```
% LIMPIEZA DE PANTALLA
clear all
close all
clc

% ================================
% DEFINICIÓN DE VARIABLES SIMBÓLICAS
% ================================
syms theta1 theta2 real
syms L1 L2 real

% ================================
% MATRICES HOMOGÉNEAS SIMBÓLICAS H1, H2
% ================================
Rt = @(R, t) [R, t; 0 0 0 1];

% Matriz H1: Rz(theta1) + Tx(L1)   (Sistema A → B)
Rz1 = [cos(theta1), -sin(theta1), 0;
       sin(theta1),  cos(theta1), 0;
       0           ,  0          , 1];
H1 = Rt(Rz1, [L1; 0; 0]);

% Matriz H2: Rx(theta2) + Tz(L2)   (Sistema B → C)
Rx2 = [1, 0, 0;
       0, cos(theta2), -sin(theta2);
       0, sin(theta2),  cos(theta2)];
H2 = Rt(Rx2, [0; 0; L2]);

% ================================
% MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN GLOBAL SIMBÓLICA T
% ================================
T = simplify(H1 * H2);

disp('==============================')
```

```
==============================
```

```
disp('Matrices homogéneas simbólicas H1, H2:')
```

```
Matrices homogéneas simbólicas H1, H2:
```

```
disp('H1 ='), disp(H1)
```

H1 =

$$\begin{pmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & L_1 \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

```
disp('H2 ='), disp(H2)
```

```
H2 =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 \\ 0 & \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & L_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

```
disp('==============================')
```

```
==============================
```

```
disp('Matriz de transformación homogénea global T =')
```

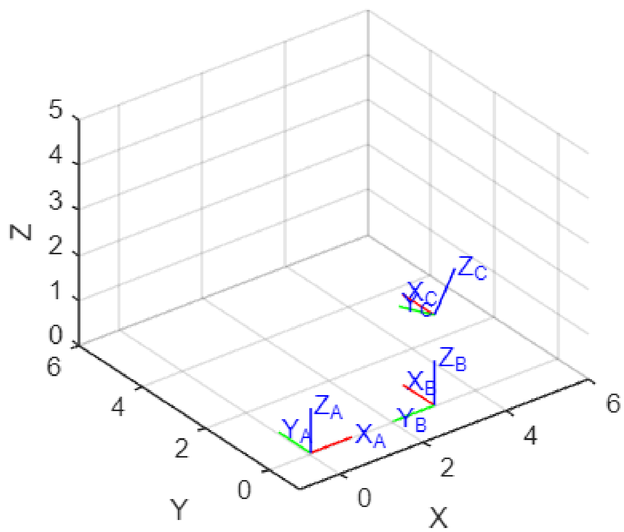
```
Matriz de transformación homogénea global T =
```

```
disp(T)
```

$$\begin{pmatrix} \cos(\theta_1) & -\cos(\theta_2)\sin(\theta_1) & \sin(\theta_1)\sin(\theta_2) & L_1 \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1)\cos(\theta_2) & -\cos(\theta_1)\sin(\theta_2) & 0 \\ 0 & \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & L_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

```
% ================================
% SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LAS TRAMAS
% ================================
theta1_val = pi/2;   % 90°
theta2_val = pi/6;   % 30°
L1_val = 3;
L2_val = 2;

H1n = double(subs(H1, [theta1, L1], [theta1_val, L1_val]));
H2n = double(subs(H2, [theta2, L2], [theta2_val, L2_val]));

% Tramas
H0 = eye(4);
H0_1 = H1n;
H1_2 = H0_1 * H2n;

% ================================
% VISUALIZACIÓN DE LAS TRAMAS
% ================================
figure
axis equal
view(3)
grid on
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')
```

```
axis([-1 6 -1 6 0 5])
hold on

trplot(H0, 'frame', 'A', 'rgb', 'length', 1)
trplot(H0_1, 'frame', 'B', 'rgb', 'length', 1)
trplot(H1_2, 'frame', 'C', 'rgb', 'length', 1)
```




```
% ================================
% CINEMÁTICA DIFERENCIAL SIMBÓLICA
% ================================
syms t
syms theta1(t) theta2(t)

% Matriz simbólica H1(t)
Rz1t = [cos(theta1(t)), -sin(theta1(t)), 0;
        sin(theta1(t)),  cos(theta1(t)), 0;
        0             ,  0             , 1];
H1t = Rt(Rz1t, [L1; 0; 0]);

% Matriz simbólica H2(t)
Rx2t = [1, 0, 0;
         0, cos(theta2(t)), -sin(theta2(t));
         0, sin(theta2(t)),  cos(theta2(t))];
H2t = Rt(Rx2t, [0; 0; L2]);

% Transformación total dependiente del tiempo
Tt = simplify(H1t * H2t);

% Velocidad lineal
pt = Tt(1:3,4);
v = simplify(diff(pt, t));
```

```
% Velocidad angular (skew-symmetric matrix)
Rt3 = Tt(1:3,1:3);
R_dot = simplify(diff(Rt3, t));
w_skew = simplify(R_dot * Rt3.');

% Extraer vector w
wx = (w_skew(3,2) - w_skew(2,3))/2;
wy = (w_skew(1,3) - w_skew(3,1))/2;
wz = (w_skew(2,1) - w_skew(1,2))/2;
w = simplify([wx; wy; wz]);

% ================================
% RESULTADOS COMPLETOS
% ================================
disp('==============================')
```

```
==============================
```

```
disp('Matriz simbólica dependiente del tiempo Tt =')
```

```
Matriz simbólica dependiente del tiempo Tt =
```

```
disp(Tt)
```

$$\begin{pmatrix} \cos(\theta_1(t)) & -\cos(\theta_2(t))\sin(\theta_1(t)) & \sin(\theta_1(t))\sin(\theta_2(t)) & L_1 \\ \sin(\theta_1(t)) & \cos(\theta_1(t))\cos(\theta_2(t)) & -\cos(\theta_1(t))\sin(\theta_2(t)) & 0 \\ 0 & \sin(\theta_2(t)) & \cos(\theta_2(t)) & L_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

```
disp('==============================')
```

```
==============================
```

```
disp('Vector de velocidad lineal v =')
```

```
Vector de velocidad lineal v =
```

```
disp(v)
```

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

```
disp('==============================')
```

```
==============================
```

```
disp('Matriz antisimétrica de velocidad angular w_skew =')
```

```
Matriz antisimétrica de velocidad angular w_skew =
```

```
disp(w_skew)
```

$$\begin{pmatrix} 0 & -\frac{\partial}{\partial t}\,\theta_1(t) & \sin(\theta_1(t))\,\frac{\partial}{\partial t}\,\theta_2(t) \\ \frac{\partial}{\partial t}\,\theta_1(t) & 0 & -\cos(\theta_1(t))\,\frac{\partial}{\partial t}\,\theta_2(t) \\ -\sin(\theta_1(t))\,\frac{\partial}{\partial t}\,\theta_2(t) & \cos(\theta_1(t))\,\frac{\partial}{\partial t}\,\theta_2(t) & 0 \end{pmatrix}$$

```
disp('==============================')
```

```
==============================
```

```
disp('Vector de velocidad angular w =')
```

```
Vector de velocidad angular w =
```

```
disp(w)
```

$$\begin{pmatrix} \cos(\theta_1(t))\,\frac{\partial}{\partial t}\,\theta_2(t) \\ \sin(\theta_1(t))\,\frac{\partial}{\partial t}\,\theta_2(t) \\ \frac{\partial}{\partial t}\,\theta_1(t) \end{pmatrix}$$

```
%{
==============================
DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS
==============================

Cinemática Directa:
Se construyen dos matrices de transformación homogénea: H1 representa una rotación
alrededor del eje Z seguida de una traslación en X; H2 representa una rotación
alrededor del eje X seguida de una traslación en Z. Al multiplicarlas (T = H1 *
H2), se obtiene la transformación global del sistema A al sistema C. Esta matriz
permite conocer la posición y orientación del sistema final respecto al inicial, en
función de las variables articulares y longitudes.

Cinemática Diferencial:
Para obtener las velocidades, se redefinen las matrices como funciones del tiempo.
A partir de la matriz total T(t), se calcula:
- La velocidad lineal **v**, mediante la derivada temporal de la posición del
efector (columna 4 de T).
- La velocidad angular **w**, a partir de la derivada de la matriz de rotación y su
producto con la transpuesta de la misma, extrayendo los componentes angulares del
tensor antisimétrico w_skew.
```

```
Los resultados obtenidos ofrecen una descripción completa del movimiento del
sistema en términos de velocidades lineales y angulares, lo cual es esencial para
tareas de análisis dinámico o control en tiempo real.
%}
```