UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecatrónica

ROBÓTICA

Proyecto Final - Robot Hexapodo

Profesor: Erik Peña Medina

Integrantes:

- Capulín Ornelas Arturo Misael
- Hernández Hernández Danae Monserrat
- Hernández Romero Naomi Estefanía
- Jiménez Díaz César David
- Vargas Gutiérrez Kevin

Ciudad de México, 08 de diciembre de 2023

Modelado de la pata del hexapodo en el espacio

Método de transformaciones homógeneas

El método de transformaciones homógeneas consiste en describir las relaciones de posición y orientación entre cada uno de los elementos que conforman la estructura mecánica de un robot, para describir dichas relaciones se establece una matriz la cual contiene las relaciones entre las translaciones sobre cada uno de los ejes y las rotaciones sobre cada uno de los ejes. En la Figura (3), se presentan las relaciones que describen las translaciones para describir a posición del orienten de un sistema $\{j\}$ con respecto el origende un sistema anterior $\{i\}$.

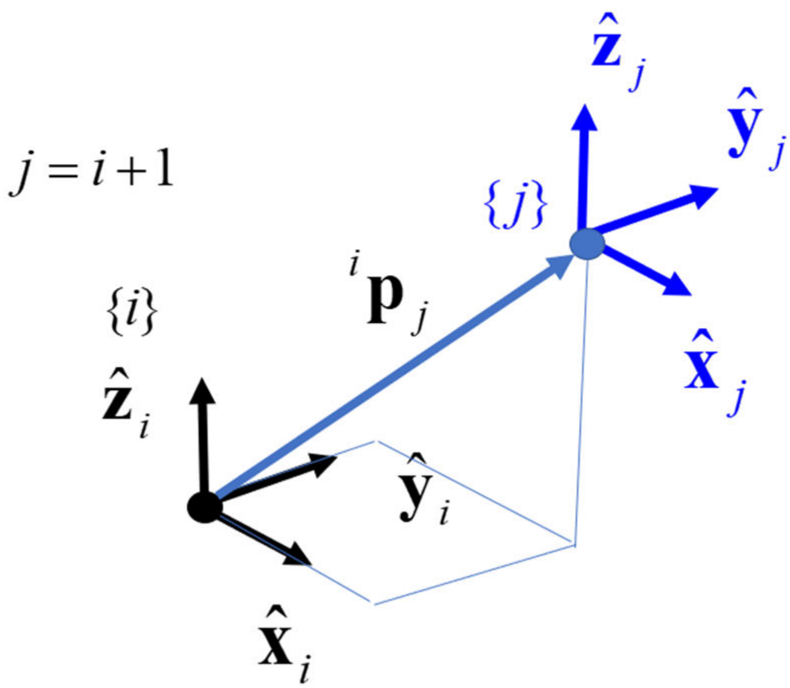

Figura 3. Planteamiento de la descripción de la posción del sistema $\{j\}$ con respecto a un sistema $\{i\}$.

La posición del sistema $\{j\}$ con respecto al sistema $\{i\}$, se compone de tres transformaciones que describen las translaciones sobre cada uno de los ejes coordenadas del sistema $\{i\}$.

$$
{}^{i}\mathbf{T}_{j_x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & {}^{i}x_j \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
$$

$$
{}^{i}\mathbf{T}_{j_y} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & {}^{i}y_j \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
$$

$$
{}^{i}\mathbf{T}_{j_z} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & {}^{i}z_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
$$

Las posición del sistema $\{j\}$ con respecto al sistema $\{i\}$ se describe mediante la combinación de las transformaciones anteriores, conformando la transformación ${}^{i}\mathbf{T}_{j_{xyz}}$:

$$
{}^{i}\mathbf{T}_{j_{xyz}} = {}^{i}\mathbf{T}_{j_x}\,{}^{i}\mathbf{T}_{j_j}\,{}^{i}\mathbf{T}_{j_z} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & {}^{i}x_j \\ 0 & 1 & 0 & {}^{i}y_j \\ 0 & 0 & 1 & {}^{i}z_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
$$

La orientación del sistema de referencia se establece mediante la combinación de matrices que contiene las relaciones de orientación con respecto a cada uno de los ejes del sistema $\{i\}$.

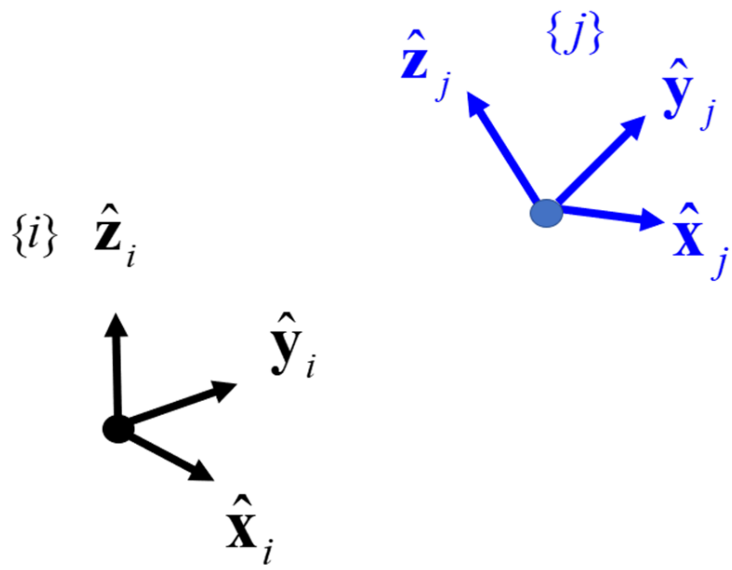

Figura 4. Planteamiento de la descripción de la orientación del sistema $\{j\}$ con respecto a un sistema $\{i\}$.

Las relaciones que describen la orientación al eje $\hat{\mathbf{x}}_i$ (Figura 5) se establece mediante la transformación ${}^{i}\mathbf{T}_{j_\gamma}$

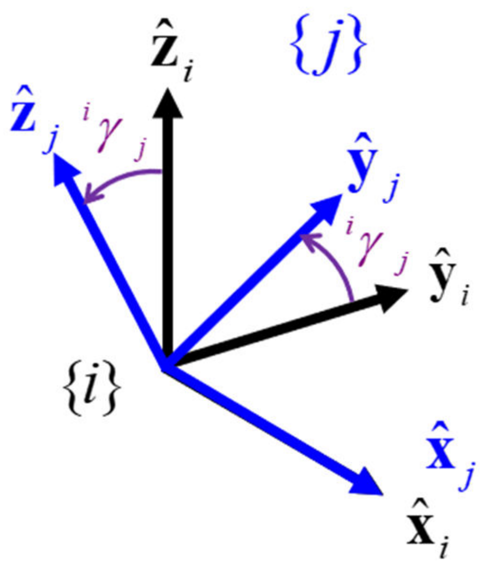

Figura 5. Planteamiento de la descripción de la orientación del sistema $\{j\}$ con respecto a un sistema $\{i\}$ con respecto al eje $\hat{\mathbf{x}}_i$.

$$
{}^{i}\mathbf{T}_{j_\gamma} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left({}^{i}\gamma_j\right) & -\sin\left({}^{i}\gamma_j\right) & 0 \\ 0 & \sin({}^{i}\gamma_j & \cos({}^{i}\gamma_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
$$

Las relaciones que describen la orientación al eje $\hat{\mathbf{y}}_i$ (Figura 6) se establece mediante la transformación ${}^{i}\mathbf{T}_{j_\beta}$.

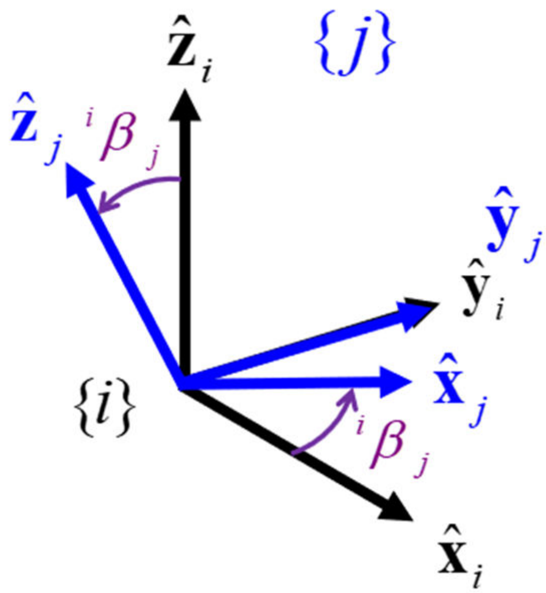

Figura 6. Planteamiento de la descripción de la orientación del sistema $\{j\}$ con respecto a un sistema $\{i\}$ con respecto al eje $\hat{\mathbf{y}}_i$.

$$
{}^{i}\mathbf{T}_{j_\beta} = \begin{pmatrix} \cos\left({}^{i}\beta_j\right) & 0 & \sin\left({}^{i}\beta_j\right) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\left({}^{i}\beta_j\right) & 0 & \cos\left({}^{i}\beta_j\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
$$

Las relaciones que describen la orientación al eje $\hat{\mathbf{z}}_i$ (Figura 7) se establece mediante la transformación ${}^{i}\mathbf{T}_{j_\alpha}$.

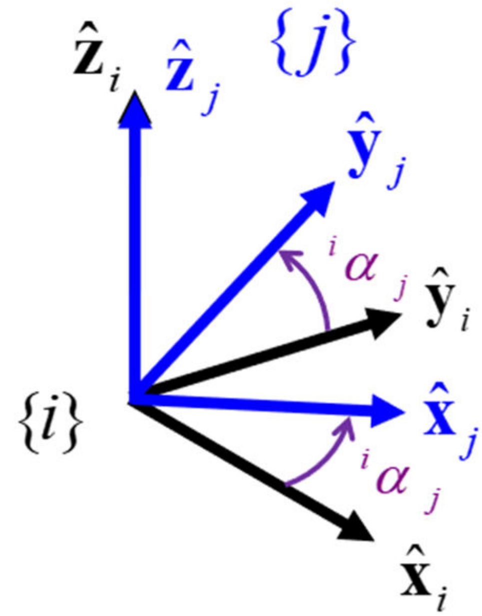

Figura 7. Planteamiento de la descripción de la orientación del sistema $\{j\}$ con respecto a un sistema $\{i\}$ con respecto al eje $\hat{\mathbf{z}}_i$.

$$
{}^i\mathbf{T}_{j_\alpha} = \begin{pmatrix} \cos\left({}^i\alpha_j\right) & -\sin\left({}^i\alpha_j\right) & 0 & 0 \\ \sin\left({}^i\alpha_j\right) & \cos\left({}^i\alpha_j\right) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
$$

$$
{}^i\mathbf{T}_{j_{\alpha\beta\gamma}} = {}^i\mathbf{T}_{j_\alpha}{}^i\mathbf{T}_{R_{j_\beta}}{}^i\mathbf{T}_{R_{j_\gamma}} = \begin{pmatrix} \cos({}^i\alpha_j)\cos({}^i\beta_j) & \cos({}^i\alpha_j)\sin({}^i\beta_j)\sin({}^i\gamma_j) - \sin({}^i\alpha_j)\cos({}^i\gamma_j) & \sin({}^i\alpha_j)\sin({}^i\gamma_j) + \cos({}^i\alpha_j)\sin({}^i\beta_j)\cos({}^i\gamma_j) & 0 \\ \sin({}^i\alpha_j)\cos({}^i\beta_j) & \cos({}^i\alpha_j)\cos({}^i\gamma_j) + \sin({}^i\alpha_j)\sin({}^i\beta_j)\sin({}^i\gamma_j) & \sin({}^i\alpha_j)\sin({}^i\beta_j)\cos({}^i\gamma_j) - \cos({}^i\alpha_j)\sin({}^i\gamma_j) & 0 \\ -\sin({}^i\beta_j) & \cos({}^i\beta_j)\sin({}^i\gamma_j) & \cos({}^i\beta_j)\sin({}^i\gamma_j) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
$$

Para conformar la transformación que describre las relaciones de posición y orientación entre dos sistemas de referencias se establece la transformación ${}^i\mathbf{T}_j$:

$$
{}^{i}\mathbf{T}_{j} = {}^{i}\mathbf{T}_{R_{j_{xyz}}}\,{}^{i}\mathbf{T}_{j_{\alpha\beta\gamma}} = \begin{pmatrix} \cos({}^{i}\alpha_j)\cos({}^{i}\beta_j) & \cos({}^{i}\alpha_j)\sin({}^{i}\beta_j)\sin({}^{i}\gamma_j) - \sin({}^{i}\alpha_j)\cos({}^{i}\gamma_j) & \sin({}^{i}\alpha_j)\sin({}^{i}\gamma_j) + \cos({}^{i}\alpha_j)\sin({}^{i}\beta_j)\cos({}^{i}\gamma_j) & {}^{i}x_j \\ \sin({}^{i}\alpha_j)\cos({}^{i}\beta_j) & \cos({}^{i}\alpha_j)\cos({}^{i}\gamma_j) + \sin({}^{i}\alpha_j)\sin({}^{i}\beta_j)\sin({}^{i}\gamma_j) & \sin({}^{i}\alpha_j)\sin({}^{i}\beta_j)\cos({}^{i}\gamma_j) - \cos({}^{i}\alpha_j)\sin({}^{i}\gamma_j) & {}^{i}y_j \\ -\sin({}^{i}\beta_j) & \cos({}^{i}\beta_j)\sin({}^{i}\gamma_j) & \cos({}^{i}\beta_j)\sin({}^{i}\gamma_j) & {}^{i}z_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
$$

Para mostrar como se emplean las transformaciones homógeneas se plantea el ejemplo en el cual se obtiene el modelo matemático de la postura de un robot PUMA 560.

Planteamiento del modelo de la postura por el método de transformaciones homógenas

Para establecer el modelo cinemático de la postura de la pata del hexapodo es necesario definir una postura de "Home" en la cual el robot comezará a operar de forma segura, además de la cual se establecerán las ecuaciones que describan al robot. Ya definida la postura de "Home", se debe de seguir los siguientes pasos para establecer el modelo matemático que describa la postura de un robot en función de sus variables de postura:

1. Determinar el sistema inercial.
2. Encontrar los ejes de acción de los actuadores.
3. Sobre los ejes de actuación establecer los sistema de referencias que rescriban las relaciones de movimiento entre una junta y un eslabón.
4. Establecer los parámetros y las variables de posición y orientación entre los sistemas de referencia de cada eslabón hasta llegar el sistema {P}.
5. Colocar los parámetros en la tabla de configuración y de variables.
6. Calcular la ecuación del modelo cinemático de la postura.

1.Determinación del sistema inercial

Para establecer un sistema el modelo un robot es necesario establecer un sistema de referencia por el cual se estableceran las relaciones posición y orientación del efector final de un robot, para este caso se establecerá un sistema inercial el cual permanecerá fijo y se establecerá como el sistema $\{0\}$ y un sistema de referencia relativo $\{P\}$ asociado al EF del robot.

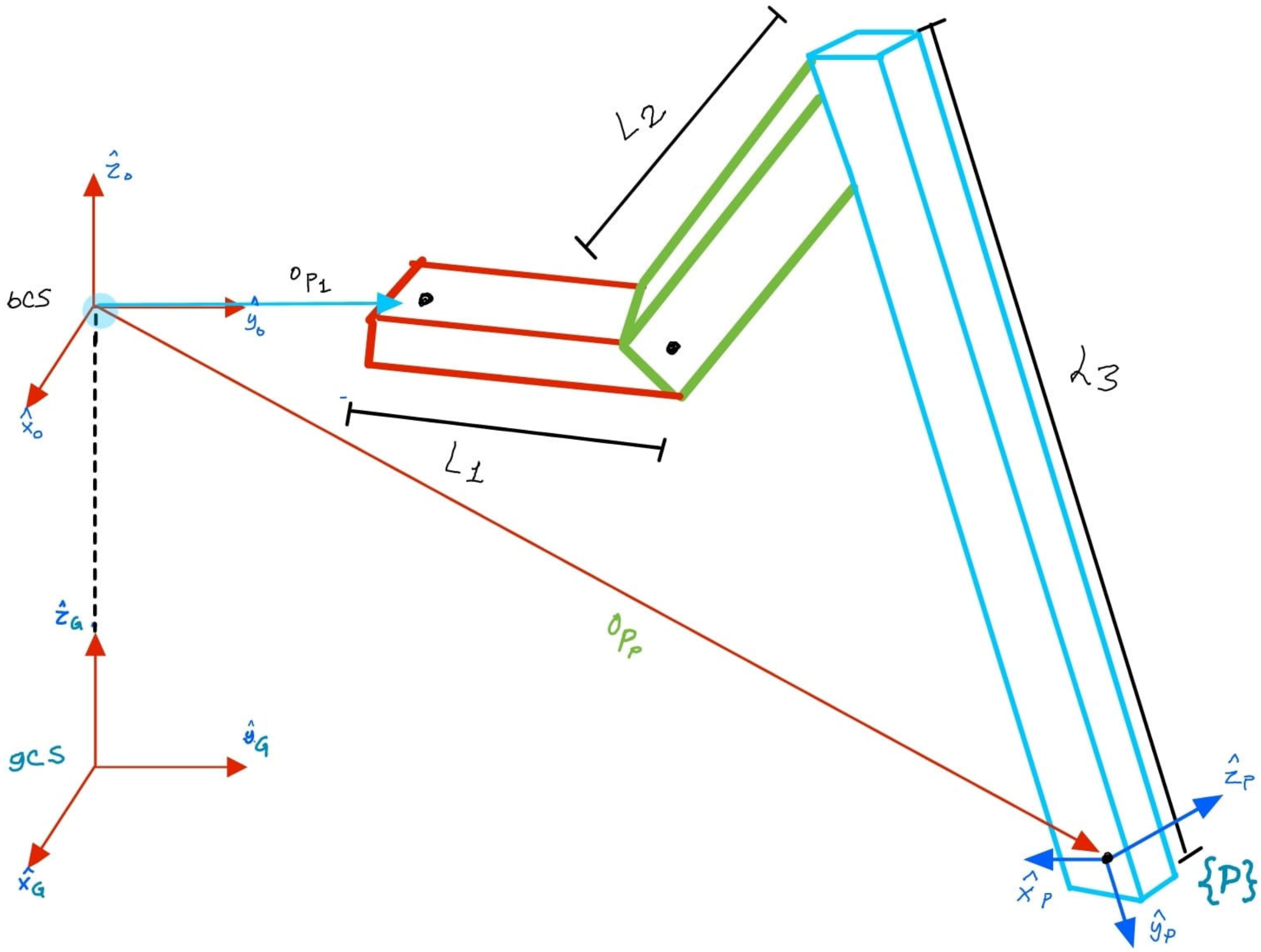

Figura 1. Planteamiento del sistema inerical $\{0\}$ y del sistema de referencia $\{P\}$ asociado al EF del robot.

2. Encontrar los ejes de acción de los actuadores

Dentro del diagrama del robot se identifican los ejes de actuación asociados con cada una de las juntas del robot, para este caso el robot tiene 3 grados de libertad (GDL), por lo que en el diagrama del robot se identificaran 3 ejes de acción de los actuadores (Figura 2)

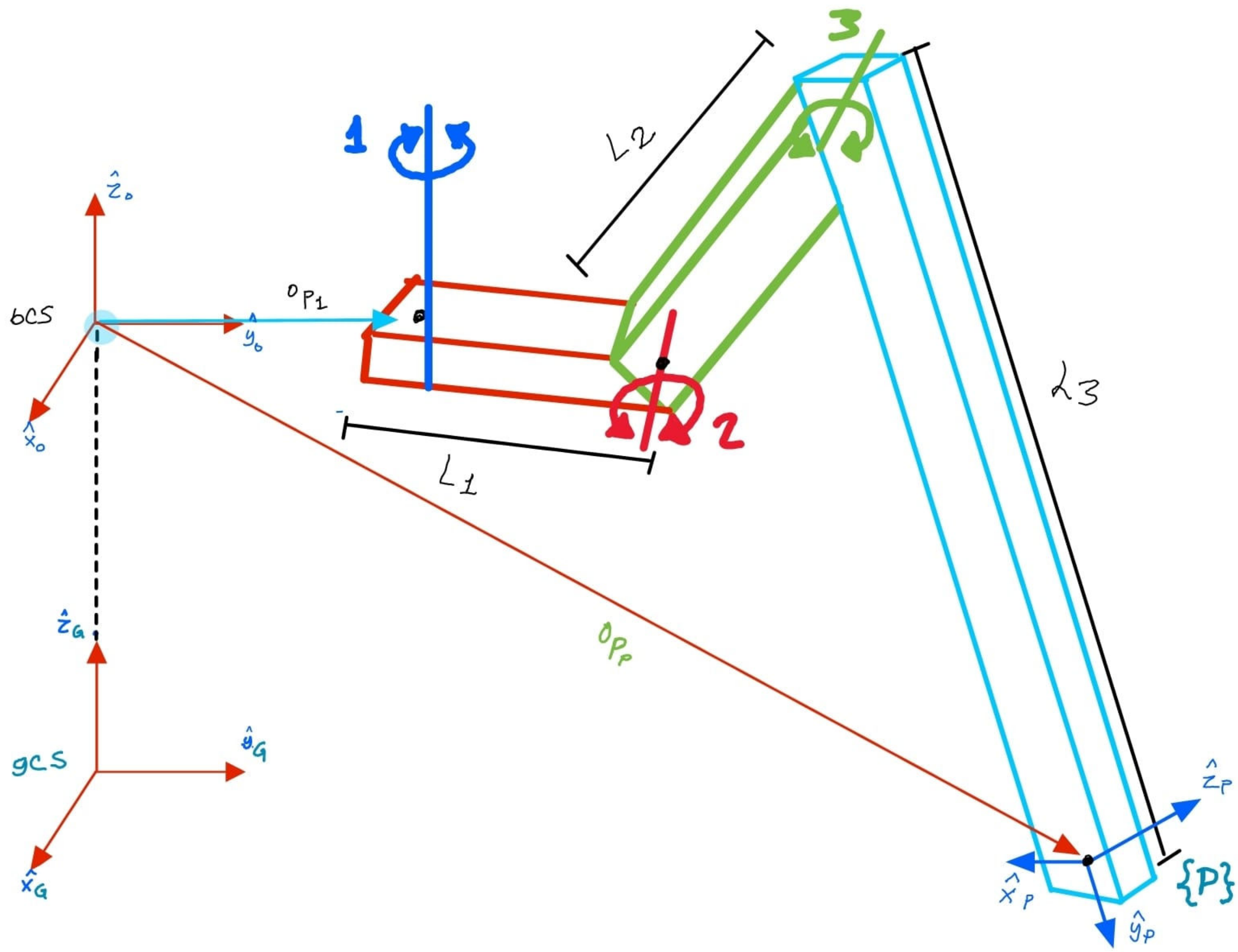

Figura 2. Ejes de actuación relacionadas de las juntas del robot.

3. Establecimiento de los sistemas de refencia

Para describir las relaciones de movimeinto y de orientación entre cada uno de los eslabones se establecen sistemas de refencia asociados a cada una de las juntas y cada eslabón. Para definir los sistemas de referencia en este método de cada una de las juntas se deben seguir las siguientes consideraciones:

- Se establecerá un sistema de referencia por junta y eslabón, y serán numerados en orden asendente, para este planteamiento a cada junta se le asociará un número y en el caso del EF del robot su sistema de referencia se definira como {P}.
- Sobre los ejes relacionados con las juntas de actuación es necesario definir un punto el cual será el origen cada uno de los sistemas de referencia, por lo que es necesario que cada uno de estos puntos tengan una relación interna con la estructura del robot.

- Definidos el origen de cada uno de los sistemas de referencia se establecen los ejes que los conforman de tal manera que uno de estos concida con el eje de actuación, la disposición los ejes debe permitir que los parámetros que describen las posición de los sistemas de referencia deben ser positivas, aunque cabe resaltar que hay casos donde cuando menos algún parámetros tendra un valor negativo.
- En el caso de las juntas sean rotacionales, su actuación se indicara mediante un ángulo ${}^{i}\theta_{j}$.

En la Figura 3, se presenta el planteamiento de los sistemas de referencia establecidos para describir las relaciones de posición y orientación de cada uno de los eslabones que componen la pata del robot.

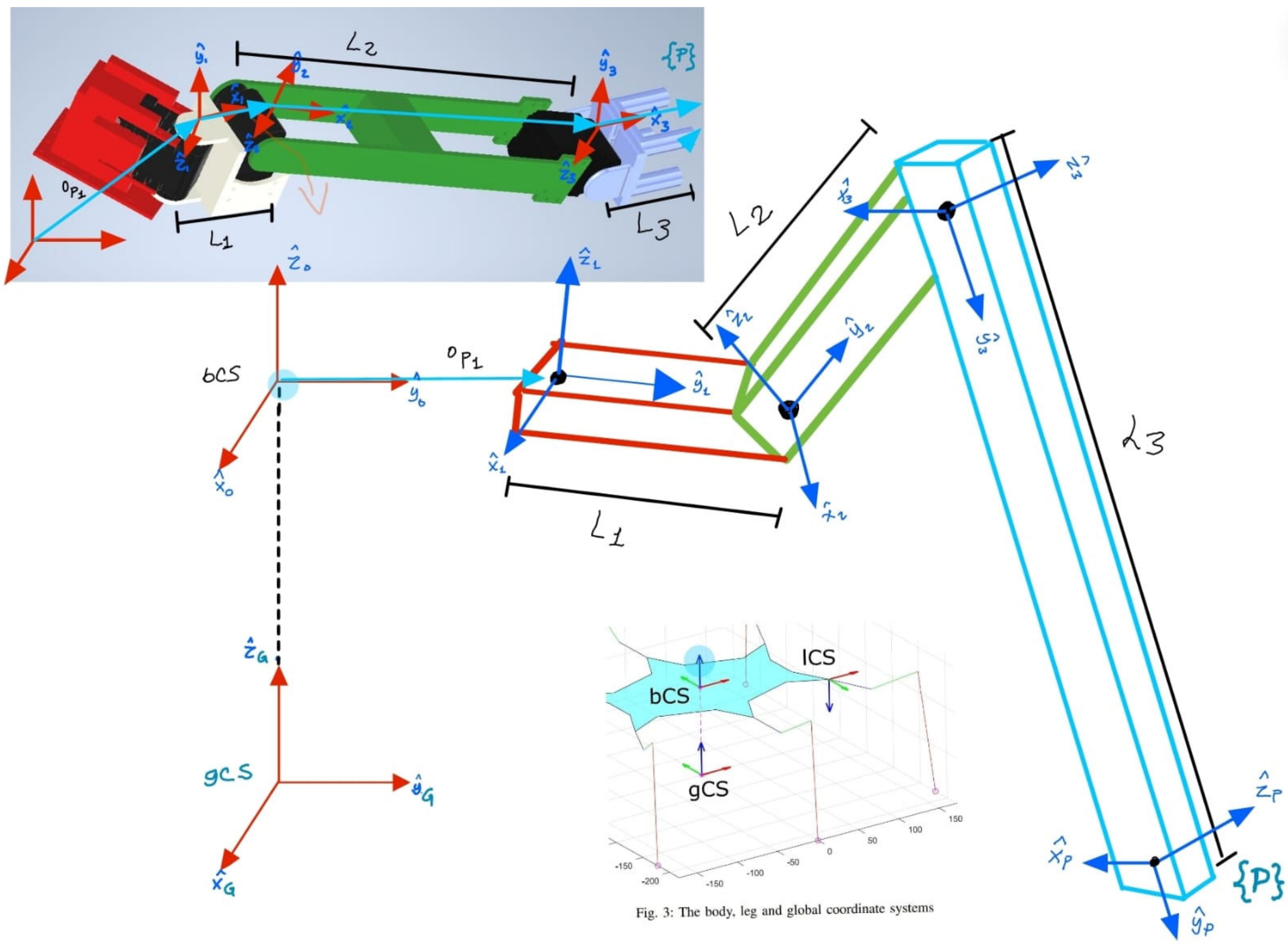

Figura 3. Planteamiento de los sistemas de referencia para pata del hexapodo.

4. Planteamiento de los parámetros

El planteamiento de los parámetros y de las variables se establecen entre cada uno de los sistemas de referencia, en la Figura 4, se presentan las relaciones de posición y orientación entre el sistema $\{1\}$ y el sistema $\{0\}$, donde el ángulo ${}^{0}\theta_{1}$ es la rotación del sistema $\{1\}$ con respecto al eje $\hat{\mathbf{z}}_0$ y se mide entre la dirección el eje $\hat{\mathbf{x}}_1$ y la dirección del eje $\hat{\mathbf{x}}_0$ y el vector de posición ${}^0\mathbf{p}_1^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & {}^0z_1 \end{pmatrix}$ se compone por una componente de translación en la dirección positiva del en la dirección del eje $\hat{\mathbf{z}}_0$.

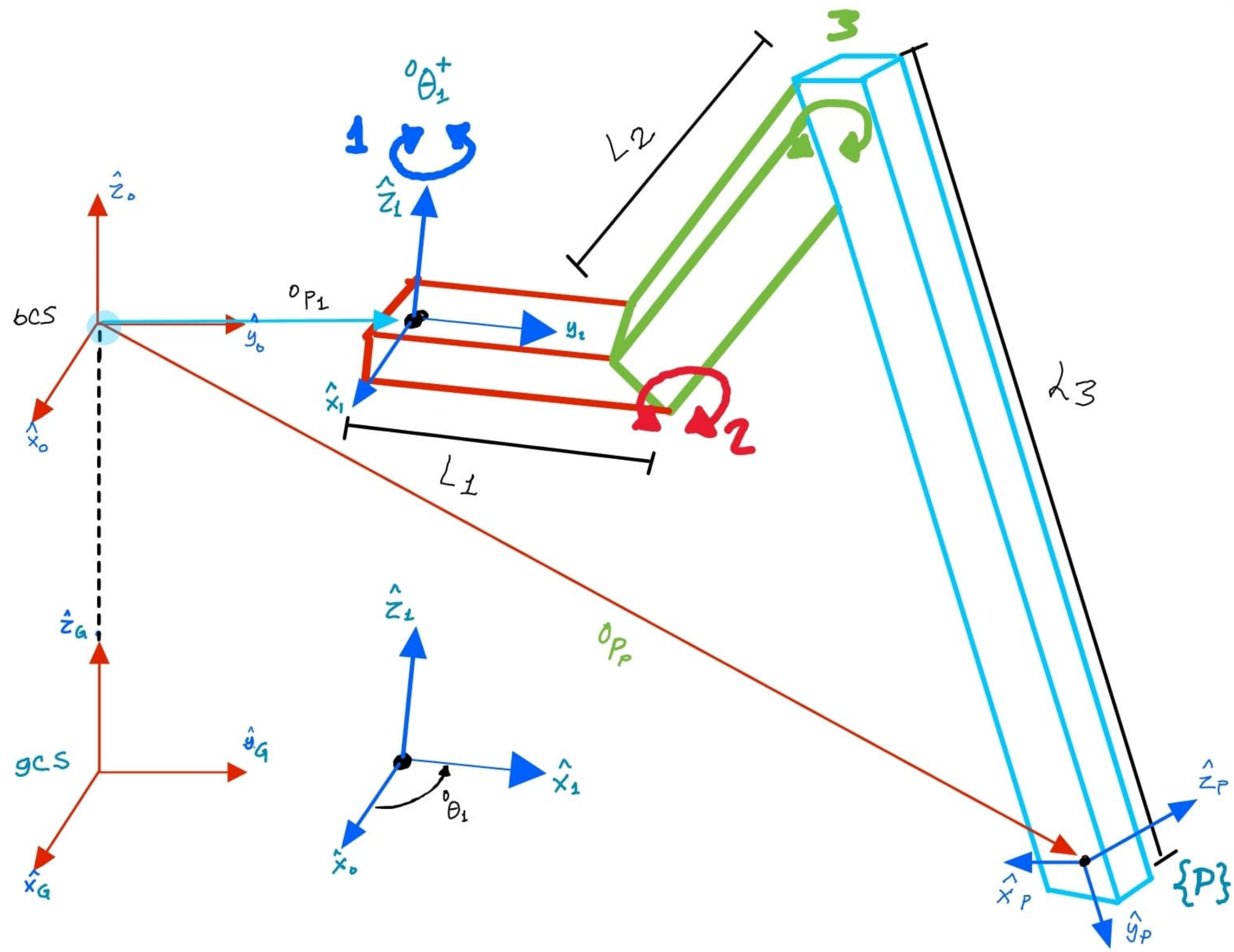

Figura 4. relaciones de posción y orientación entre el sistema $\{1\}$ con respecto al sistema $\{0\}$.

En la Figura 5, se presentan las relaciones de posición y orientación entre el sistema $\{2\}$ con respecto al sistema $\{1\}$, donde el cual el sistema el sistema $\{2\}$ gira con respecto al eje $\hat{\mathbf{x}}_1$ un ángulo ${}^1\theta_2$ el cual se mide entre la dirección del eje $\hat{\mathbf{y}}_2$ y la dirección del eje $\hat{\mathbf{y}}_1$, y el vector de posición ${}^1\mathbf{p}_2^T = \begin{pmatrix} {}^1x_2 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ se compone por una componente de translación en la dirección positiva del en la dirección del eje $\hat{\mathbf{x}}_1$.

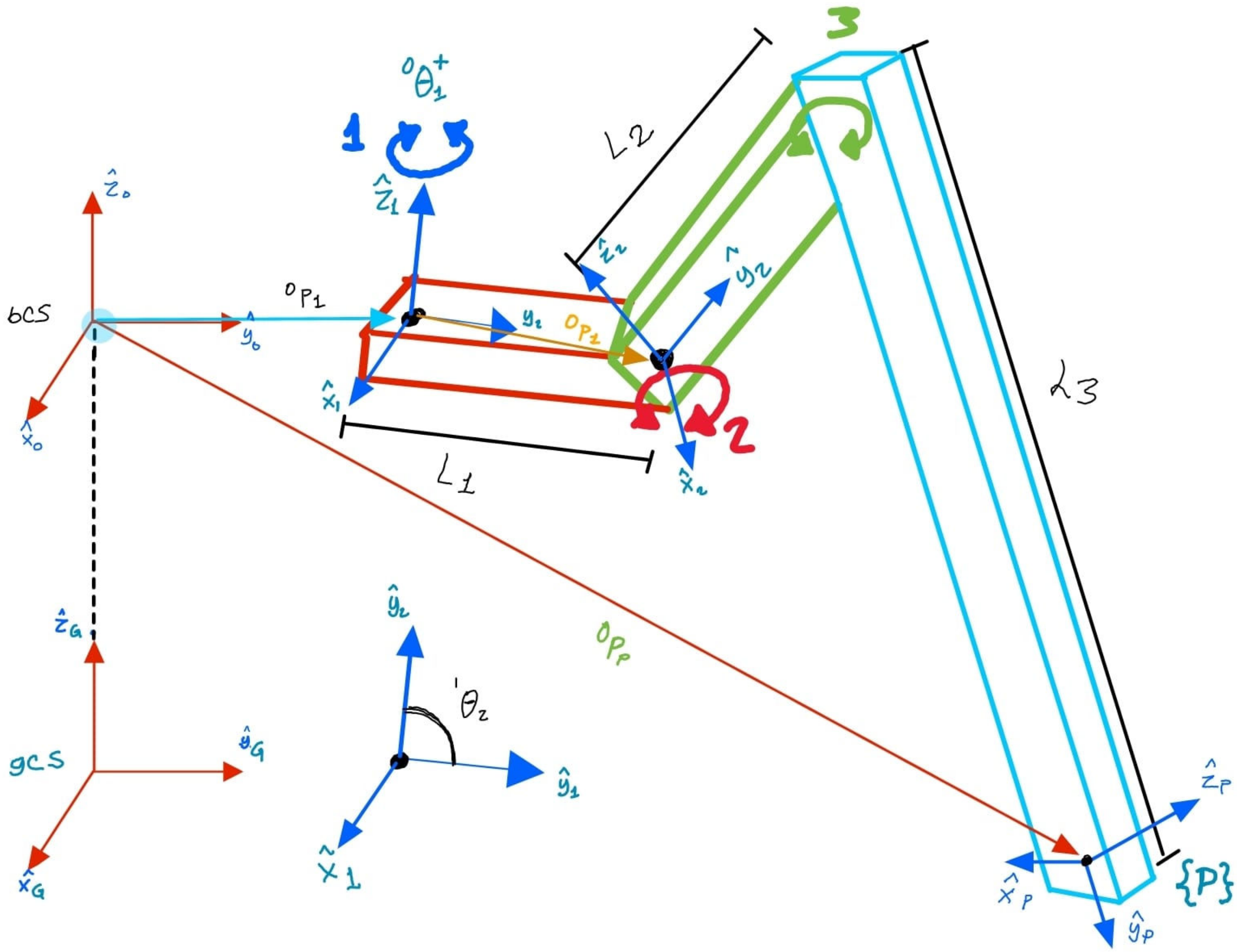

Figura 5. relaciones de posción y orientación entre el sistema $\{2\}$ con respecto al sistema $\{1\}$.

En la Figura 6, se presentan las relaciones de posición y orientación entre el sistema $\{3\}$ con respecto al sistema $\{2\}$, donde el cual el sistema el sistema $\{3\}$gira con respecto al eje $\hat{\mathbf{x}}_2$ un ángulo $^2\theta_3$ el cual se mide entre la dirección del eje $\hat{\mathbf{y}}_3$ y la dirección del eje $\hat{\mathbf{y}}_2$, y el vector de posición $^2\mathbf{p}_3^T = \begin{pmatrix} ^2x_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ se compone por una componente de translación en la dirección positiva en la dirección del eje $\hat{\mathbf{y}}_2$.

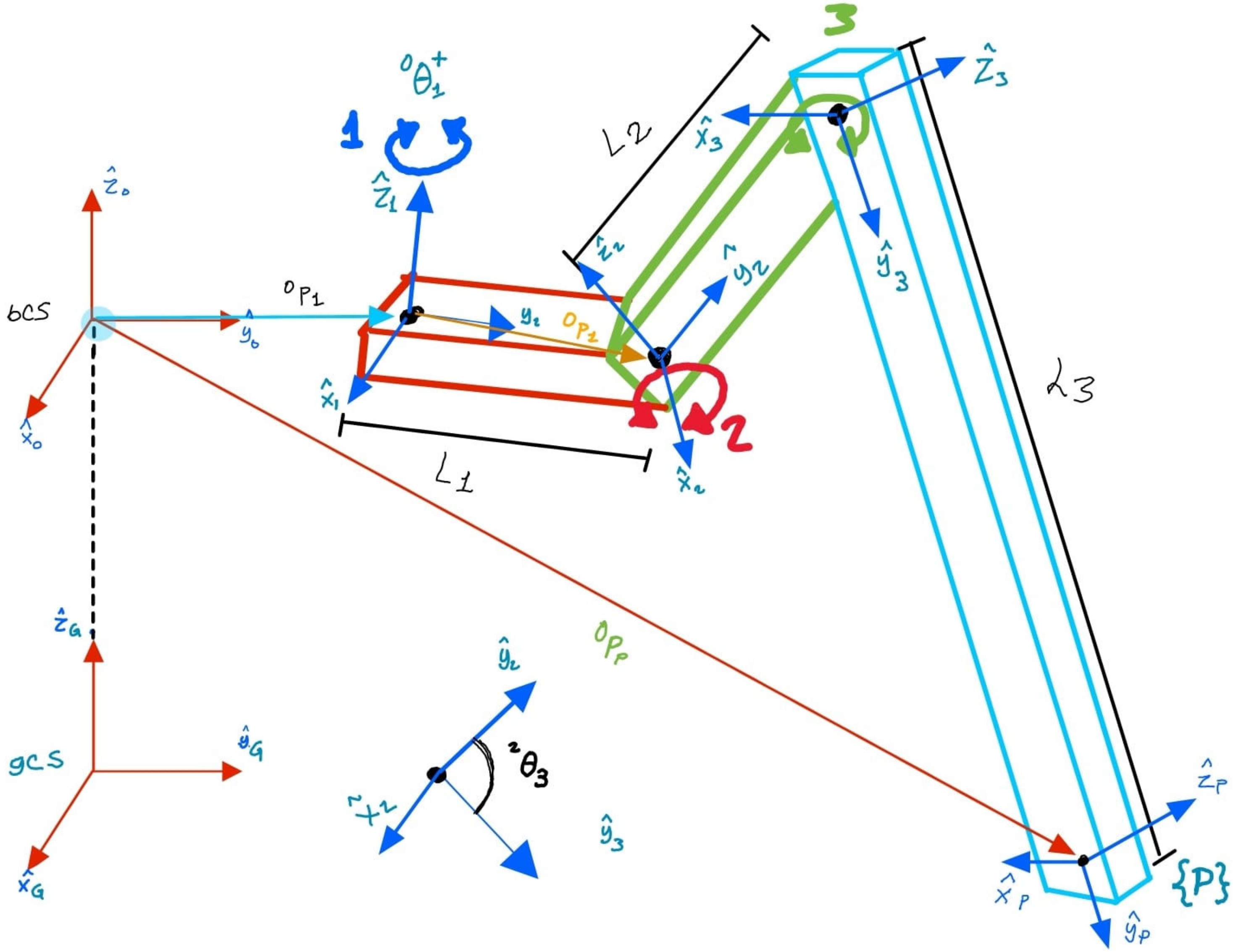

Figura 6. relaciones de posción y orientación entre el sistema $\{3\}$ con respecto al sistema $\{2\}$.

5. Tabla de parámetros y variables

La información que describe la relación entre los parámetros de posición y orientación de los eslabones se vacia en la siguiente tabla con el fin de establecer las transformaciones que describen las relaciones entre los sistemas de referencia.

Tabla 1. Parámetros de la configuración y la postura del robot.

$$\begin{bmatrix} i & x & y & z & \gamma(\text{roll}, x) & \beta(\text{picht}, y) & \alpha(\text{yaw}, x) \\ 0\_1 & 0 & 0 & {}^{0}z_1 & 0 & 0 & {}^{0}\theta_1 \\ 1\_2 & {}^{1}x_2 & 0 & 0 & {}^{1}\theta_2 & 0 & 0 \\ 2\_3 & {}^{2}x_3 & 0 & 0 & {}^{2}\theta_3 & 0 & 0 \\ & & & & & & \end{bmatrix}$$

i	x_i	y_i	z_i	$\gamma_i(rollo, x)$	$\beta_i(pitch, x)$	$\alpha_i(yaw, z)$
$0, 1$	0	0	${}^{0}z_1$	0	0	${}^{0}\theta_1$
$1, 2$	${}^{1}x_2$	0	0	0	${}^{1}\theta_2$	0
$2, 3$	${}^{2}x_3$	0	0	0	${}^{2}\theta_3$	0

6. Calculo del modelo cinemático de la postura

Los elementos que conforman a un reglon conforman una tabla

```
Tij(x_i_j, y_i_j, z_i_j, gi_j, bi_j, ai_j) =
```

$$\begin{pmatrix} \cos(\mathrm{ai}_j)\cos(\mathrm{bi}_j) & \cos(\mathrm{ai}_j)\sin(\mathrm{bi}_j)\sin(\mathrm{gi}_j) - \cos(\mathrm{gi}_j)\sin(\mathrm{ai}_j) & \sin(\mathrm{ai}_j)\sin(\mathrm{gi}_j) + \cos(\mathrm{ai}_j)\cos(\mathrm{gi}_j)\sin(\mathrm{bi}_j) \\ \cos(\mathrm{bi}_j)\sin(\mathrm{ai}_j) & \cos(\mathrm{ai}_j)\cos(\mathrm{gi}_j) + \sin(\mathrm{ai}_j)\sin(\mathrm{bi}_j)\sin(\mathrm{gi}_j) & \cos(\mathrm{gi}_j)\sin(\mathrm{ai}_j)\sin(\mathrm{bi}_j) - \cos(\mathrm{ai}_j)\sin(\mathrm{gi}_j) \\ -\sin(\mathrm{bi}_j) & \cos(\mathrm{bi}_j)\sin(\mathrm{gi}_j) & \cos(\mathrm{bi}_j)\cos(\mathrm{gi}_j) \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Cálculo de las tranformaciones, cálculo de la tranformación general:

Traslación del sistema BCS al Sistema de coordenadas [1]

```
TT0_1 =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y_{0,1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Transformada de T_{12}

Rotación en el eje Z_1

```
TR1_2 =
```

$$\begin{pmatrix} \cos(\theta_{1,2}) & -\sin(\theta_{1,2}) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_{1,2}) & \cos(\theta_{1,2}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Traslación en el eje Y_1

```
TT1_2 =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

T1_2 = $T_{1,2}$

Transformada de T_{12}

```
T1_2 =
```

$$\begin{pmatrix} \cos(\theta_{1,2}) & -\sin(\theta_{1,2}) & 0 & -L_1 \sin(\theta_{1,2}) \\ \sin(\theta_{1,2}) & \cos(\theta_{1,2}) & 0 & L_1 \cos(\theta_{1,2}) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Rotación en el eje X_2

```
TR2_3 =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_{2,3}) & -\sin(\theta_{2,3}) & 0 \\ 0 & \sin(\theta_{2,3}) & \cos(\theta_{2,3}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Traslación en el eje Y_2

```
TT2_3 =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Transformada de T_{23}

```
T2_3 =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_{2,3}) & -\sin(\theta_{2,3}) & L_2\cos(\theta_{2,3}) \\ 0 & \sin(\theta_{2,3}) & \cos(\theta_{2,3}) & L_2\sin(\theta_{2,3}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Rotación en el eje X_3

```
TR3_p =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_{3,p}) & -\sin(\theta_{3,p}) & 0 \\ 0 & \sin(\theta_{3,p}) & \cos(\theta_{3,p}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Traslación en el eje Y_2

```
TT3_P =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Transformada de T_{3p}

```
T3_p =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_{3,p}) & -\sin(\theta_{3,p}) & L_3\cos(\theta_{3,p}) \\ 0 & \sin(\theta_{3,p}) & \cos(\theta_{3,p}) & L_3\sin(\theta_{3,p}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Transformada de T_{0p}

T0_P = $T_{0,P}$

```
T0_p =
```

$$\left(\begin{matrix} \cos(\theta_{1,2}) & -\cos(\theta_{2,3}+\theta_{3,p})\sin(\theta_{1,2}) & \sin(\theta_{2,3}+\theta_{3,p})\sin(\theta_{1,2}) & -\sin(\theta_{1,2})\ (L_1 \\ \sin(\theta_{1,2}) & \cos(\theta_{2,3}+\theta_{3,p})\cos(\theta_{1,2}) & -\sin(\theta_{2,3}+\theta_{3,p})\cos(\theta_{1,2}) & y_{0,1}+L_1\cos(\theta_{1,2})+L_2\cos(\theta_{1,2})\cos(\theta_{2,3}) \\ 0 & \sin(\theta_{2,3}+\theta_{3,p}) & \cos(\theta_{2,3}+\theta_{3,p}) & L_3 \sin \\ 0 & 0 & 0 & \end{matrix} \right.$$

Extremo de la pata, Efector final (P)

```
P = 4×1
     0
     0
     0
     1
```

La Cinematica directa de la postura de la pata, es igual a:

```
Post =
```

$$\begin{pmatrix} -\sin(\theta_{1,2})\ (L_1 + L_3\cos(\theta_{2,3}+\theta_{3,p}) + L_2\cos(\theta_{2,3})) \\ y_{0,1} + L_1\cos(\theta_{1,2}) + L_2\cos(\theta_{1,2})\cos(\theta_{2,3}) + L_3\cos(\theta_{1,2})\cos(\theta_{2,3})\cos(\theta_{3,p}) - L_3\cos(\theta_{1,2})\sin(\theta_{2,3})\sin(\theta_{3,p}) \\ L_3\sin(\theta_{2,3}+\theta_{3,p}) + L_2\sin(\theta_{2,3}) \\ 1 \end{pmatrix}$$

Resultados

El objetivo de este proyecto fue el desarrollo de un robot hexápodo. El robot cuenta con seis patas, cada una con tres articulaciones. El modelo cinemático de la postura del robot se planteó a partir de las relaciones entre las articulaciones y los puntos de referencia del robot.

El robot hexapodo presentado en el trabajo se logró realizar de manera satisfactoria obteniendo los resultados de las matrices empleadas para su diseño. Con ayuda del método para el plantemiento del modelo cinemático de la postura trazamos los distintos ejes de referencia para modelar los movimientos y ángulos que tomaría el movimiento de una pata.

Las matrices empleadas para un modelo cinemático de postura aplicado a un robot hexápodo son las matrices de transformación homogénea. Estas matrices permiten representar la transformación de un punto del espacio a otro, a través de una combinación de traslación, rotación y escalado.

En el caso de un robot hexápodo, las matrices de transformación homogénea se utilizan para representar la transformación de la base del robot a la punta de cada pata. Para ello, se necesita conocer la posición y orientación de la base del robot, así como la posición y orientación de cada articulación de la pata.

Para obtener la matriz de transformación homogénea para la punta de una pata, se pueden multiplicar las matrices de transformación homogénea de cada articulación de la pata.

En los esquemas mostrados anteriormente, se puede ver que la matriz de transformación homogénea para la punta de la pata se puede obtener a partir de la multiplicación de las matrices de transformación homogénea de las articulaciones 1, 2 y 3.

La matriz final de la cinemática directa de la postura es la matriz de transformación homogénea para la punta de la última pata del robot.

La matriz final de la cinemática directa de la postura nos permite determinar la posición y orientación de la base del robot a partir de las posiciones y orientaciones de las articulaciones. Esta matriz se obtuvo a partir de la aplicación de la ley de los cosenos y la ley de los senos.

El éxito del proyecto se debe a que el modelo cinemático de la postura se planteó de manera acertada, lo que permitió obtener una matriz final exacta. El resultado final es que el robot puede moverse de manera controlada y precisa, lo cual es posible gracias a la información proporcionada por la matriz final.

A continuación, se detallan los aspectos más relevantes:

- Lo que nos dice la matriz final de la cinemática directa de la postura:

La matriz final de la cinemática directa de la postura nos permite determinar la posición y orientación de la base del robot a partir de las posiciones y orientaciones de las articulaciones. Esta información es necesaria para el control del robot, ya que permite determinar la ubicación y dirección del robot en el espacio.

- Por qué obtuvimos estos resultados:

Se obtuvieron debido a que el modelo cinemático de la postura se planteó de manera correcta. El modelo cinemático es la base para el control del robot, por lo que es importante que esté bien planteado.

- Cuál es el resultado final:

El resultado final es que el robot puede moverse de manera controlada y precisa. Esto se debe a que la matriz final de la cinemática directa de la postura permite determinar la posición y orientación de la base del robot a partir de las posiciones y orientaciones de las articulaciones.

Referencias:

[1] M. A. C. Verdugo, Diseño, Construcción y control de un robot hexápodo, Ciudad universitaria, México D.F.: UNAM, 2011.