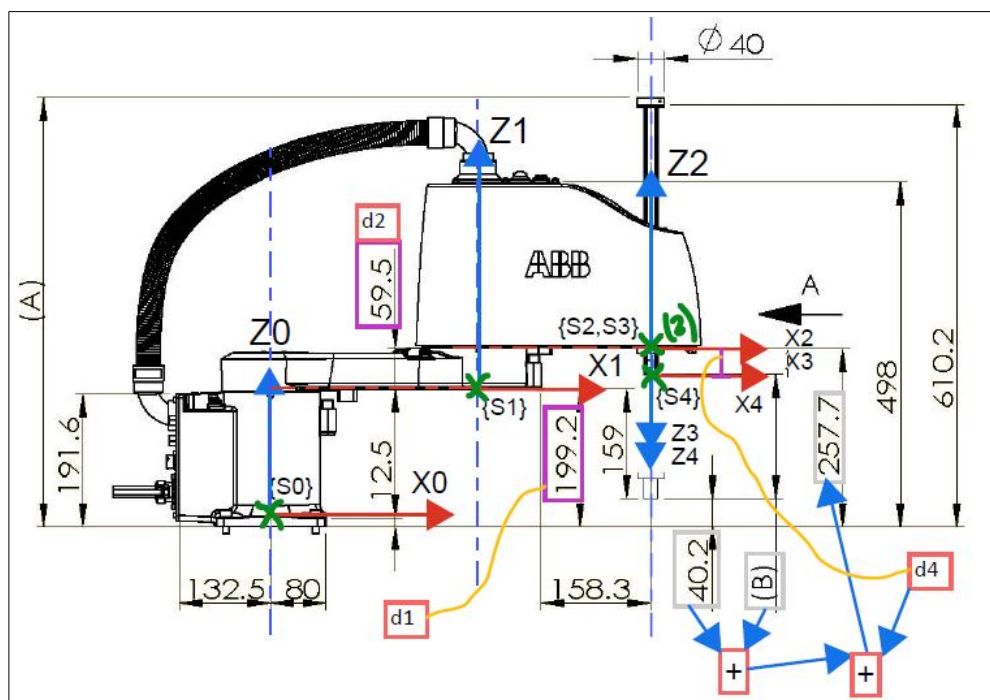


Figura 4: Vista lateral robot.

Sistema	θ	d	a	α	σ
1	q_1	0.1992	0.200	0.000	0
2	q_2	0.0595	0.250	0.000	0
3	0.000	q_3	0.000	π	1
4	q_4	0.0375	0.000	0.000	0

Cuadro 1: Parámetros DH TP3.

Sistema	θ	d	a	α	σ
1	q_1	0.195	0.300	0.000	0
2	q_2	0.000	0.250	0.000	0
3	0.000	q_3	0.000	π	1
4	q_4	0.000	0.000	0.000	0

Cuadro 2: Parámetros DH TP4.

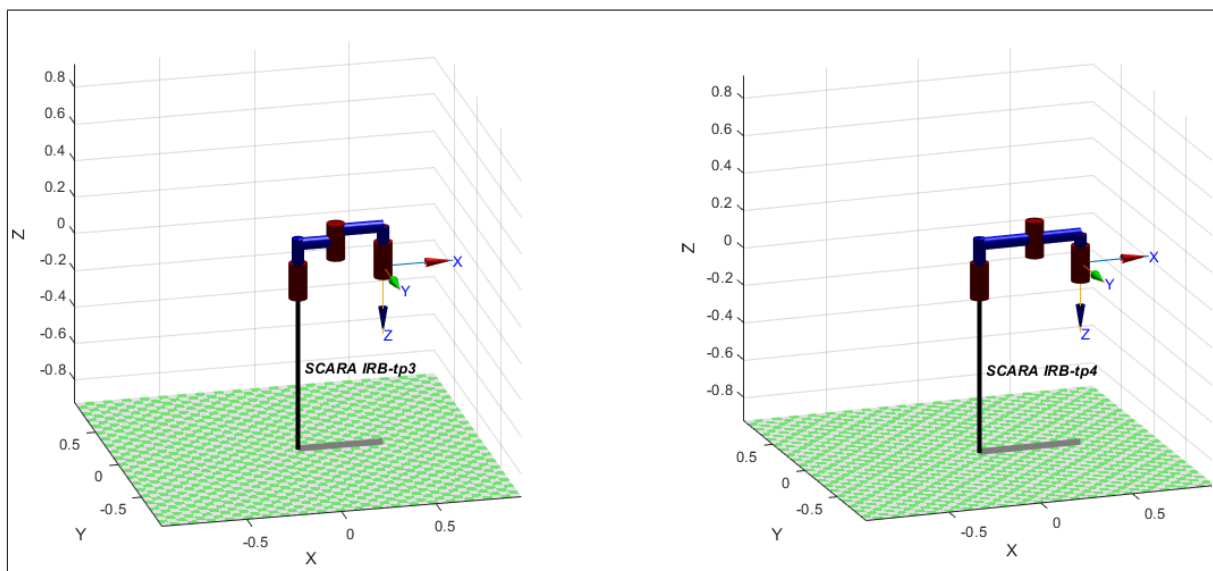


Figura 5: Comparación de las definiciones.

En la anterior figura se comparan las definiciones. Considero que es mas eficiente la definición dada en este TP en lugar de los desplazamientos de los sistemas como se presentó en el TP3.

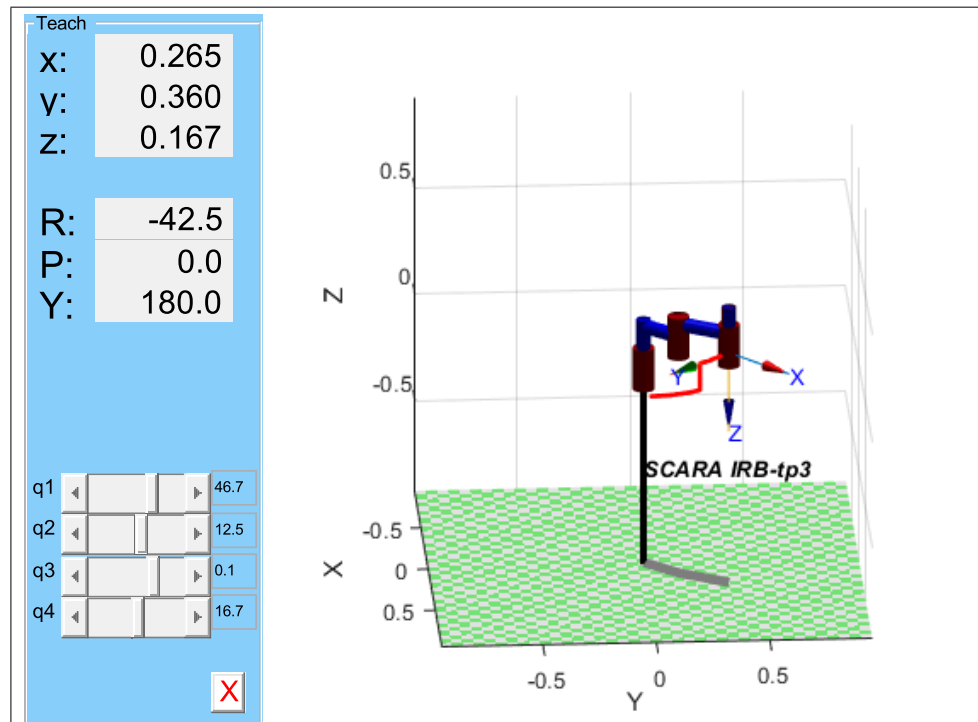


Figura 6: teach Robot tp3

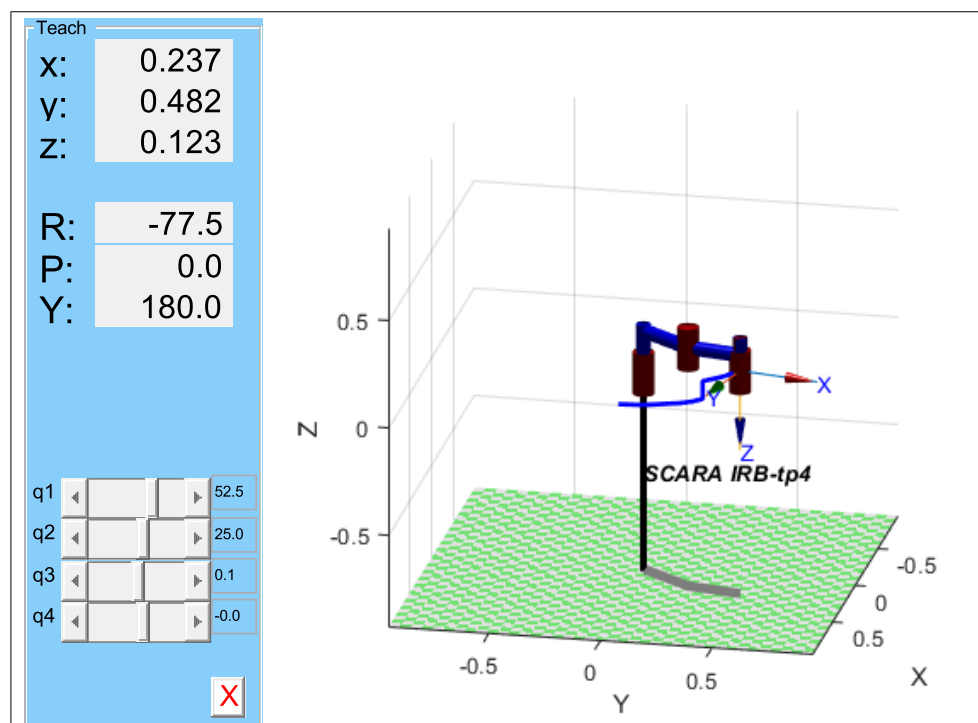


Figura 7: teach Robot tp4

2.2. Comparación de la cinemática directa.

Cinemática directa de la definición en el TP3:

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0 & 0 & 0.45 \\ 0 & -1.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.0 & 0.221 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0 \end{pmatrix}$$

Cinemática directa de la definición en el TP4:

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0 & 0 & 0.55 \\ 0 & -1.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.0 & 0.195 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0 \end{pmatrix}$$

Las diferencias que se presentan en las matrices de cinemática directa es debido a las razones mencionadas en section 2.1, como se puede ver la diferencia está en el vector de traslación, debido a que se tomaron distintas distancias y al ser modelos de robot distintos los alcances también lo son. Se ve en cambio que las orientaciones de los sistemas transformados sí coinciden.

2.3.

Todos los resultados se validaron con el método *fkine* de los robots.

3. Ejercicio 3

3.1.

¿En cuál de las 4 posturas el eje Z del extremo es paralelo al eje Z de la base?

En la postura dada por la $\bar{\mathbf{q}}_1$. Se puede observar en eq. (1) que la tercera columna de la matriz de transformación (eje Z del extremo) es un vector paralelo al eje Z del sistema de la base.

3.2.

¿En cuál de las 4 posturas el extremo se encuentra más cerca de la base?

Se puede determinar comparando las normas euclideas de los vectores de traslación (cuarta columna de la matriz de transformación). La menor de las normas corresponde al sistema con el origen más cercano al sistema de la base.

vector	norma (m)
q_1	0.4662
q_2	0.9182
q_3	0.9482
q_4	0.6245

Cuadro 3: Distancias al origen del sistema base.

Como se puede ver en la table 3, la postura dada por $\overline{\mathbf{q}}_1$ es la mas cercana a la base.

3.3.

¿En cuál de las 4 posturas el eslabón final está orientado en la dirección del eje “Y” de la base?

En la postura dada por $\overline{\mathbf{q}}_3$ el eje Z del extremo (en la dirección del eslabón final) está alineado con el eje Y de la base. Se puede observar en la eq. (3) que la columna 3 (eje Z del extremo) es un vector alineado con el eje Y de la base.

3.4.

¿En cuál de las 4 posturas el extremo no se encuentra en el primer cuadrante del sistema de la base?

Se determina observando las coordenadas del vector de traslación de las matrices de transformación homogénea (cuarta columna).

- Visto en el plano XY, la postura dada por $\overline{\mathbf{q}}_1$ no cae estrictamente en el primer cuadrante sino sobre el eje X de la base.
- Visto en el plano XY, la postura dada por $\overline{\mathbf{q}}_4$ no cae en el primer cuadrante.
- Visto en el plano XZ, ninguna postura cae fuera del primer cuadrante.
- Visto en el plano YZ, la postura dada por $\overline{\mathbf{q}}_4$ no cae en el primer cuadrante.
- Visto en el plano YZ, la postura dada por $\overline{\mathbf{q}}_1$ no cae estrictamente en el primer cuadrante sino sobre el eje Z de la base.

3.5.

¿Qué condición debe cumplirse en la matriz homogénea total del robot para que los ejes del sistema del extremo sean paralelos (sin importar orientación ni orden) a los del sistema de la base?

En la sub-matriz de rotación debe haber a lo sumo un 1 o -1 en cada columna y estos encontrarse en distintas filas, esto hace que los ejes del sistema del extremo sean paralelos a los ejes del sistema de la base (en igual sentido o en el opuesto) y que además no sean vectores paralelos entre sí. Además el determinante de esta sub-matriz debe ser 1 y no -1 (esto garantiza que sea un sistema dextrógiro).

3.6.

¿Por qué las siguientes matrices no pueden ser resultado de ningún vector de posiciones articulares?

La siguiente no puede ser una matriz de transformación homogénea dado que, como se puede observar en la sub-matriz de rotación, los vectores en la columna 1 y 3 son paralelos entre sí y por lo tanto, esta matriz **no determina un sistema de referencia ortonormal**.

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0.3946 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2947 \\ 1 & 0 & 1 & 0.8103 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La siguiente no puede ser matriz de transformación para este robot dado ya que **se exceden los límites del espacio de trabajo alcanzable por el extremo del robot**. Como se puede observar en la fig. 8, el máximo alcance radial es de 0.704 m mientras que la distancia respecto del sistema base, solo en el plano XY (dado por la norma en el plano XY del vector de traslación), es de 2.12 m .

$$T = \begin{bmatrix} 0.7071 & 0 & 0.7071 & 1.4971 \\ -0.7071 & 0 & 0.7071 & 1.4971 \\ 1 & -1 & 0 & 0.5250 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

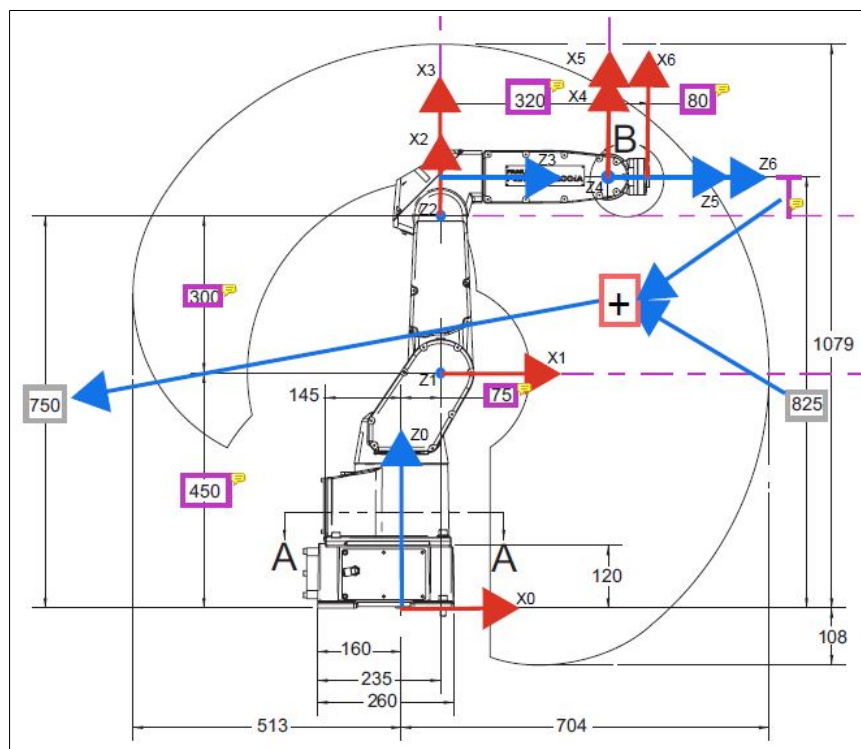


Figura 8: Vista lateral FANUC.

La siguiente no es una matriz de transformación para este robot dado que también **se exceden los límites del espacio de trabajo alcanzable por el extremo del robot**. En este caso no es tan evidente como en el caso anterior, así que en las fig. 9 y fig. 10 se muestra una trayectoria del robot a lo largo de su límite del espacio de trabajo en comparación con la posición esperada según la matriz de transformación.

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0.7030 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

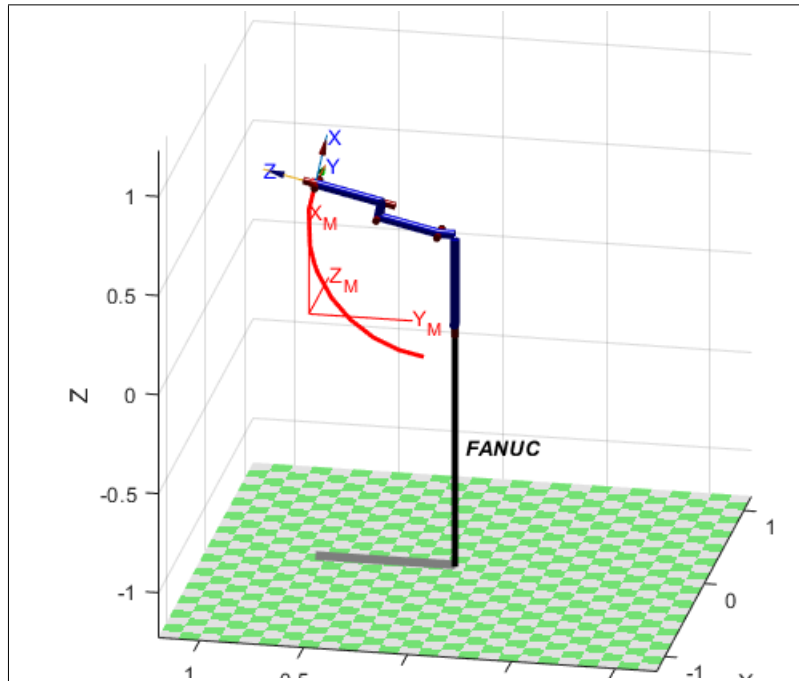


Figura 9: Vista alcance FANUC

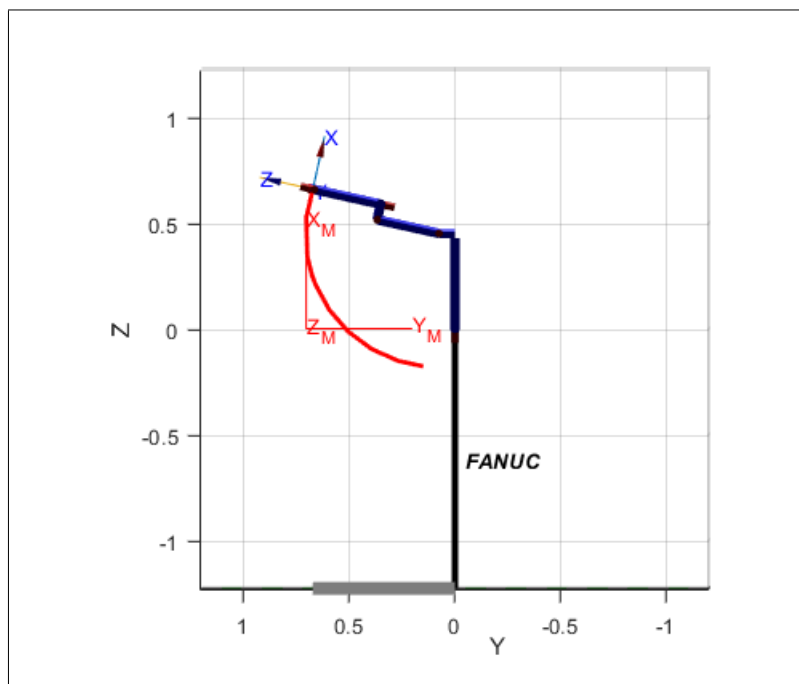


Figura 10: Vista lateral alcance FANUC.

Para verificar la siguiente matriz, nuevamente se hace uso del robotic toolbox para tratar de alcanzar la postura dada haciendo uso del método teach del robot. Como se puede ver en la fig. 11, a priori (no puedo saber con total exactitud), **el extremo del robot sí puede alcanzar la postura dada.**

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 0.500 & 0.866 & 0.4971 \\ 0 & -0.866 & 0.500 & 0.4971 \\ 1 & 0.000 & 0.000 & 0.5250 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

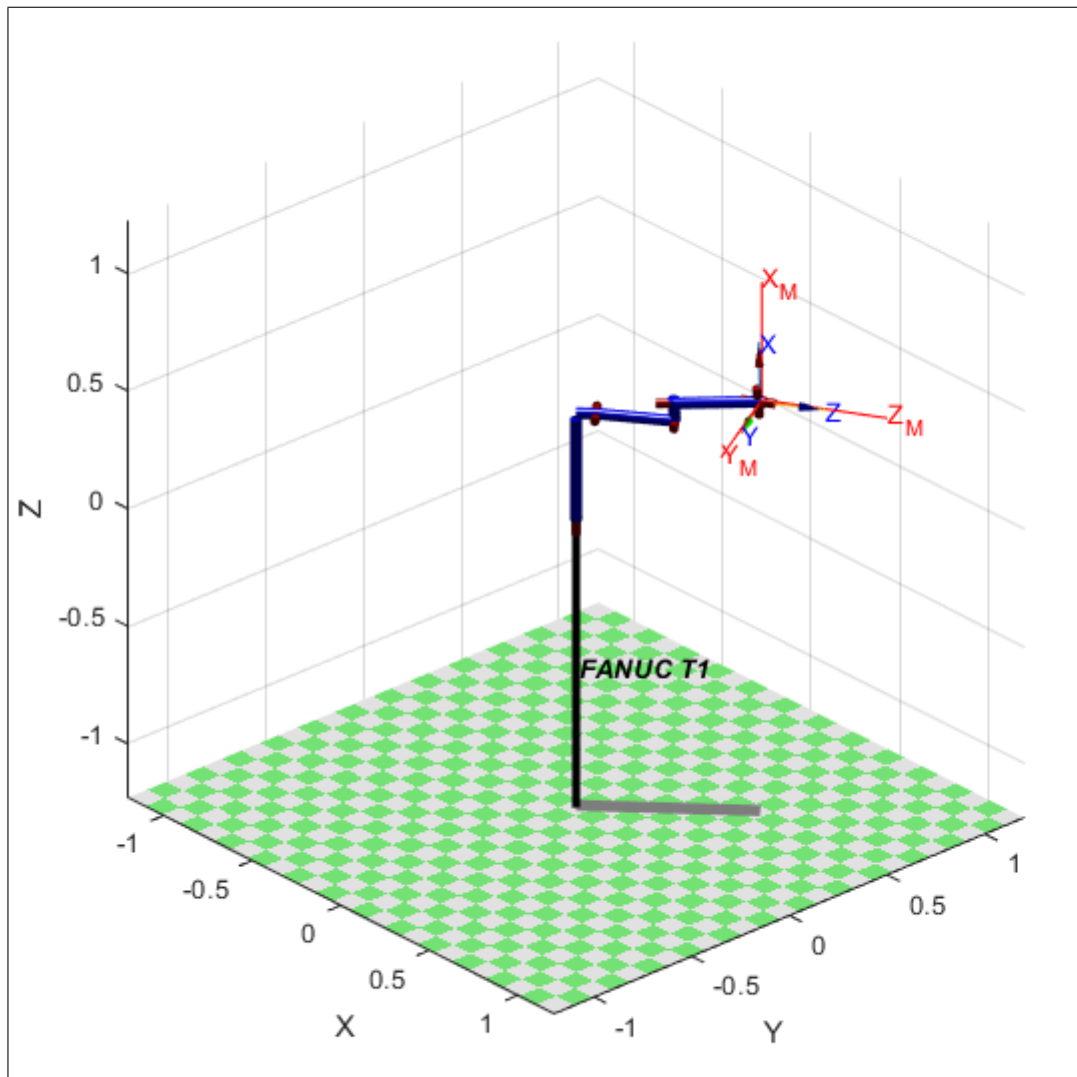


Figura 11: Verificación de la postura dada por T1

4. Ejercicio 4

Calcule el máximo error de posición cartesiana en el extremo final que podría tener el LBR iiwa 7 R800 (KUKA). Para hacerlo, asuma que está en

una postura totalmente vertical y extendida, y que todas sus articulaciones tienen un error de posición (delta de posición) de $0,1^\circ$

4.1.

¿Cuál es el error en esta situación?

Se elaboró un código para determinar el error. Por un lado se calcula la cinemática directa del robot con las coordenadas articulares exactas correspondientes a la posición vertical y luego se calcula la cinemática directa sumando a dicho vector de coordenadas un error de $0,1^\circ$ (positivo) en todas las articulaciones, con el objeto de obtener el máximo error. El error de posicionamiento se obtiene como la norma de la diferencia entre los vectores de traslación de las dos transformaciones. El error que se obtiene es de **2.1468mm**.

4.2.

¿El error es el mismo para cualquier posición? (suponiendo constante el error de posición articular).

A priori se puede decir que el error de posicionamiento no será el mismo para distintas posturas dado que el mismo error en las sucesivas variables articulares tendrá un efecto distinto en el error cartesiano dependiendo de cuál sea la postura.

Se elabora un contraejemplo con otra posición articular genérica y, como en el caso anterior, se obtiene el error de posicionamiento. En este caso el error es de **2.0611mm**.

4.3.

¿La respuesta anterior es válida para todo tipo de robots serie?

En principio sí.

5. Ejercicio TF

A continuación, se pueden ver curvas características del espacio de trabajo en el plano XY y XZ. Luego, puede visualizarse una imagen obtenida de Internet (espacio de trabajo) en la cual se observa el espacio de trabajo total, lo que se coincide con nuestra estimación.

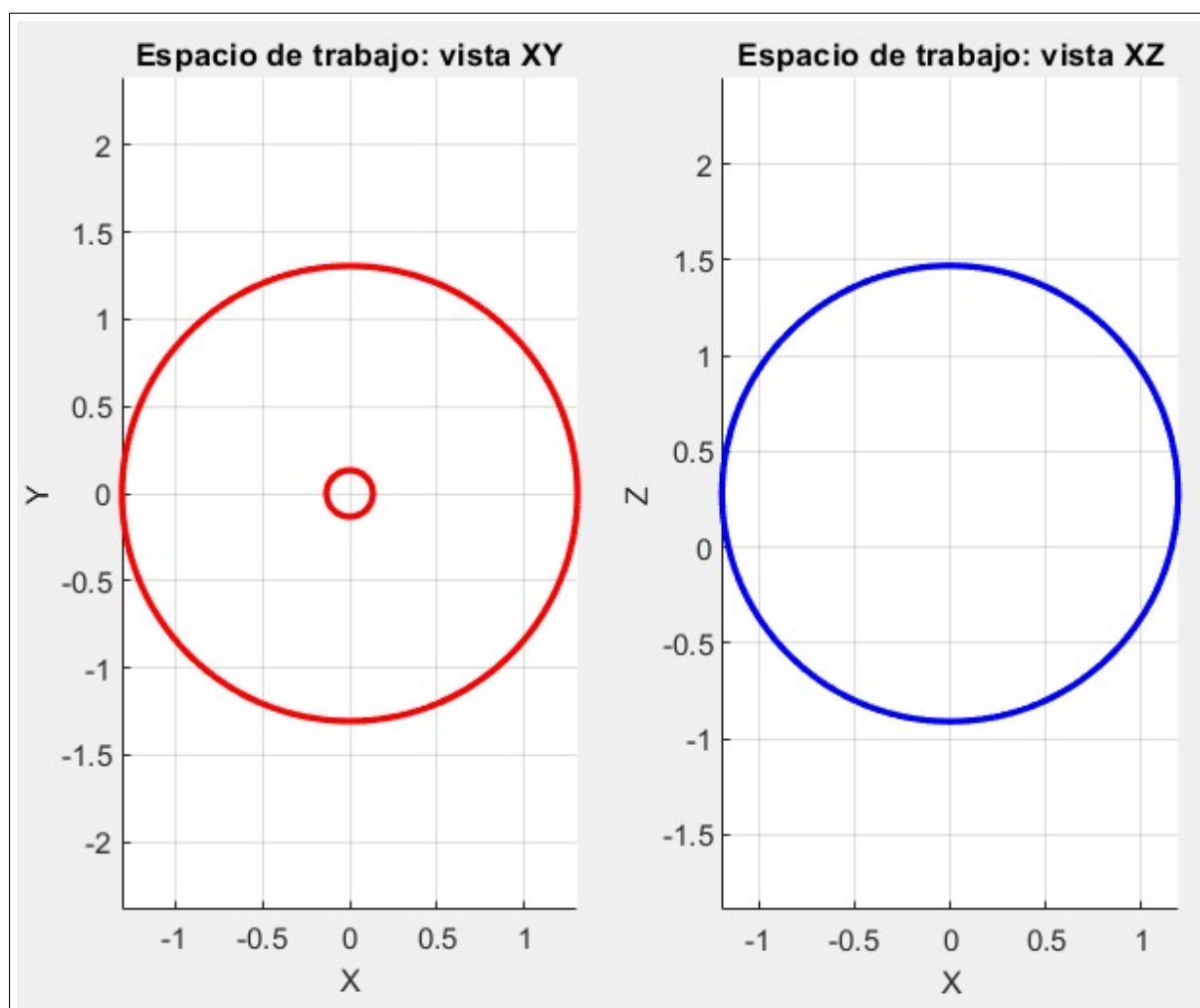


Figura 12: Curvas del espacio de trabajo obtenidas

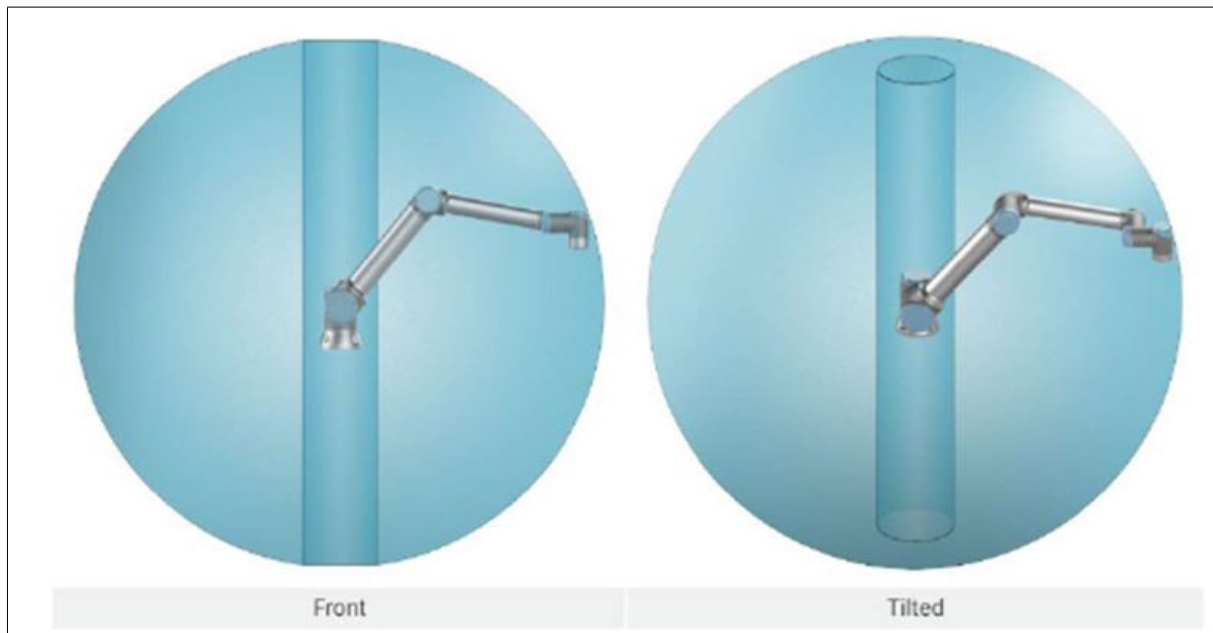


Figura 13: Espacio de trabajo obtenido en internet.

De acuerdo con la matriz de base, la misma está definida en robot.m y corresponde a una fundación de 0.1m de altura. Aún no contamos con las dimensiones del gripper para poder asignar una dimensión, pero se definió una variable “distancia_TC” genérica que corresponde a la distancia que se trasladará el TCP (Tool Center Point) desde el origen del último sistema y en base a esta también se definió la matriz de “tool”.