Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Puebla

Implementación de robótica inteligente (Gpo 501)

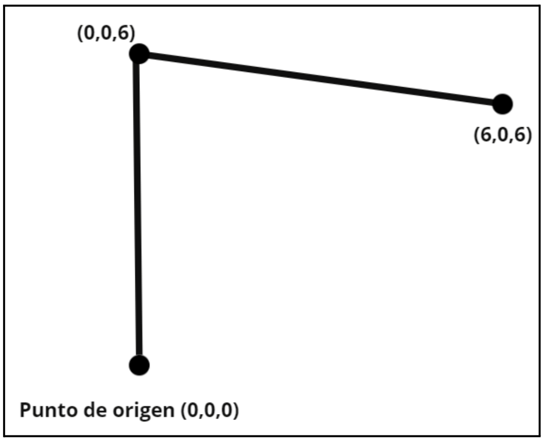
Presentación Final (Cinemática Diferencial de Piernas)

Alumno
José Diego Tomé Guardado A01733345

Fecha de entrega
Viernes 31 de Mayo de 2024

Primer sistema

Primeramente es importante conocer la medida de cada lado para el sistema por lo que yo propuse una estructura parecida a la que tenemos en la imagen propuesta y con las medida que yo plantee como las mejores para observar mejor cada uno de los movimientos del sistema. Tenemos una tipo L invertida dibujada con la medida de cada lado de 6 unidades y que observamos que lo hicimos con la siguiente parte de código donde se ponen las coordenadas de cada punto para que se tracen las líneas.




```
%Coordenadas de la estructura de translación
y rotación
x=[6 0 0];
y=[0 0 0];
z=[6 6 0];
```

1. Ahora continuaremos por expresar las matrices de transformación homogénea para poder observar cómo se va haciendo cada movimiento del sistema dependiendo de lo que se pide en la imagen propuesta. Tenemos primero el punto de origen que como vemos en el esquema anterior comenzará desde (0,0,0).

```
%Calculamos las matrices de transformación homogénea
% ------ Primer sistema --------
H0 =SE3; % Punto de origen
```

2. Despues tenemos el primer movimiento que sera una rotaciòn para que el eje Y este siento el que actue en el sistema por lo que será una rotación de 90 grados positivos en x y a su vez podemos plantear que se hará una traslación en z de 6 unidades para llegar a la esquina de la estructura.

```
H1=SE3(rotx(pi/2),[0 0 6]);%Rotar x 90 grados positivos y traslación en z
```

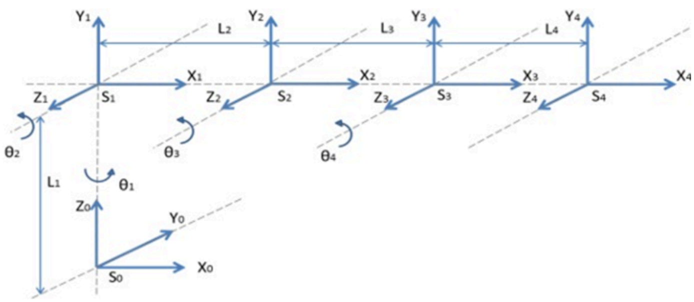
Despues como podemos ver realmente no se hace un gran cambio en las matrices de transformación debido a que son puras traslaciones en x entonces para observar cada traslación, como nuestro largo es de 6 y se hacen 3 traslaciones entonces lo haremos cada 2 unidades y tendremos declarado así:

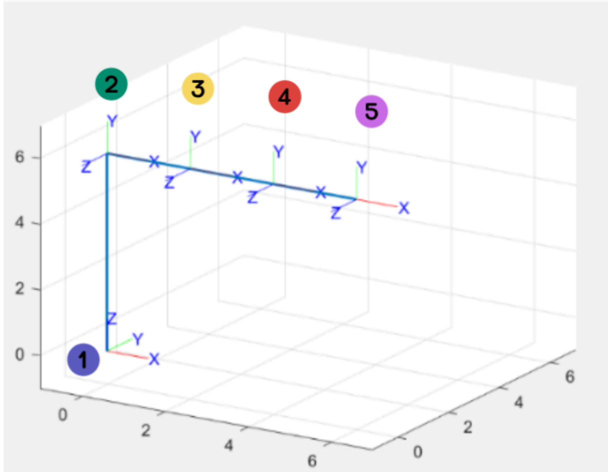
3. Traslación en x de 2 unidades
```
H2=SE3([2 0 0]); % Traslación en x
```

4. Traslación en x de 2 unidades
```
H3=SE3([2 0 0]) % Traslación en x
```

5. Traslación en x de 2 unidades
```
H4=SE3([2 0 0]) % Traslación en x
```

Imagen del sistema propuesto **Ejecución del programa**





Tenemos la ejecución de todo nuestro recorrido para poder observar cómo se fue movimiendo el sistema sobre toda la estructura y finalmente comparar con la imagen propuesta, también cada paso viene numerado para poder ver cómo es que se fue moviendo el sistema y lo que se hizo en cada uno.

Teniendo en cuenta por último la matriz de transformación homogenea donde se compara el primer sistema de coordenadas con el último sistema de coordenadas pudiendo expresar como:

- La primera columna [1, 0, 0] indica que el eje X se mantiene en su dirección original.
- La segunda columna [0, 0, 1] indica que el eje Y ha sido rotado para alinearse con el eje Z original.
- La tercera columna [0, -1, 0] indica que el eje Z ha sido rotado para alinearse con el eje Y original en la dirección negativa.
- El vector de traslación [6, 0, 6] indica que el punto ha sido trasladado 6 unidades en el eje X y 6 unidades en el eje Z.
- El 1 en la esquina inferior es para completar que se hacen transformación homogénea.

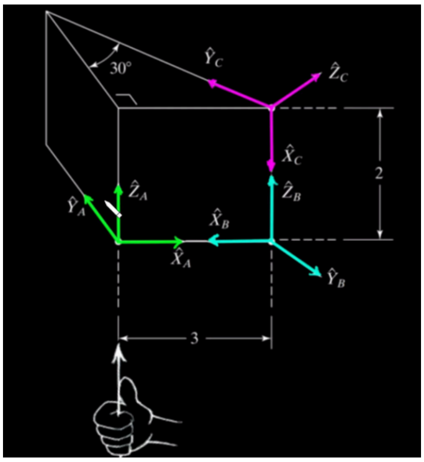
Matriz de transformación homogénea global T

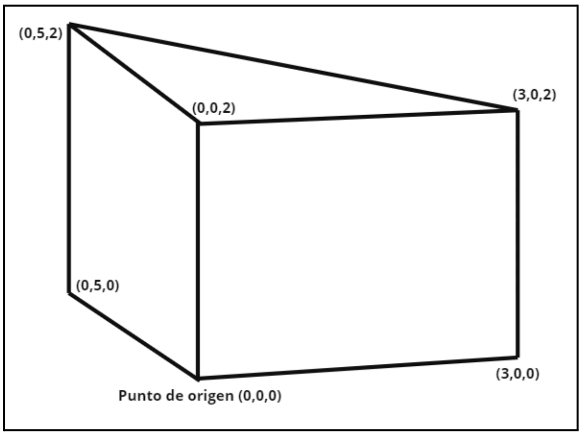
1	0	0	6
0	0	-1	0
0	1	0	6
0	0	0	1

Segundo sistema

Para el segundo sistema se propone un dibujo donde tengamos una piramide dibujada segun la imagen propuesta para comenzar a hacer el recorrido de nuestro sistema alrededor del cuadro. Por ello vamos a declarar la estructura principal:

```
%Coordenadas de la estructura de translación y rotación
x=[0 3 3 0 0 0 0 0 0 3];
y=[0 0 0 0 0 5 5 0 5 0];
z=[0 0 5 5 0 0 5 5 5 5];
```





De esta forma observamos que correctamente se hizo el dibujo como lo podemos ver en la imagen del lado derecho considerando cada uno de los puntos para que el programa hiciera el trazado adecuado de cada línea hasta hacer la figura finalmente. Ahora continuraemos por expresar las matrices de transformación donde hicimos todo el proceso de rotaciones o traslaciones segun sea el caso para llegar al punto final donde el sistema debe de llegar.

1. Primeramente tenemos el punto de origen que está destinado a comenzar en (0,0,0)

```
%Calculamos las matrices de transformación homogénea
H0=SE3; %PUNTO DE ORIGEN
```

2. Posteriormente hacemos una rotación en z de 180 para qué pueda quedar el sistema del otro lado ya que como observamos debe de coincidir del otro lado z conforme a la estructura y también en x pero del otro lado dando un giro completo y a la vez lo trasladamos hacia el otro punto (3,0,0) con una traslación en x.

```
H1=SE3(rotz(pi), [3 0 0]); %Rotacion en z de 180 y traslacion en x
```

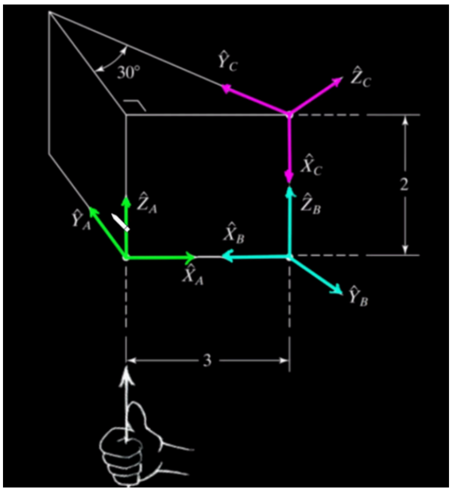
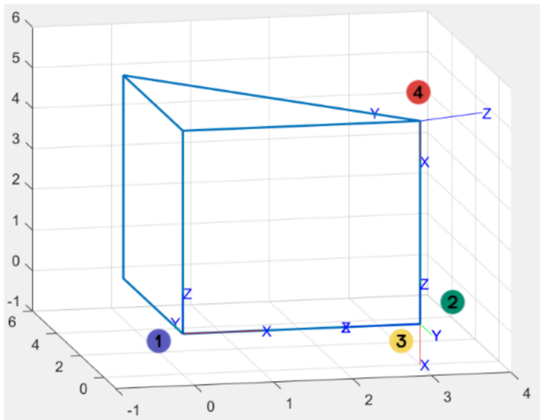
3. Ahora hacemos una rotación de y en 90 grados para poder tener un mejor desempeño del sistema para poder tenerlo de mejor manera de acuerdo a la estructura con x para hacer la traslación en x para el último paso.

```
H2=SE3(roty(pi/2), [0 0 0]); %Rotacion en y de 90 y sin movimiento
```

4. Finalmente hacemos una rotación de x de 150 grados para poder formarlo acorde al sistema y que quede x correspondiente al z del anterior sistema y para y también que quede acorde a la estructura.

```
H3=SE3(rotx(150*pi/180), [-5 0 0]); %Rotacion en x de 150 grados
```

Observamos y comparamos nuestra ejecución del programa con la imagen propuesta donde vemos que correctamente se hizo cada una de las traslaciones y rotaciones con el sistema hasta llegar al punto final donde mostramos un correcto desenlace del sistema quedando todos los ejes de acuerdo a lo qué se indica.

Imagen del sistema propuesto	**Ejecución del programa**
	

Ya por último mostramos la matriz de transformación global donde podemos observar como desde el primer sistema cambio al último sistema expresado como cada uno de los ejes quedó finalmente y también la posición a donde llegó el sistema, de esta manera:

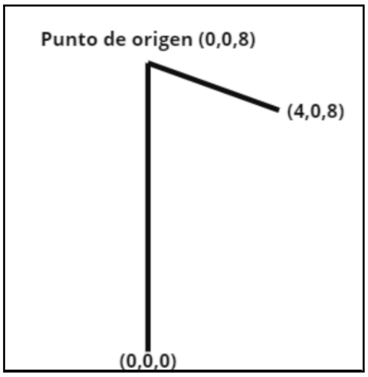
- La primera columna [0, 0, -1] indica la nueva dirección del eje X del sistema de coordenadas 3 en términos del sistema de coordenadas 0.
- La segunda columna [-0.5, 0.866, 0] indica la nueva dirección del eje Y del sistema de coordenadas 3.
- La tercera columna [0.866, 0.5, 0] indica la nueva dirección del eje Z del sistema de coordenadas 3.
- El vector de traslación [3, 0, 5] indica que el punto ha sido trasladado 3 unidades en el eje X y 5 unidades en el eje Z.

Matriz de transformación homogénea global T

0	-0.5	0.866	3
0	0.866	0.5	0
-1	0	0	5
0	0	0	1

Tercer sistema

Utilizamos también la misma metodología donde declaramos los puntos para formar la estructura, por lo que solo consta de 3 puntos donde se puede ver de la siguiente forma expresando cada coordenada:




```
%Coordenadas de la estructura de translación y rotación
x=[4 0 0];
y=[0 0 0];
z=[8 8 0];
```

1. Podemos ver que con esta declaración se hará el dibujo correctamente a lo que tenemos en la imagen y para comenzar debemos de tomar en cuenta que nuestro punto de origen estará en (0,0,8) por lo que será necesario expresarlo en H0.

```
% ------- Operaciones para punto de origen ---------
% Punto de origen primeramente lo posicionamos en el inicio del sistema
% segun la imagen propuesta
H0=SE3([0 0 8]);
```

2. Además continuaremos declarando una variable de rotación donde se tiene una de y en 90 grados y una en x de 90 grados lo qué ayudará a posicionar los ejes correspondientes para poder formar el siguiente sistema correctamente, es necesario volver a poner el punto de origen ya que es donde comienza y además para que no se mueva hacia otro punto.

```
% Seguimos en el punto de origen pero tenemos que hacer una rotación de z
% de -90 grados y una traslación de posición en la coordenada (x,y,z) de
(0,0,8)
% para posicionarlo como la imagen propuesta sin mover el sistema
Rotacion = roty(pi/2)*rotx(pi/2); %Rotacion de y 90 grados junto con
rotacion de 90 grados de x
H1=SE3(Rotacion, [0 0 8]);
```

3. Tenemos ahora en consideración ahora otra rotación pero sin movernos del punto de origen por lo que para moverse ahora si tendremos que tener un cero en todos los ejes y además debemos formar la siguiente rotación de X2,Y2,Z2 por lo que generamos la rotación en x de -90 grados lo qué hace qué x quede conforme a la estructura para poder hacer la traslación.

```
% ------- Traslaciones ---------
H2=SE3(rotx(-pi/2), [0 0 0]); %Rotacion en x de -90 grados sin traslacion
```

4. Hacemos la traslación de x de 4 sin rotar el sistema ya que queda igualmente expresado.

```
H3=SE3([4 0 0]);  %Traslacion de 4 en x
```

5. Hacemos una rotación en z de -90 grados para coincidir con y con la estructura y tener en cuenta que vamos a X4,Y4,Z4 donde expresamos de esta forma el giro para tener a y

conorme a la estructura y hacemos una traslación en x debido a que tomamos en cuenta el sistema anterior para hacer esta traslación de 4 para el punto final de (0,0,0).

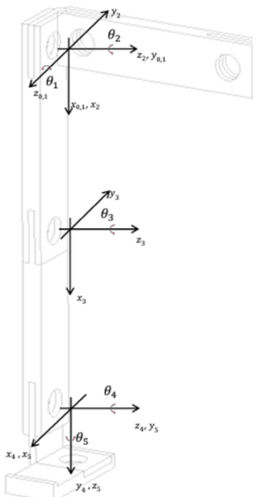
```
H4=SE3(rotz(-pi/2), [4 0 0]); %Rotacion de -90 grados en z y traslacion en x de 4
```

6. Finalmente para X5,Y5,Z4 lo que hacemos es una rotación en x de 90 grados lo que deja la x como ya estaba, y la pone del otro lado y el eje z lo ponemos con respecto al sistema; esto se genera de esta forma ya que queda de forma negativa a lo que se propone en la imagen debido a que tiene esta inconsistencia pero así queda adecuado y correcto.

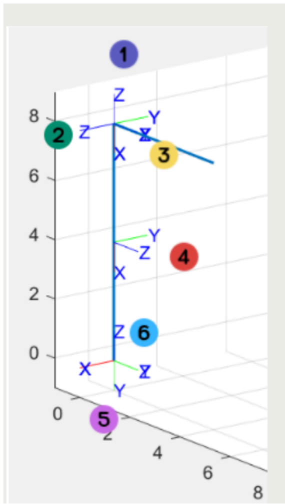
```
H5=SE3(rotx(pi/2), [0 0 0]); %Rotacion de 90 grados en x sin traslacion
```

Observamos que la imagen propuesta si coincide con nuestra ejecución final del programa donde vemos que en cada movimiento rotacional y de traslación el sistema fue moviéndose de forma correcta hasta llegar a la coordenada o punto final.

Imagen del sistema propuesto



Ejecución del programa



Ahora mostramos la matriz de transformación global donde vemos como desde el primer sistema llegó al último sistema, haciendo esta comparación entre el sistema inicial con el final para tenerun mejor entendimiento de la orientación de cada eje.

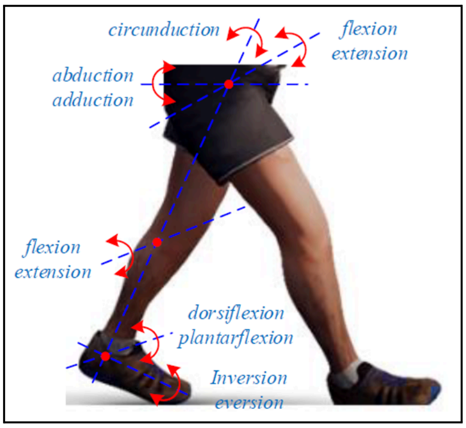
- La primera columna [0, -1, 0] indica que el eje X ha sido rotado para alinearse con el eje Y en la dirección negativa.
- La segunda columna [1, 0, 0] indica que el eje Y ha sido rotado para alinearse con el eje Z original.
- La tercera columna [0, 0, 1] indica que el eje Z se encuentra en la misma posición.
- El vector de traslación [0, 0, 0] el punto ha sido trasladado hacia el punto final.

Matriz de transformación homogénea global T

0	1	0	0
-1	0	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

Análisis de cinemática diferencial para sistema de pierna

Para el último sistema vamos a poder definir el movimiento de una pierna por lo que primero es importante dibujar la estructura de nuestra pierna, donde tendremos qué tomar importancia en que seran 3 puntos para formar cada coordenada y cada línea pero haciendo las lineas diagonales para poder observar de mejor formar los movimientos rotacionales y traslacionales. Así qué vamos a dibujarlo de la siguiente manera con las coordenadas para cada uno de los puntos:




```
%Coordenadas de la estructura de translación y
rotación
x=[ 2  0  3];
y=[ 2  2  2];
z=[-2  0  7];
```

1. Ahora vamos a continuar por la definicion de cada una de las rotaciones y traslaciones para poder formar y expresar cada una de las articulaciones, primeramente tendremos nuestro punto de origen que comienza desde arriba en (3,2,7) para expresarlo adecuadamente.

```
%------- PUNTO ORIGEN ---------------
%Declaramos el punto de origen inicial del sistema tomando en cuenta
% que comenzara desde aquí hasta el punto final de (2,2,-2)
H0=SE3([3 2 7]);%PUNTO DE ORIGEN
```

2. Continuando ahora con las rotaciones para acomodarlo de buena forma tenemos la rotacion en y de -180 grados, -90 grados en z y -22.5 en x para poder formar de manera adecuada todo y quedar de acorde a X1,Y1,Z1.

```
% ROTACION PARA ACOMODAR HACIA X0,Y0,Z0 --- X1,Y1,Z1
%Seguimos en el punto de origen y hacemos una rotacion para los tres ejes
% para poder acomodar correctamente al inicio del sistema
%rotacion en y de -180 grados
%rotacion en z de -90 grados
%rotacion en x de -22.5 grados
H1=SE3(roty(-pi)*rotz(-pi/2)*rotx(-pi/8), [3 2 7]);
```

3. Por consiguiente vamos a hacer una rotacion de x de -60 grados y también una rotacion de y de 90 grados sin hacer traslaciones teniendo conforme al sistema de X2,Y2,Z2.

```
% X2,Y2,Z2
% Hacemos una rotacion de x de -60 grados junto con una rotacion de y de 90
% grados sin hacer traslaciones
H2=SE3(rotx(-pi/3)*roty(pi/2), [0 0 0]);
```

4. Ahora para lo siguiente de X3,Y3,Z3 tenemos una rotacion de z de -120.8 grados donde podemos ajustar el sistema y sobre todo al eje inclinado para poder hacer la traslación adecuadamente en el siguiente paso y tambien indicamos una rotacion en x de 90 grados para poder hacer de mejor forma y que quede de mejor forma para hacer la traslacion teniendo a x conforme a la estructura.

```
% X3,Y3,Z3
% Rotar en z -120.8 grados para podernos ajustar al sistema y sobre todo al
% eje inclinado de la estructura y una rotacion de 90 grados en x para
% confirmar y llegar al sistema de X3,Y3,Z3 que el eje x coincide con la
% estructura para hacer la traslacion en el siguiente paso
H3=SE3(rotz(-151/225*pi), [0 0 0]);
```

5. Se hace la rotación de x en 90 grados para ajustar de mejor manera el sistema de coordenadas donde quedé conforme a la imagen propuesta.

```
H4=SE3(rotx(pi/2), [0 0 0]);
```

6. Hacemos la traslación en x de tres unidades para mejorar la manera en que se mueve el sistema y adecuadamente se realiza para llegar a la mitad del sistema que es la rodilla de nuestra pierna.

```
% X4,Y4,Z4
%Traslacion en x de tres unidades
H5=SE3([3 0 0]);
```

7. Tenemos ahora para X5,Y5,Z5, donde declaramos una nueva rotacion para hacer rotacion de z en 90 grados y rotacion de y en 90 grados y a eso añadimos la rotacion de -23/180pi para acomodarlo al sistema correctamente junto con una traslacion de 4.588 para llegar al talon de la pierna coordenada (0,2,0)

```
rotarz= rotz(-23/180*pi);
H6=SE3((rotz(pi/2)*roty(pi/2))*rotarz, [4.588 0 0]);
```

8. Para X6,Y6,Z6 hacemos una rotacion de z de 90 grados y una rotacion en x de 90 grados sin traslaciones, nos mantenemos en el mismo punto

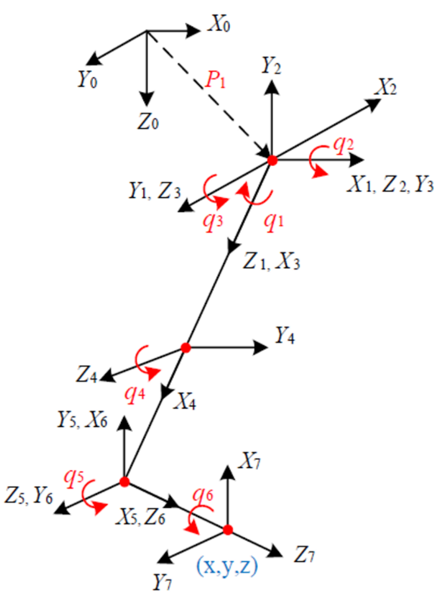
```
H7=SE3(rotz(pi/2)*rotx(pi/2), [0 0 0]);
```

9. Finalmente para X7,Y7,Z7 hacemos una traslacion en z de esa unidad con ayuda del teorema de pitagoras, podemos sacar la hipotenusa que es la línea inclinada hacia la coordenada final de (2,2,-2)

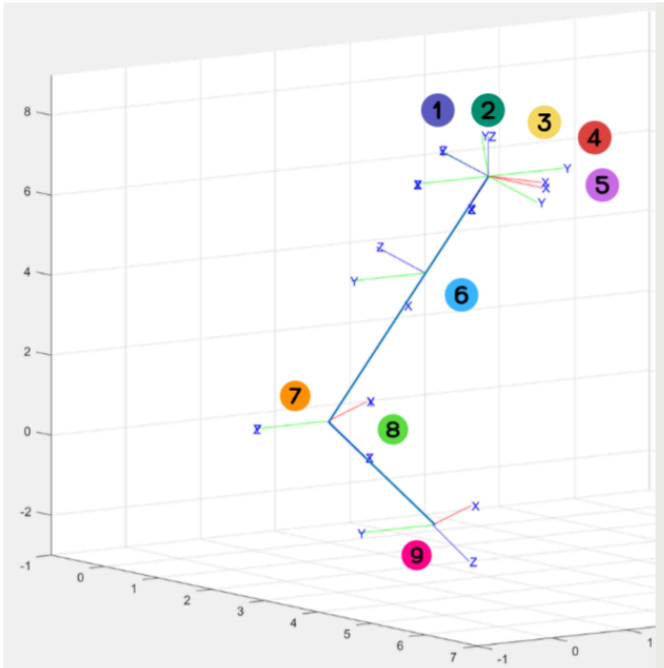
```
H8=SE3([0 0 2.8284]);
```

Podemos observar que nuestro sistema para la pierna quedó expresado de la mejor manera donde está de acuerdo a la imagen propuesta y observamos un gran desempeño de cada rotacion y traslación haciendo que cada articulacion se vea marcada desde el muslo, rodilla, talon y el empeine.

Imagen del sistema propuesto



Ejecución del programa



Finalmente tenemos la matriz de transformación homógena global donde se transforma desde el primer sistema de coordenadas hasta el último indicando como cambio cada uno de los ejes x,y,z para poder formar correctamente todo el sistema hasta el punto final.

- En la primera columna, los valores son 0.723, 0 y 0.6909. Esto sugiere una rotación y traslación en la dirección x.
- En la segunda columna, los valores son 0, -1, 0, lo que indica una rotación y traslación en la dirección y.
- En la tercera columna, los valores son 0.6909, 0, -0.723, lo que sugiere una rotación y traslación en la dirección z.
- El último valor de la primera columna de 1.953, de la segunda columna de 2, y de la tercera columna de -2.014 representan las traslaciones en las direcciones x, y, z.

```
Matriz de transformación homogénea global T
     0.723           0      0.6909       1.953
         0          -1           0           2
    0.6909           0      -0.723      -2.014
         0           0           0           1
```

Análisis del sistema

Tenemos la declaración de las variables simbólicas como cada q qué tenemos expresada desde el rotamiento de q1,q2,q3,q4,q5 y q6 donde podemos ver cada uno de estos actua sobre todo el sistema de la pierna, además también de tener las longitudes que expresa este momento de traslación que se tendrá.

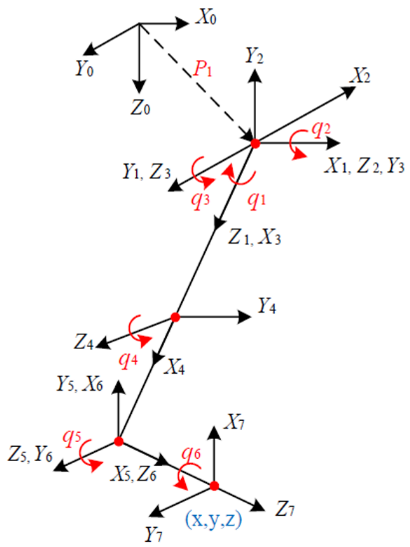
```
% Declaración de variables simbólicas
syms th1(t) th2(t) th3(t) a1 l1 t % esferica
syms th4(t) a2 l2 % rotacional
syms th5(t) a3 l3
syms th6(t) a4 l4 % semi esferica
% Configuración del robot, 0 para junta rotacional, 1 para junta prismática
RP = [0 0 0];
% Creamos el vector de coordenadas articulares
Q = [th1, th4, th5, th6];
% Creamos el vector de velocidades generalizadas
Qp = diff(Q, t);
% Número de grado de libertad del robot
GDL = size(RP, 2);
```

Por consiguiente tenemos la definicion de nuestras funciones de rotacion las cuales van a indicar las matrices para x,y,z pero para cada una de las q especificas donde tenemos estos movimientos rotacionales que nos ayudarán de mejor forma a expresar lo qué necesitamos para cada articulacion.

Análisis del movimiento del sistema por articulaciones

Para el tema de expresar cada articulacion gracias al diagrama podemos darnos cuenta qué para la primera tomaremos en cuenta que para la posicion se toma que en z está actuando la l1 por lo que la ponemos de esa forma y además también indicamos que se va a tener una rotacion en Z,X,Y donde consideramos estas rotaciones ya qué vemos qué se trata de una junta esférica, hacemos igual una rotacion de -90 grados en x para pasar a X2,Y2,Z2 y por ultimo una rotacion de z de -90 grados para finalmente llegar a X3,Y3,Z3.

```
% Articulación 1 (esférica: tres ángulos) ------------
MUSLO
R1_rotax = [1      0              0;
            0 cos(th1) -sin(th1);
            0 sin(th1) cos(th1)];
R2_rotay = [cos(th2)    0  sin(th2);
        0            1          0;
        -sin(th2)  0  cos(th2)];
R3_rotaz = [cos(th3)  -sin(th3)  0;
        sin(th3)   cos(th3)  0;
        0             0        1];
R(:,:,1) = R3_rotaz.* R2_rotay.*
R1_rotax.*(R1_rotax*(-pi/2)).*(R3_rotaz(-pi/2));
P(:,:,1) = [0; 0; l1];
```



Para la articulación 2 tenemos una junta rotacional la cual consideramos como primeramente la posicion ponemos de l2 para x debido a que observamos el diagrama de la derecha que x está conforme a la estructura y es por ello que lo ponemos así y marcamos la rotación que se ve de z en th4 y una rotacion en z de -90 grados para llegar al sistema X5,Y5,Z5.

```
% Articulación 2 (rotacional: un ángulo) ------------ RODILLA
R4_rotaz = [cos(th4) -sin(th4) 0;
       sin(th4) cos(th4) 0;
       0 0 1];
R(:,:,2) = R4_rotaz.*(R4_rotaz*(-pi/2));
P(:,:,2) = [l2; 0; 0];
```

Para la articulación 3 ya tendremos un ángulo propuesto debido a que observando el sistema debemos considerar la rotacion de th5 que es q5 y vemos que la rotacion es en x por eso lo declaramos así qué debemos rotar z en 90 grados para poder llegar a X6,Y6,Z6 y también expresar la posición de l3 que está conforme a la estructura anterior en x.

```
% Articulación 3 ------------ TALON
R5_rotaz = [cos(th5) -sin(th5) 0;
           sin(th5) cos(th5) 0;
                             0 0 1];
R(:,:,3) = R5_rotaz.* (R5_rotaz*(pi/2));
P(:,:,3) = [l3; 0; 0];
```

Finalmente tenemos la articulación 4 denominada como el empeine que solo tendre una rotacion en z expresada pero sin ángulos ni nada por que ya no hay un sistema de coordenada más finalmente queda de esta forma y tenemos una posición de l4 para z que es finalmente desde donde se movio anteriormente.

```
% Articulación 4 ---------------- empeine
R4_rotaz = [cos(th6) -sin(th6) 0;
           sin(th6) cos(th6) 0;
                             0 0 1];
P(:,:,4) = [0; 0; l4];
R(:,:,4) = R4_rotaz;
```

Los resultados obtenidos en los jacobianos lineal y angular y en las velocidades angulares y lineales se muestran en la presentación debido a que esa fue la que se mostró y donde se ven todas las ejecuciones del programa.