

# Laboratorio 1 - Análisis de las características de un Robot Industrial y Modelo geométrico directo

## Grupo 8

Ardila, Juan Andrés

López, Nicolás

Rojas, Juan Camilo

## Parte 1 - Robot

### Asignación del robot

Para el grupo 8, el robot asignado es el Fanuc R-2000iC/125L

### Características y modelo del robot

1.

a) Imágen del robot



b) Capacidad de carga

125 kg

c) Alcance vertical y horizontal

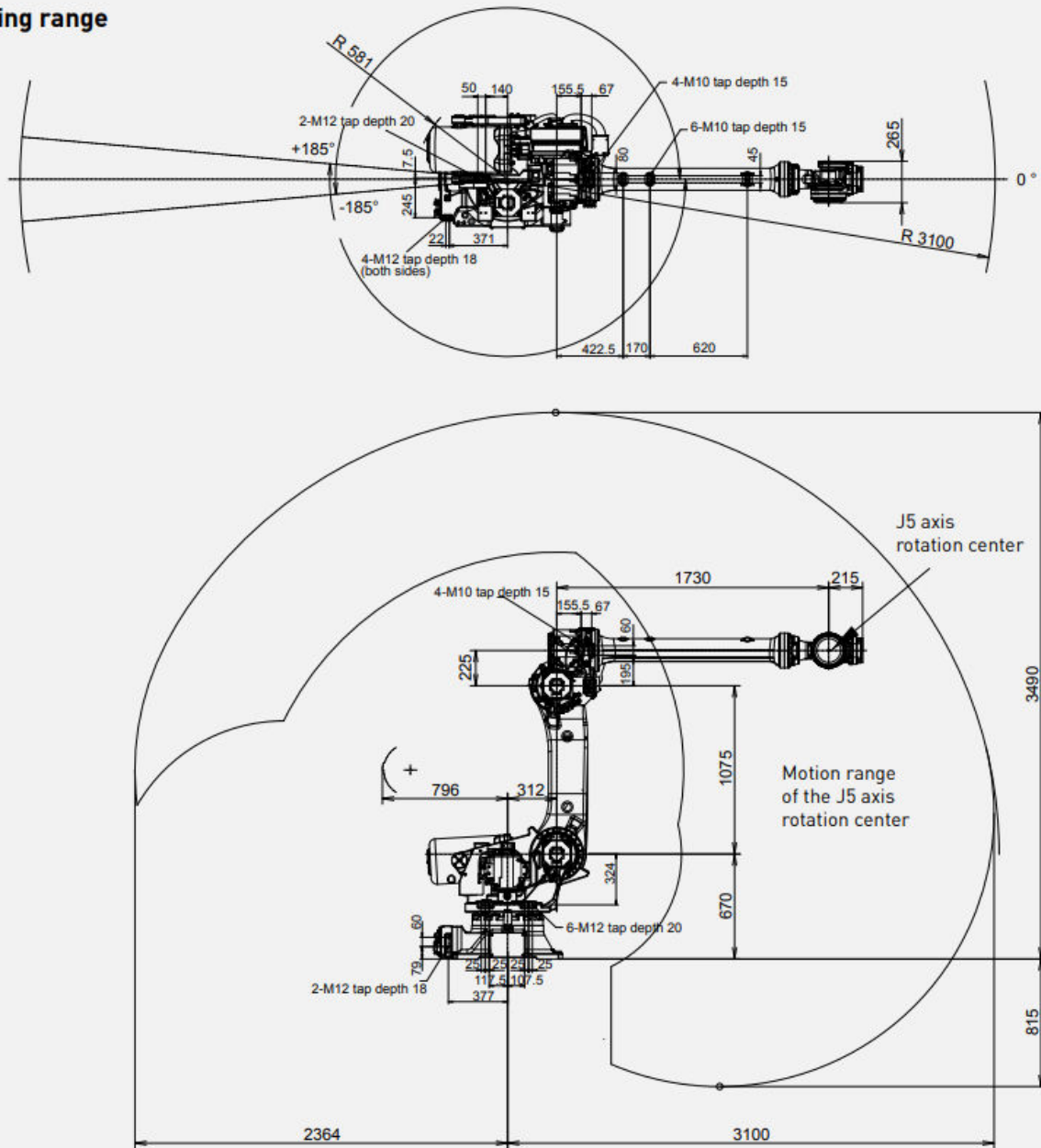
3100 mm horizontal y 3490 mm vertical

d) Repetibilidad

$\pm 0.05$  mm basado en ISO9283

e) Gráfica(s) de espacio alcanzable

## Working range



f) Tabla de parámetros DH



Consumo promedio de energía 2.5 kW

Suministro de aire integrado: 2

Nivel de ruido acústico 70.5 dB

Temperatura ambiente: 0-45 °C

Protección de cuerpo (estándar/opcional): IP54/IP56

Protección de muñeca brazo J3 (estándar/opcional): IP67

i) Haga un análisis del diagrama de la capacidad de carga.

No hay diagrama de la capacidad de carga del robot, lo único que se tiene es el dato de la capacidad máxima. A partir de esta se puede saber para qué aplicaciones sirve, en este caso nos dice que puede ser para procesos de soldadura de alta velocidad, montaje, transferencia de piezas, eliminación de material, carga y dispensación, entre otros.

2. Según las características anteriores explique para qué aplicaciones se usa este robot.

Es el robot adecuado para aplicaciones de carga pesada que requieran una repetibilidad excelente. Es el especialista en soldadura por puntos, gracias a su alto rendimiento, fácil instalación, diseño estilizado y gran cantidad de funciones adicionales, es la solución definitiva de soldadura. Como tiene elevada repetibilidad y una considerable carga de trabajo para aplicaciones de ensamble, transferencia de piezas, eliminación de material, servicio integrado dispensado.

## Parte 2 - Modelos

### Iniciando

1. Realice el análisis geométrico del robot asignado a través de DH modificado y utilice las funciones de RVC para construir un modelo en alambres.

```
clear

%Tabla de parámetros DH y creación de los eslabones y articulaciones
L(1) = Link('revolute','alpha',0, 'a', 0, 'd',0.67, 'offset',0, ...
'modified', 'qlim',[-(370/2)*pi/180 (370/2)*pi/180]);
L(2) = Link('revolute','alpha',-pi/2,'a', 0.312,'d',0, 'offset',-pi/2,...
'modified', 'qlim',[-(136/2)*pi/180 (136/2)*pi/180]);
L(3) = Link('revolute','alpha',0, 'a', 1.075,'d',0, 'offset',0, ...
'modified', 'qlim',[-(301/2)*pi/180 (301/2)*pi/180]);
L(4) = Link('revolute','alpha',-pi/2,'a', 0.225,'d',1.73, 'offset',0, ...
'modified', 'qlim',[-(720/2)*pi/180 (720/2)*pi/180]);
L(5) = Link('revolute','alpha',pi/2, 'a', 0, 'd',0, 'offset',0, ...
'modified', 'qlim',[-(250/2)*pi/180 (250/2)*pi/180]);
L(6) = Link('revolute','alpha',-pi/2, 'a', 0, 'd',0.215,'offset',0, ...
'modified', 'qlim',[-(720/2)*pi/180 (720/2)*pi/180]);

%Matrices de cosenos directores
syms Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 real
A_0_1 = L(1).A(Q1)
```

$$A_{0\_1} =$$

$$\begin{pmatrix} \cos(Q_1) & -\sin(Q_1) & 0 & 0 \\ \sin(Q_1) & \cos(Q_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{67}{100} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_{1\_2} = L(2) \cdot A(Q2)$$

$$A_{1\_2} =$$

$$\begin{pmatrix} \cos\left(Q_2 - \frac{\pi}{2}\right) & -\sin\left(Q_2 - \frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ \frac{4967757600021511 \sin\left(Q_2 - \frac{\pi}{2}\right)}{81129638414606681695789005144064} & \frac{4967757600021511 \cos\left(Q_2 - \frac{\pi}{2}\right)}{81129638414606681695789005144064} & 1 \\ -\sin\left(Q_2 - \frac{\pi}{2}\right) & -\cos\left(Q_2 - \frac{\pi}{2}\right) & \frac{4967757600021511}{81129638414606681695789005144064} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_{2\_3} = L(3) \cdot A(Q3)$$

$$A_{2\_3} =$$

$$\begin{pmatrix} \cos(Q_3) & -\sin(Q_3) & 0 & \frac{43}{40} \\ \sin(Q_3) & \cos(Q_3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_{3\_4} = L(4) \cdot A(Q4)$$

$$A_{3\_4} =$$

$$\begin{pmatrix} \cos(Q_4) & -\sin(Q_4) & 0 \\ \frac{4967757600021511 \sin(Q_4)}{81129638414606681695789005144064} & \frac{4967757600021511 \cos(Q_4)}{81129638414606681695789005144064} & 1 \\ -\sin(Q_4) & -\cos(Q_4) & \frac{4967757600021511}{81129638414606681695789005144064} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_{4\_5} = L(5) \cdot A(Q5)$$

$$A_{4\_5} =$$

$$\begin{pmatrix} \cos(Q_5) & -\sin(Q_5) & 0 \\ \frac{4967757600021511 \sin(Q_5)}{81129638414606681695789005144064} & \frac{4967757600021511 \cos(Q_5)}{81129638414606681695789005144064} & 1 \\ \sin(Q_5) & \cos(Q_5) & \frac{4967757600021511}{81129638414606681695789005144064} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_{5\_6} = L(6) \cdot A(Q_6)$$

$$A_{5\_6} =$$

$$\begin{pmatrix} \cos(Q_6) & -\sin(Q_6) & 0 & 0 \\ \frac{4967757600021511 \sin(Q_6)}{81129638414606681695789005144064} & \frac{4967757600021511 \cos(Q_6)}{81129638414606681695789005144064} & 1 & 0 \\ -\sin(Q_6) & -\cos(Q_6) & \frac{4967757600021511}{81129638414606681695789005144064} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Modelo geométrico directo:

```
T_0_6 = A_0_1 * A_1_2 * A_2_3 * A_3_4 * A_4_5 * A_5_6 * eye(4);
%Matriz de base a efector final
T_0_6 = simplify(T_0_6)
```

$$T_{0\_6} =$$

$$\begin{pmatrix} \cos(Q_6) \sigma_6 + \frac{4967757600021511 \sin(Q_6) \sigma_5}{81129638414606681695789005144064} + \sin(Q_6) \sigma_{10} & \frac{4967757600021511 \cos(Q_6)}{811296384146066816957890051} \\ \frac{4967757600021511 \sin(Q_6) \sigma_8}{81129638414606681695789005144064} - \cos(Q_6) \sigma_7 - \sin(Q_6) \sigma_9 & \frac{4967757600021511 \cos(Q_6)}{811296384146066816957890051} \\ \cos(Q_6) \sigma_{11} - \frac{4967757600021511 \sin(Q_6) \sigma_{12}}{81129638414606681695789005144064} - \sin(Q_6) \sigma_{13} & -\cos(Q_6) \sigma_{13} - \frac{4967757600021511 \cos(Q_6)}{811296384146066816957890051} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

where

$$\sigma_1 = \frac{81129638414606676728031405122553 \cos(Q_1 - Q_2)}{2}$$

$$\sigma_2 = \frac{81129638414606686663546605165575 \sin(Q_1 + Q_2)}{2}$$

$$\sigma_3 = \frac{81129638414606686663546605165575 \cos(Q_1 + Q_2)}{2}$$

$$\sigma_4 = \frac{81129638414606676728031405122553 \sin(Q_1 - Q_2)}{2}$$

$$\sigma_5 = \cos(Q_5) \sigma_{16} + \sigma_{14} - \sin(Q_5) \sigma_{15}$$

$$\sigma_6 = \sin(Q_5) \sigma_{16} + \cos(Q_5) \sigma_{15} + \frac{4967757600021511 \sin(Q_5) \sigma_{23}}{81129638414606681695789005144064}$$

$$\sigma_7 = \frac{4967757600021511 \sin(Q_5) \sigma_{24}}{81129638414606681695789005144064} - \sin(Q_5) \sigma_{18} + \cos(Q_5) \sigma_{17}$$

$$\sigma_8 = \cos(Q_5) \sigma_{18} - \sigma_{19} + \sin(Q_5) \sigma_{17}$$

$$\sigma_9 = \frac{\cos(Q_1 + Q_4)}{2} - \frac{403032377821159448978357750059338280708391237583 \sigma_{34}}{13164036458569648337239753460458804039861886925068638906788872192} -$$

$$\sigma_{10} = \frac{6582018229284824974684632372548374012493161295659483273165080625 \cos(Q_1 + Q_2 + Q_3)}{26328072917139296674479506920917608079723773850137277813577744384}$$

$$\sigma_{11} = \frac{24678615572571482867467662723121 \sin(Q_5)}{6582018229284824168619876730229402019930943462534319453394436096} + \cos(Q_5) \sigma_{20} - \frac{1}{81}$$

$$\sigma_{12} = \frac{4967757600021511 \cos(Q_5) \sigma_{22}}{81129638414606681695789005144064} - \sigma_{21} + \sin(Q_5) \sigma_{20} + \sin(Q_2 + Q_3) \cos(Q_5)$$

$$\sigma_{13} = \sigma_{25} - \frac{4967757600021511 \sin(Q_2 + Q_3)}{81129638414606681695789005144064} - \frac{81129638414606676728031405122553 \sigma_{26}}{182259276829213363391578010288128} + \frac{81129638414606676728031405122553 \sigma_{27}}{162}$$

$$\frac{4967757600021511 \cos(Q_5) \sigma_{28}}{81129638414606681695789005144064}$$



```
q0 = [0 0 0 0 0 0]
```

```
q0 = 1×6
      0      0      0      0      0      0
```

```
ws = [-5 6 -5 6 -2 5];
plot_options = {'workspace',ws,'scale',.5,'view',[-5 25], 'tilesize',2, ...
    'ortho', 'lightpos',[2 2 10] };
```

```
figure(1)
Robot = SerialLink(L,'name','R_{Fanuc}', 'plotopt', plot_options)
```

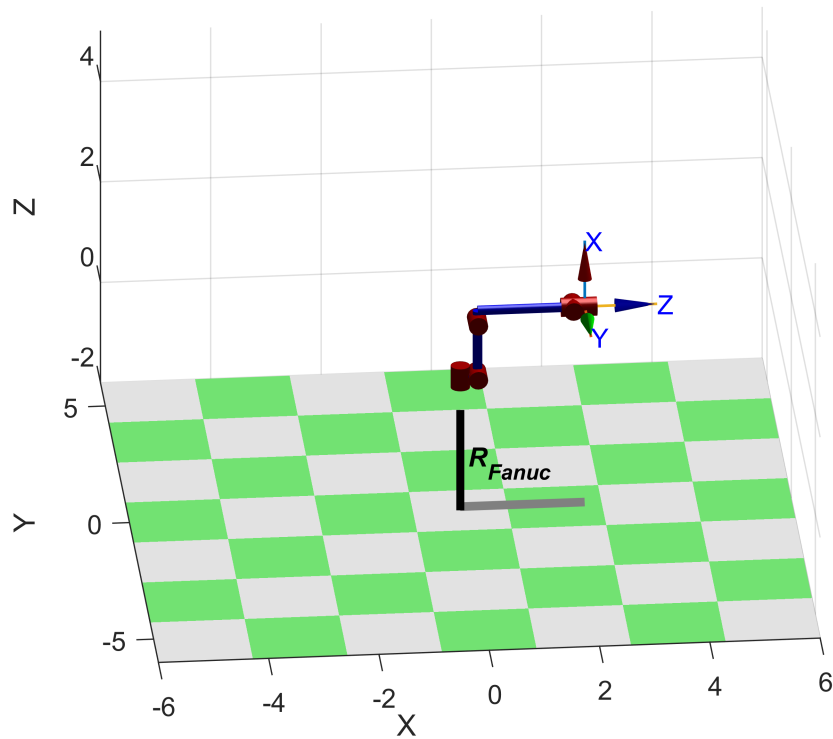
Robot =

R\_{Fanuc} (6 axis, RRRRRR, modDH, fastRNE)

j	theta	d	a	alpha	offset
1	q1	0.67	0	0	0
2	q2	0	0.312	-1.571	-1.571
3	q3	0	1.075	0	0
4	q4	1.73	0.225	-1.571	0
5	q5	0	0	1.571	0
6	q6	0.215	0	-1.571	0

```
grav =      0  base = 1  0  0  0  tool = 1  0  0  0
          0      0  1  0  0      0  1  0  0
        9.81      0  0  1  0      0  0  1  0
              0  0  0  1      0  0  0  1
```

```
Robot.teach(q0)
```



%Espacio de trabajo

it = 8;

```
q1 = linspace(-370/2,370/2,it)*pi/180;
q2 = linspace(-136/2,136/2,it)*pi/180;
q3 = linspace(-301/2,301/2,it)*pi/180;
q4 = linspace(-720/2,720/2,it)*pi/180;
q5 = linspace(-250/2,250/2,it)*pi/180;
q6 = linspace(-720/2,720/2,it)*pi/180;
```

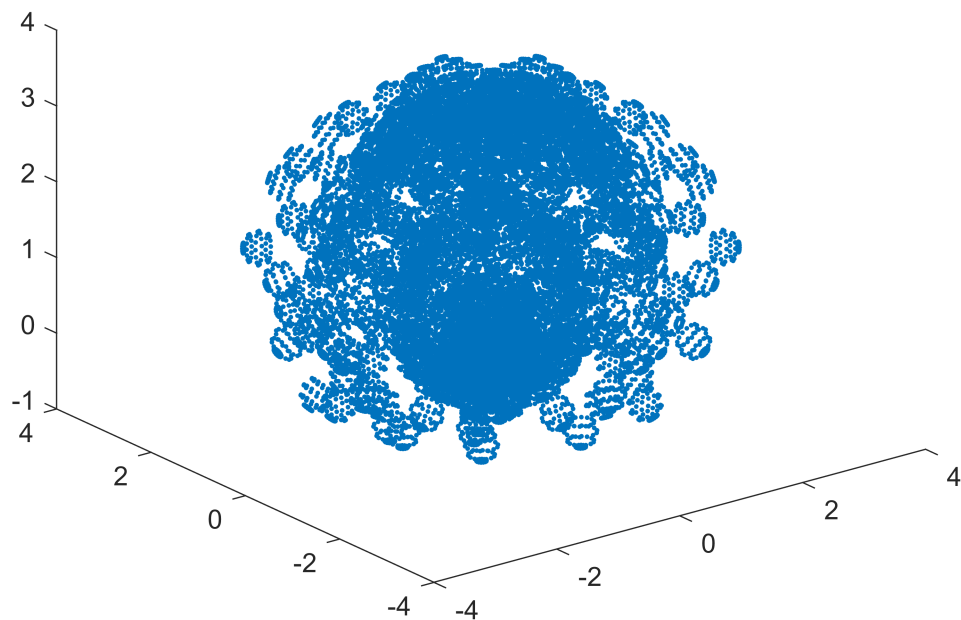
```
q1 = q1';
q2 = q2';
q3 = q3';
q4 = q4';
q5 = q5';
q6 = q6';
con = 1;
q = [q1 q2 q3 q4 q5 q6]
```

```
q = 8x6
-3.2289    -1.1868    -2.6267    -6.2832    -2.1817    -6.2832
-2.3063    -0.8477    -1.8762    -4.4880    -1.5583    -4.4880
-1.3838    -0.5086    -1.1257    -2.6928    -0.9350    -2.6928
-0.4613    -0.1695    -0.3752    -0.8976    -0.3117    -0.8976
 0.4613     0.1695     0.3752     0.8976     0.3117     0.8976
 1.3838     0.5086     1.1257     2.6928     0.9350     2.6928
 2.3063     0.8477     1.8762     4.4880     1.5583     4.4880
 3.2289     1.1868     2.6267     6.2832     2.1817     6.2832
```

```

for i=1:it
    for j=1:it
        for k = 1:it
            for a = 1:it
                for b = 1:it
                    for c = 1:it
                        TCP = Robot.fkine([q(i,1),q(j,2), ...
                        q(k,3),q(a,4),q(b,5),q(c,6)]);
                        X(con) = TCP(1,4);
                        Y(con) = TCP(2,4);
                        Z(con) = TCP(3,4);
                        con = con + 1;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
figure(2)
plot3(X(:),Y(:),Z(:),'.'')

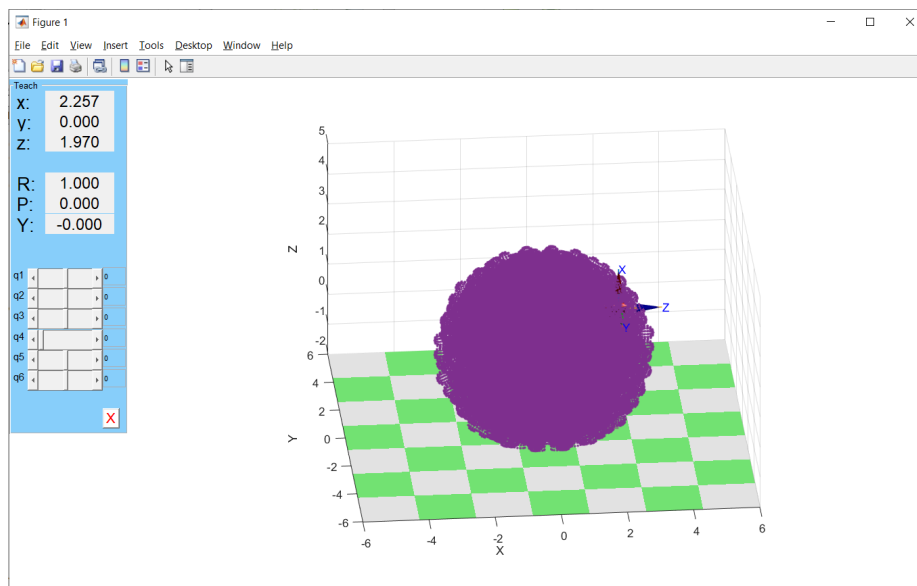
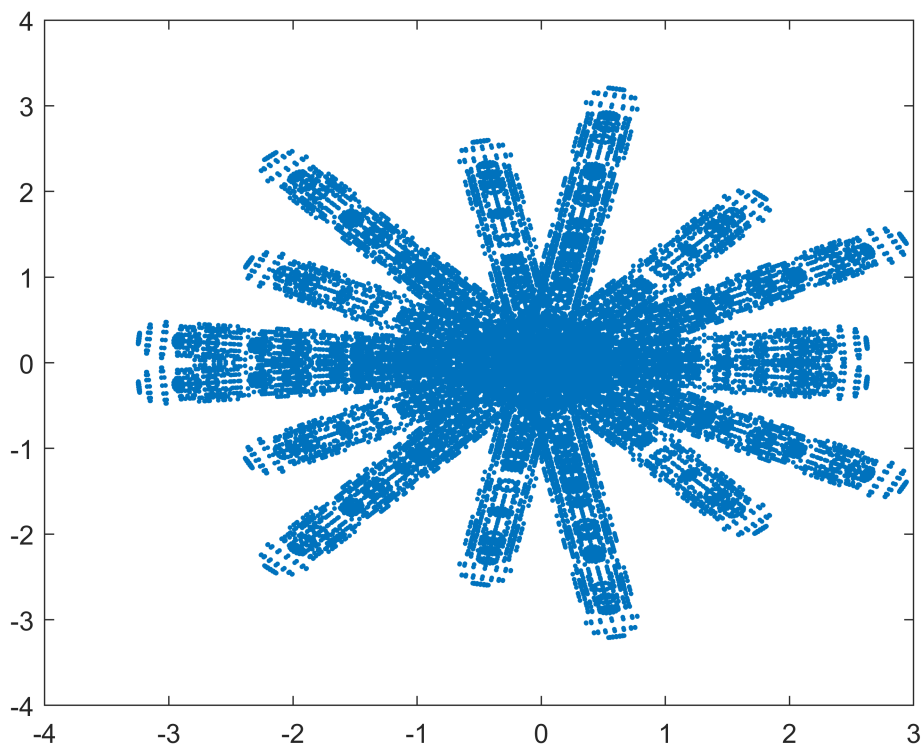
```



```

figure(3)
plot(X(:),Y(:),'.'')

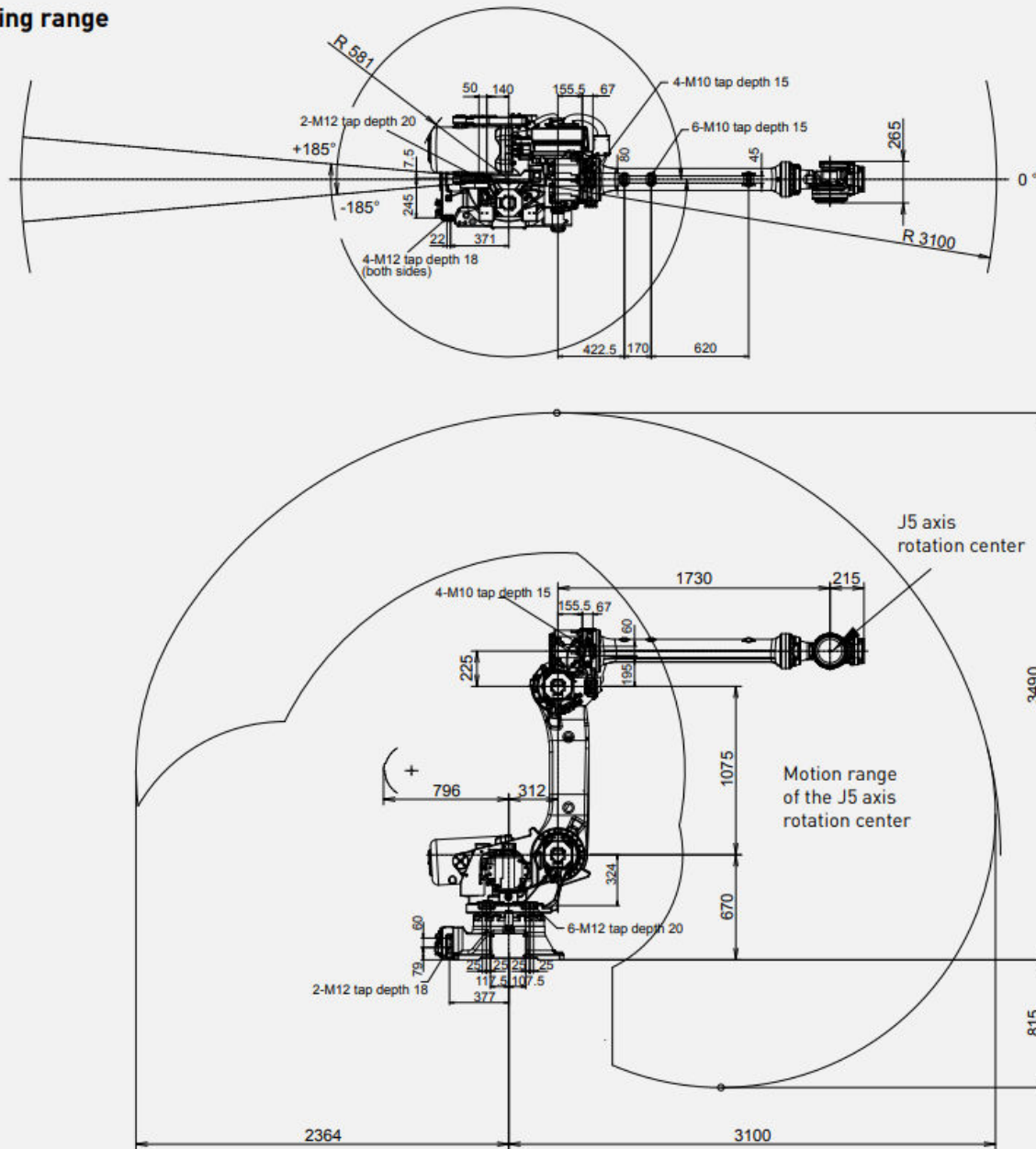
```



La figura de arriba se hizo con  $it = 15$  en 3D y la de abajo con  $it = 8$  en 2D (X,Y)

Como se puede ver el espacio de trabajo alcanzable es prácticamente puesto que como se ve en el catálogo sin mover el eje 1 el espacio de trabajo es el siguiente:

## Working range



Al haber movimiento en el eje 1 se obtiene prácticamente una esfera como espacio de trabajo pues tiene un rango de movimiento de 370°. Lo mismo se puede ver más adelante con el RST. En esta imagen se ven los puntos de calibración que son cuando la variable  $q = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$  para RVC. Con RST es más fácil verlo pues se usa la función `homeConfiguration` como se ve más adelante. La Matriz de cosenos directores de la pose del efector son las matrices  $A_{0\_1}$  hasta la  $A_{5\_6}$  y la  $T_{0\_6}$ , sólo que en lugar de meterle la  $q$  como variable se le da un valor a cada ángulo para calcular la matriz. Con RST es más fácil obtener estas matrices pues simplemente se usa la función `getTransform` poniendo como entrada los dos cuerpos de los que se necesita la matriz como por ejemplo la base y el efector final.

Utilizando el RST

Creamos el robot:

```
robot = rigidBodyTree;
```

Creamos los eslabones (objetos sólidos):

```
body1 = rigidBody('body1');  
body2 = rigidBody('body2');  
body3 = rigidBody('body3');  
body4 = rigidBody('body4');  
body5 = rigidBody('body5');  
body6 = rigidBody('body6');  
bodyEndEffector=rigidBody('endeffector');
```

Se crean las uniones entre los eslabones:

```
jnt1 = rigidBodyJoint('jnt1','revolute');  
jnt2 = rigidBodyJoint('jnt2','revolute');  
jnt3 = rigidBodyJoint('jnt3','revolute');  
jnt4 = rigidBodyJoint('jnt4','revolute');  
jnt5 = rigidBodyJoint('jnt5','revolute');  
jnt6 = rigidBodyJoint('jnt6','revolute');
```

Se definen las MTH entre cada eslabón y se hace el ensamble:

```
%body1  
tform1 = transl(0, 0, 0.67);  
setFixedTransform(jnt1,tform1);  
body1.Joint = jnt1;  
addBody(robot,body1,'base')  
  
%body2  
tform2 = transl(0.312, 0, 0)*trotx(-pi/2)*trotz(-pi/2);  
setFixedTransform(jnt2,tform2);  
%setFixedTransform(jnt2,dhparams(2,:),'dh');  
body2.Joint = jnt2;  
addBody(robot,body2,'body1')  
  
%body3  
tform3 = transl(1.075, 0, 0);  
setFixedTransform(jnt3,tform3);  
body3.Joint = jnt3;  
addBody(robot,body3,'body2')  
  
%body4  
tform4 = transl(0.225, 1.73, 0)*trotx(-pi/2);  
setFixedTransform(jnt4,tform4);  
body4.Joint = jnt4;  
addBody(robot,body4,'body3')  
  
%body5  
tform5 = transl(0, 0, 0)*trotx(pi/2);  
setFixedTransform(jnt5,tform5);  
body5.Joint = jnt5;  
addBody(robot,body5,'body4')
```

```

%body6
tform6 = transl(0, 0.215, 0)*trotx(-pi/2);
setFixedTransform(jnt6,tform6);
body6.Joint = jnt6;
addBody(robot,body6,'body5')

%endEffector
tform7 = trvec2tform([0 0 0]);
setFixedTransform(bodyEndEffector.Joint,tform7);
addBody(robot,bodyEndEffector,'body6')

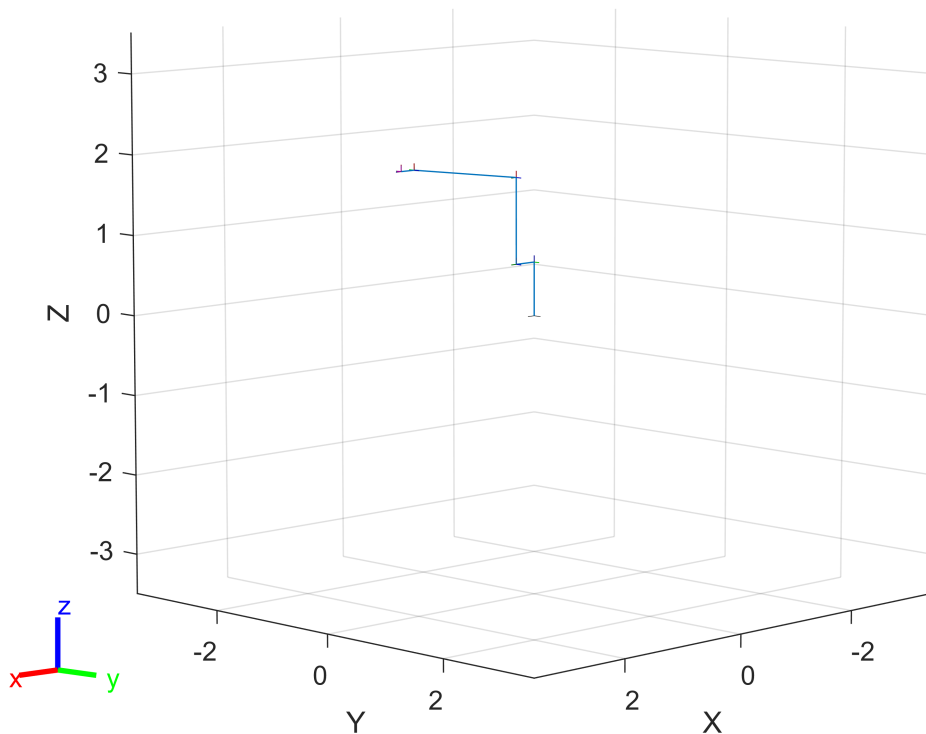
```

El robot es el siguiente:

```

figure(4)
show(robot)

```



```

ans =
  Axes (Primary) with properties:
      XLim: [-3.5000 3.5000]
      YLim: [-3.5000 3.5000]
      XScale: 'linear'
      YScale: 'linear'
      GridLineStyle: '-'
      Position: [0.1300 0.1100 0.7750 0.8150]
      Units: 'normalized'

```

Show all properties

```

%viztree = interactiveRigidBodyTree(robot)

```

```
showdetails(robot)
```

```
-----  
Robot: (7 bodies)
```

Idx	Body Name	Joint Name	Joint Type	Parent Name(Idx)	Children Name(s)
---	-----	-----	-----	-----	-----
1	body1	jnt1	revolute	base(0)	body2(2)
2	body2	jnt2	revolute	body1(1)	body3(3)
3	body3	jnt3	revolute	body2(2)	body4(4)
4	body4	jnt4	revolute	body3(3)	body5(5)
5	body5	jnt5	revolute	body4(4)	body6(6)
6	body6	jnt6	revolute	body5(5)	endeffector(7)
7	endeffector	endeffector_jnt	fixed	body6(6)	
---	-----	-----	-----	-----	-----

```
%Puntos de calibración
```

```
config = homeConfiguration(robot)
```

```
config = 1x6 struct
```

Fields	JointName	JointPosition
1	'jnt1'	0
2	'jnt2'	0
3	'jnt3'	0
4	'jnt4'	0
5	'jnt5'	0
6	'jnt6'	0

```
tform=getTransform(robot,config, 'endeffector', 'base')
```

```
tform = 4x4
```

```
    0.0000    0.0000    1.0000    2.2570  
   -0.0000   -1.0000    0.0000   -0.0000  
    1.0000   -0.0000   -0.0000    1.9700  
         0         0         0         1.0000
```

```
%espacio de trabajo
```

```
for i=1:2000
```

```
    config = randomConfiguration(robot);
```

```
    tform = getTransform(robot,config,'endeffector','base');
```

```
    x(i)=tform(1,4);
```

```
    y(i)=tform(2,4);
```

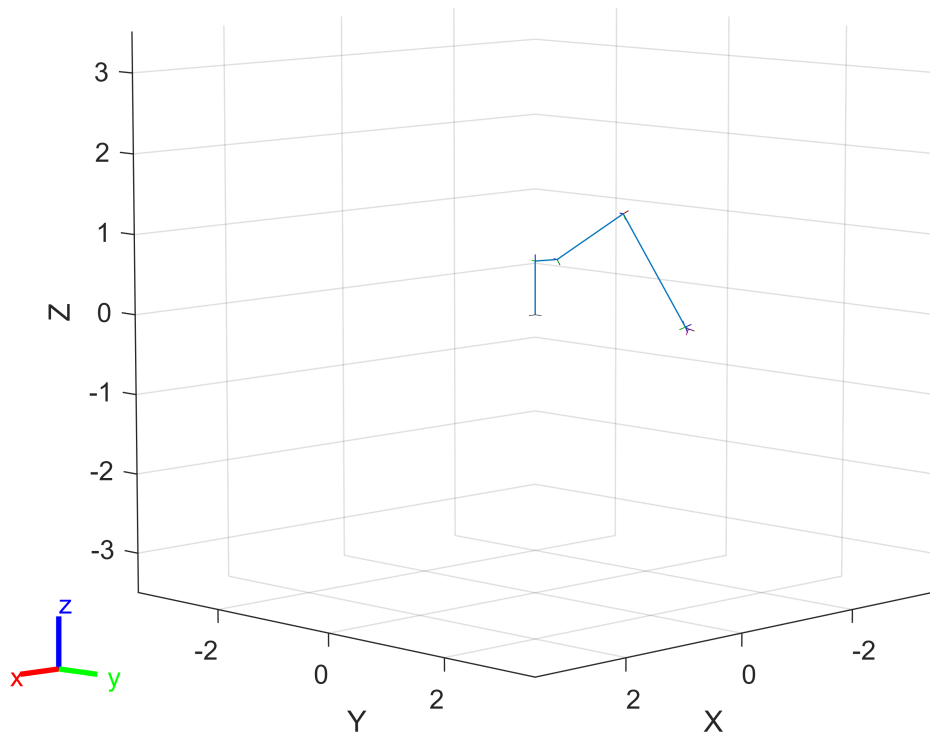
```
    z(i)=tform(3,4);
```

```
end
```

```
figure(5)
```

```
show(robot,config)
```



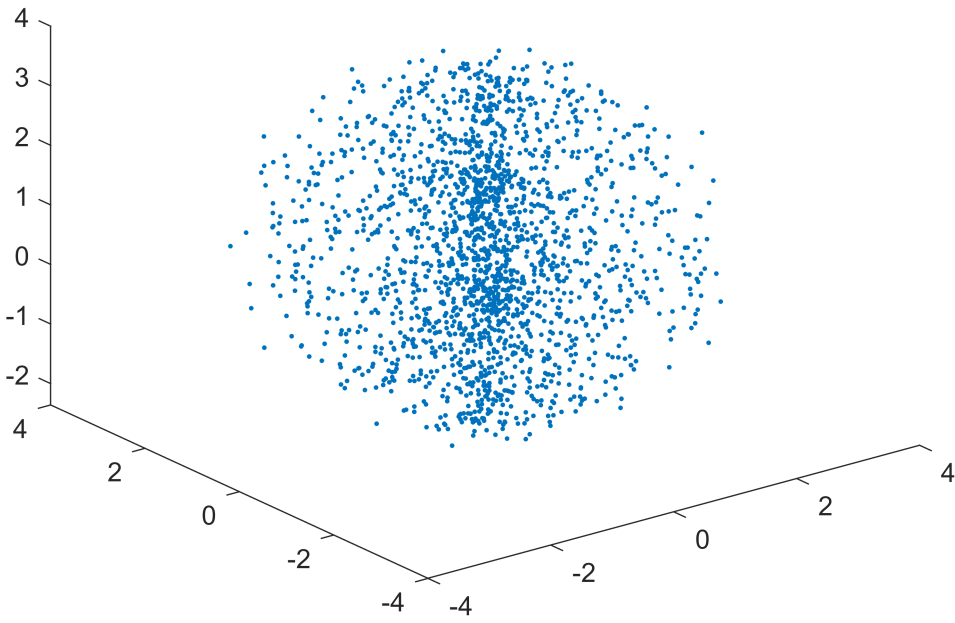


```
ans =
  Axes (Primary) with properties:

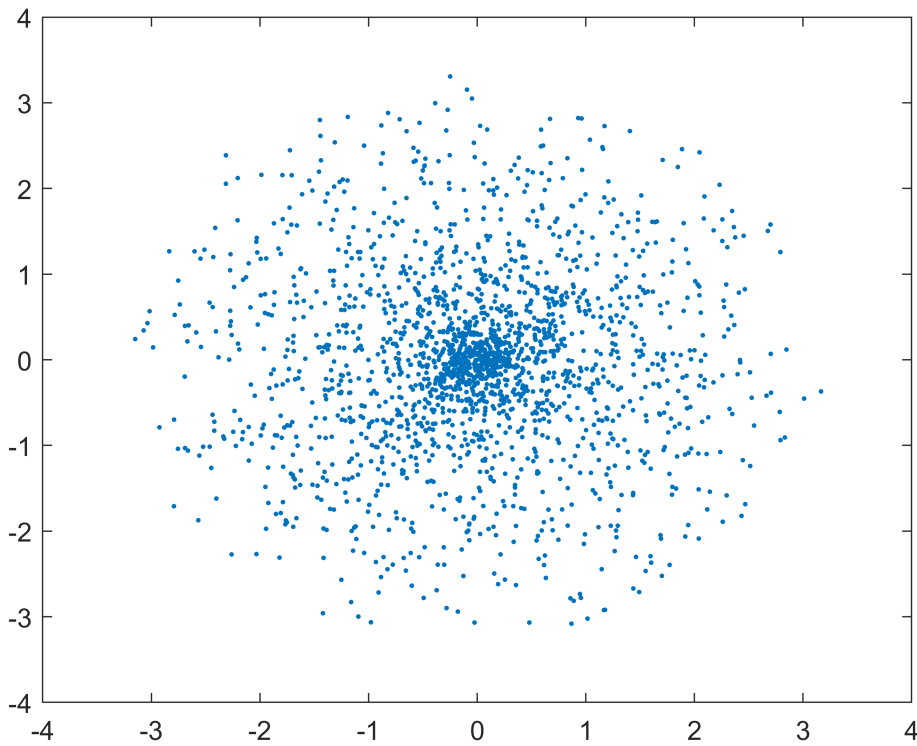
    XLim: [-3.5000 3.5000]
    YLim: [-3.5000 3.5000]
    XScale: 'linear'
    YScale: 'linear'
    GridLineStyle: '-'
    Position: [0.1300 0.1100 0.7750 0.8150]
    Units: 'normalized'
```

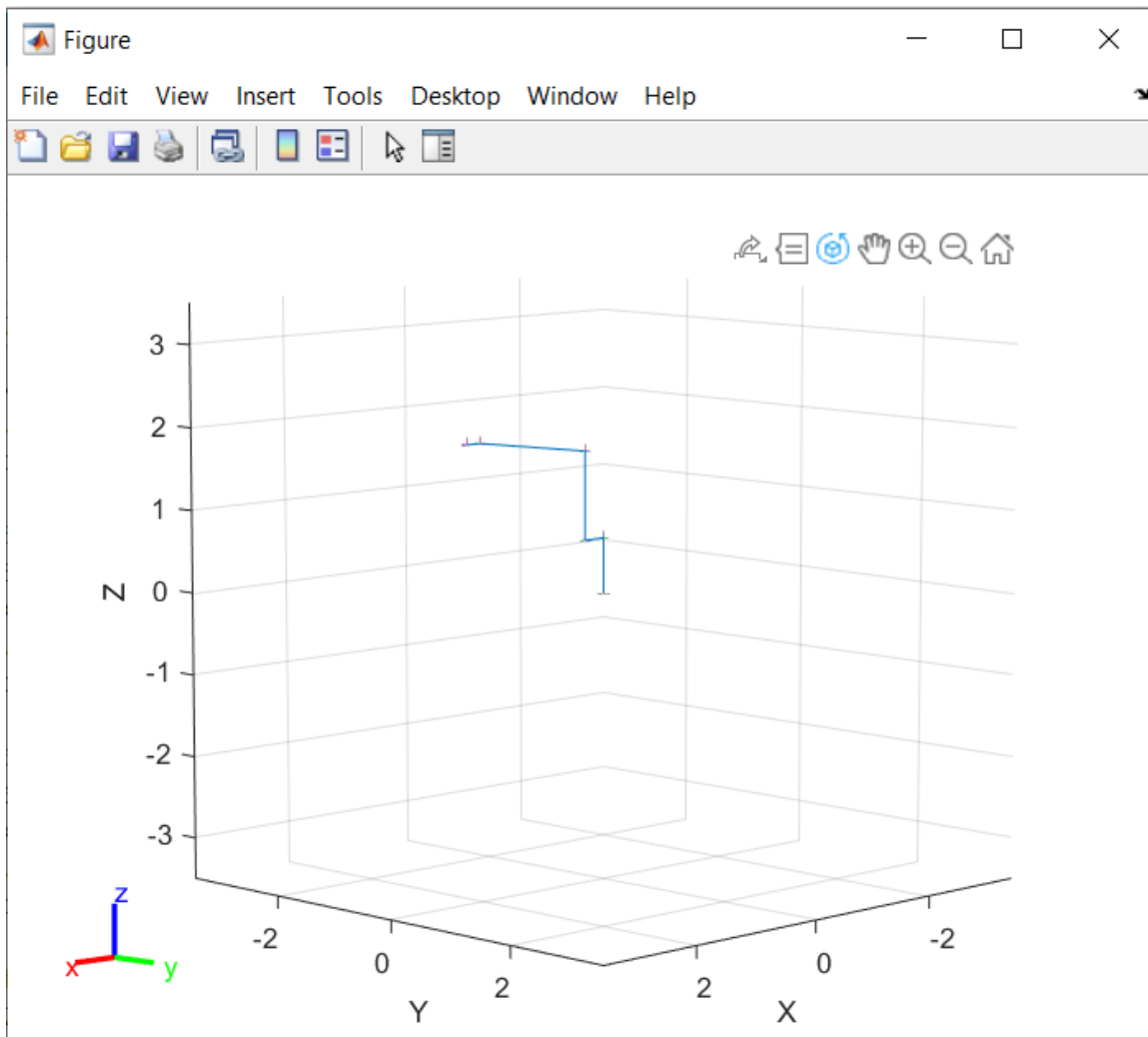
Show all properties

```
figure(6)
plot3(x(:),y(:),z(:),'r')
```



```
figure(7)  
plot(x(:),y(:),'.')
```





Este es el robot obtenido con el RST. Con esta herramienta se pueden ver los SC de cada articulación.

Comparación entre RVC y RST:

Con RVC es muy fácil construir el robot a partir de los parámetros DH utilizando funciones simples como `Link`, `.A` y `SerialLink`. La visualización y el movimiento del robot es fácil utilizando este toolbox. Por otro lado, RST da muchas opciones para construir el robot, se puede hacer a partir de los parámetros DH, las MTH entre los sistemas coordenados o con la traslación y la posición inicial. RST necesita más funciones para construir el robot pues toca crear cada elemento sólido e irlo agregando al cuerpo principal uno por uno. La interacción con el robot usando RST es un poco más compleja pues no muestra tantas cosas como lo hace el RVC.

Para este laboratorio la GUI es la gráfica que se obtiene con la función `.teach` del RVC pues ya tiene sliders para cambiar los ángulos de las articulaciones y muestra el punto en el que está el efector final.