

Localización espacial

Denavit-Hartenberg

Fundamentos de Robótica Industrial

Versión 2024



Convención de Denavit - Hartenberg

Denavit y Hartenberg propusieron en 1955 un **método matricial** que establece la localización que debe tomar cada sistema de coordenadas $\{S_i\}$ ligado a cada eslabón i de una cadena articulada, para poder **sistematizar** la obtención de las ecuaciones cinemáticas de la cadena completa.

Escogiendo los sistemas de coordenadas asociados a cada eslabón según la representación propuesta por D-H, será posible pasar de uno al siguiente mediante **4 transformaciones básicas que dependen exclusivamente de las características geométricas del eslabón.**

Hay que hacer notar que si bien en general una matriz de transformación homogénea queda definida por 6 grados de libertad, el método de Denavit-Hartenberg, permite, en eslabones rígidos, reducir éste a 4 con la **correcta elección de los sistemas de coordenadas.**

Convención de Denavit - Hartenberg

Paso 1: Numerar los eslabones en orden creciente, siendo **0** a la base fija del robot y **n** el último eslabón móvil

Paso 2: Numerar las articulaciones de forma creciente, siendo **1** el primer GDL y **n** el último.

Paso 3: Localizar el eje de cada articulación. Si la art. es rotativa el eje será el eje de giro y si es prismática el eje será aquel en el que se produce el desplazamiento.

Paso 4: Para **i** de **0** a **n-1**, situar el eje z_i sobre el eje de la articulación **i+1**

Paso 5: Situar el origen del sistema de la base $\{S_0\}$ en “cualquier punto” del eje z_0 , mientras que los ejes x_0 e y_0 se ubicarán creando una terna ortonormal directa.

Paso 6: Para **i** de **1** a **n-1**, situar el origen del sistema $\{S_i\}$ en la intersección del eje z_i con la línea normal común a z_{i-1} e z_i

En particular, si los ejes se cortan, el origen se ubica en el punto de corte

si los ejes son paralelos, el origen se sitúa en la articulación **i+1**

Paso 7: Situar x_i en la línea normal común a z_{i-1} y z_i

Paso 8: Situar y_i de modo que forme un sistema ortonormal directo con x_i y z_i

Paso 9: Situar el sistema $\{S_n\}$ en el extremo del robot de modo que z_n coincida con la dirección de z_{n-1} y x_n sea normal a z_{n-1} y z_n

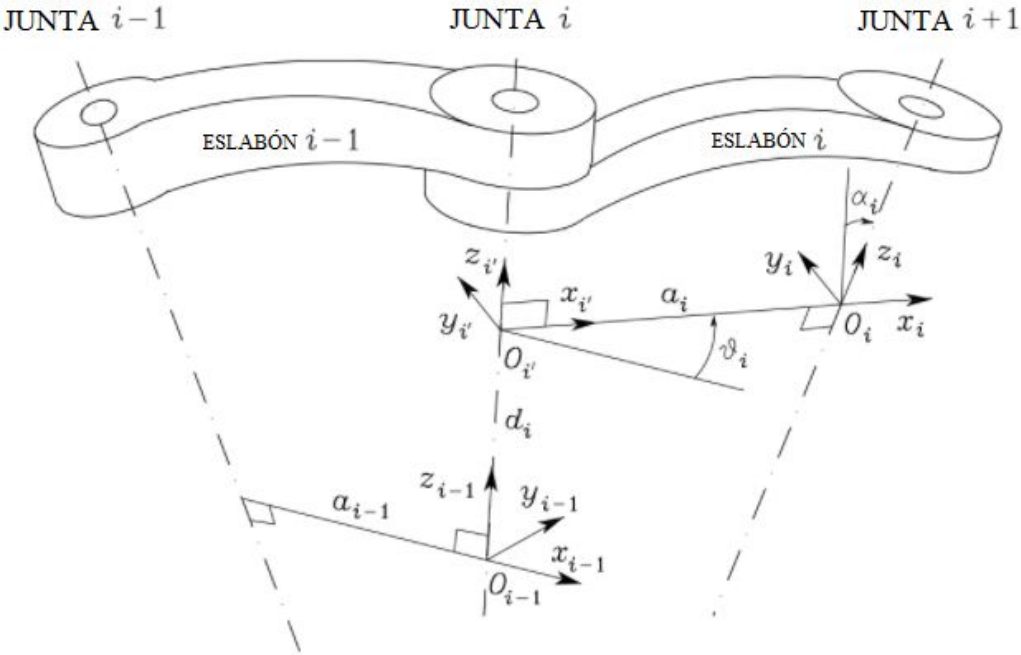
Convención de Denavit - Hartenberg

Existen definiciones no únicas para los sistemas de referencia en los siguientes casos:

- Para el eslabón 0 , O_0 y x_0 se eligen arbitrariamente
- Para el eslabón n , z_n no tiene una única definición mientras que x_n debe ser normal al eje z_{n-1} .
- Cuando dos ejes consecutivos son paralelos, su normal común no es única.
- Cuando dos ejes consecutivos se intersectan, la dirección de x_i es arbitraria
- Cuando la junta i es prismática, la dirección de z_{i-1} es arbitraria

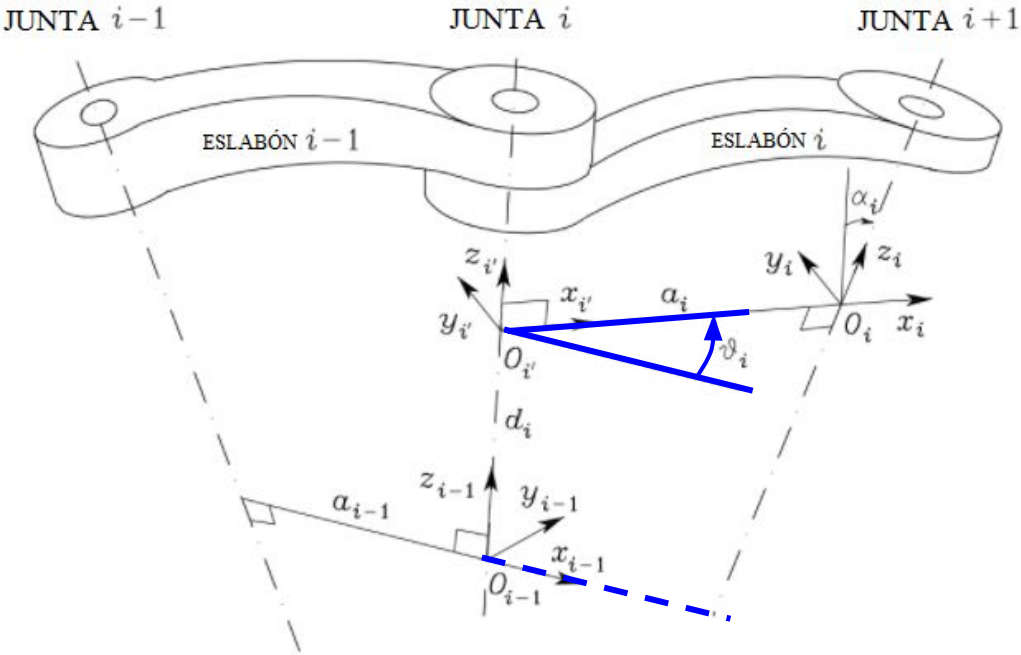
Convención de Denavit - Hartenberg

Considerando que se tiene un acople genérico entre dos eslabones, se **definen** los 4 parámetros de D-H para cada sistema **articulación-eslabón**:



Convención de Denavit - Hartenberg

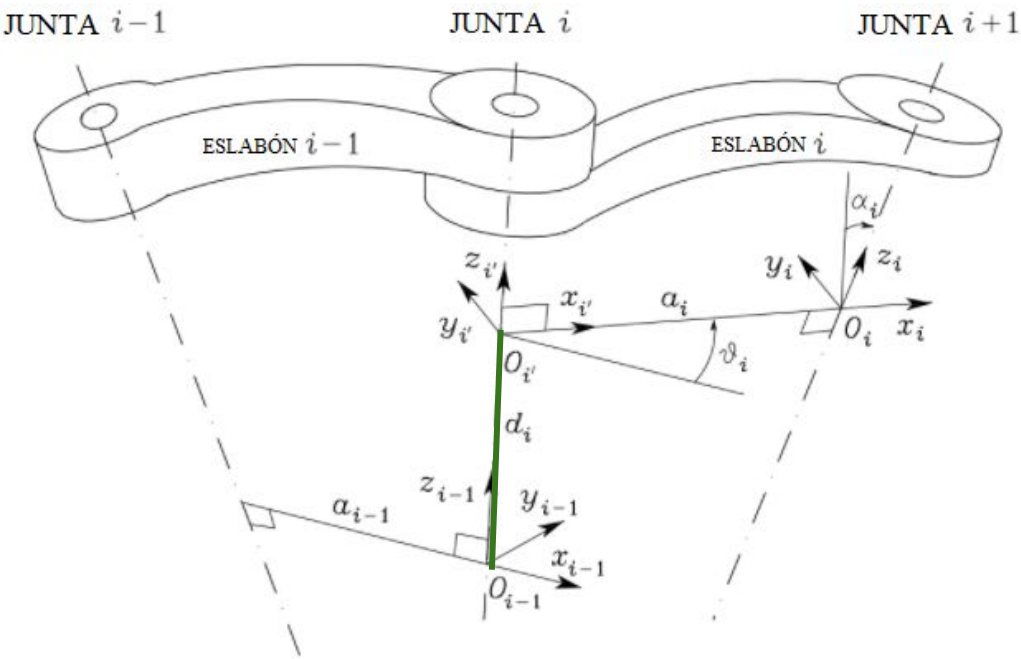
Considerando que se tiene un acople genérico entre dos eslabones, se **definen** los 4 parámetros de D-H para cada sistema **articulación-eslabón**:



θ_i : Es el ángulo que forman los ejes x_{i-1} y x_i medido en un plano perpendicular al eje z_{i-1} , utilizando la regla de la mano derecha.

Convención de Denavit - Hartenberg

Considerando que se tiene un acople genérico entre dos eslabones, se **definen** los 4 parámetros de D-H para cada sistema **articulación-eslabón**:

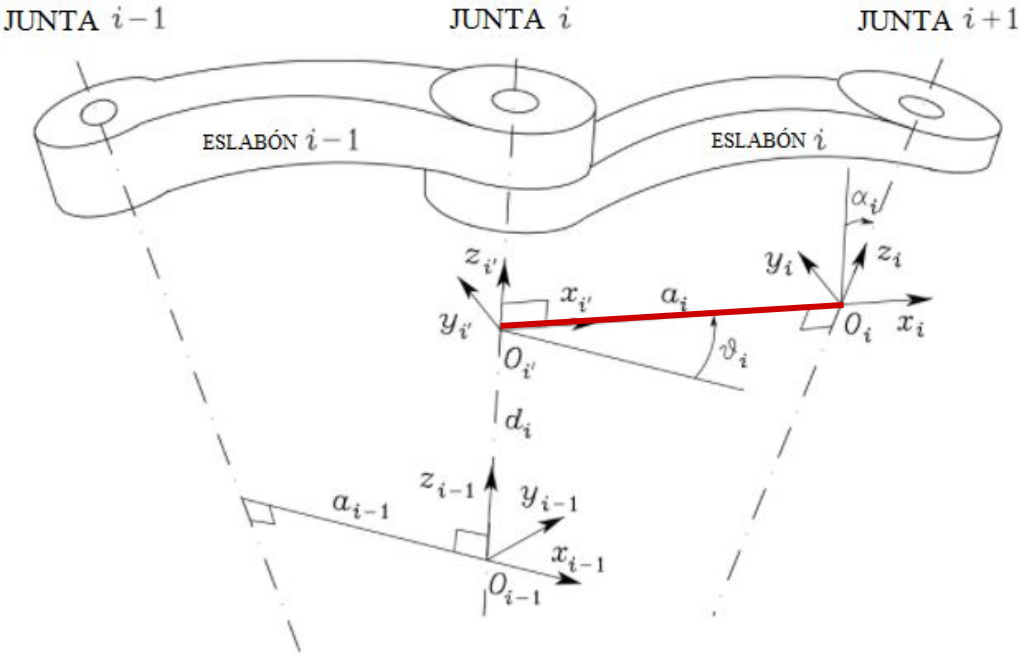


θ_i : Es el ángulo que forman los ejes x_{i-1} y x_i medido en un plano perpendicular al eje z_{i-1} , utilizando la regla de la mano derecha.

d_i : Es la distancia a lo largo del eje z_{i-1} desde el origen del sistema de coordenadas $(i-1)$ -ésimo hasta la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i .

Convención de Denavit - Hartenberg

Considerando que se tiene un acople genérico entre dos eslabones, se **definen** los 4 parámetros de D-H para cada sistema **articulación-eslabón**:



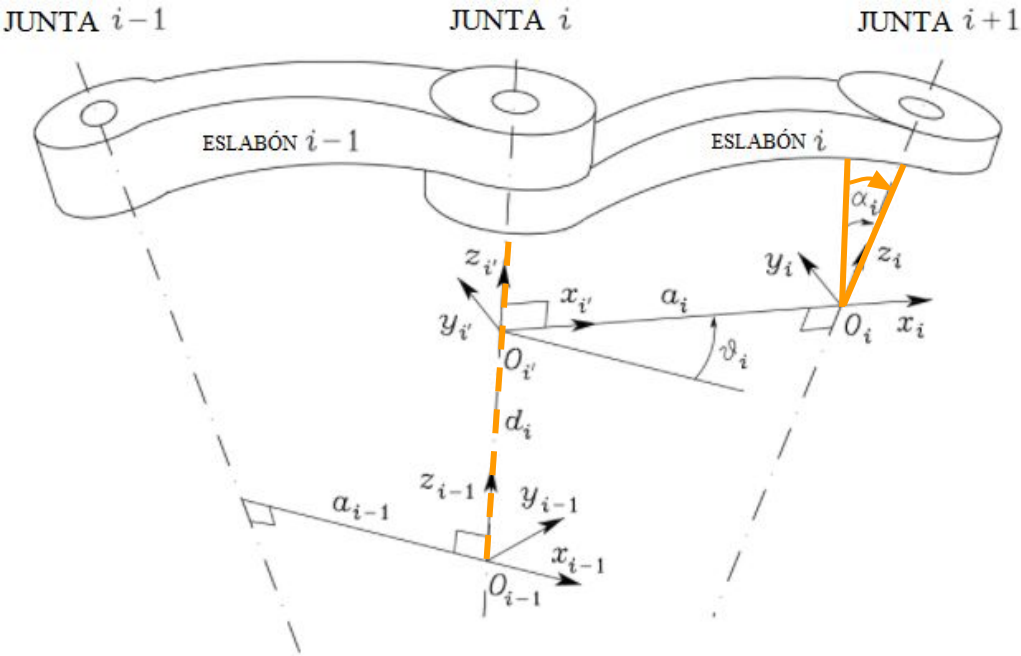
θ_i : Es el ángulo que forman los ejes x_{i-1} y x_i medido en un plano perpendicular al eje z_{i-1} , utilizando la regla de la mano derecha.

d_i : Es la distancia a lo largo del eje z_{i-1} desde el origen del sistema de coordenadas $(i-1)$ -ésimo hasta la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i .

a_i : Es la distancia a lo largo del eje x_i desde la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i hasta el origen del sistema i -ésimo, en el caso de articulaciones giratorias. En el caso de articulaciones prismáticas, se calcula como la distancia más corta entre los ejes z_{i-1} y z_i .

Convención de Denavit - Hartenberg

Considerando que se tiene un acople genérico entre dos eslabones, se **definen** los 4 parámetros de D-H para cada sistema **articulación-eslabón**:



θ_i : Es el ángulo que forman los ejes x_{i-1} y x_i medido en un plano perpendicular al eje z_{i-1} , utilizando la regla de la mano derecha.

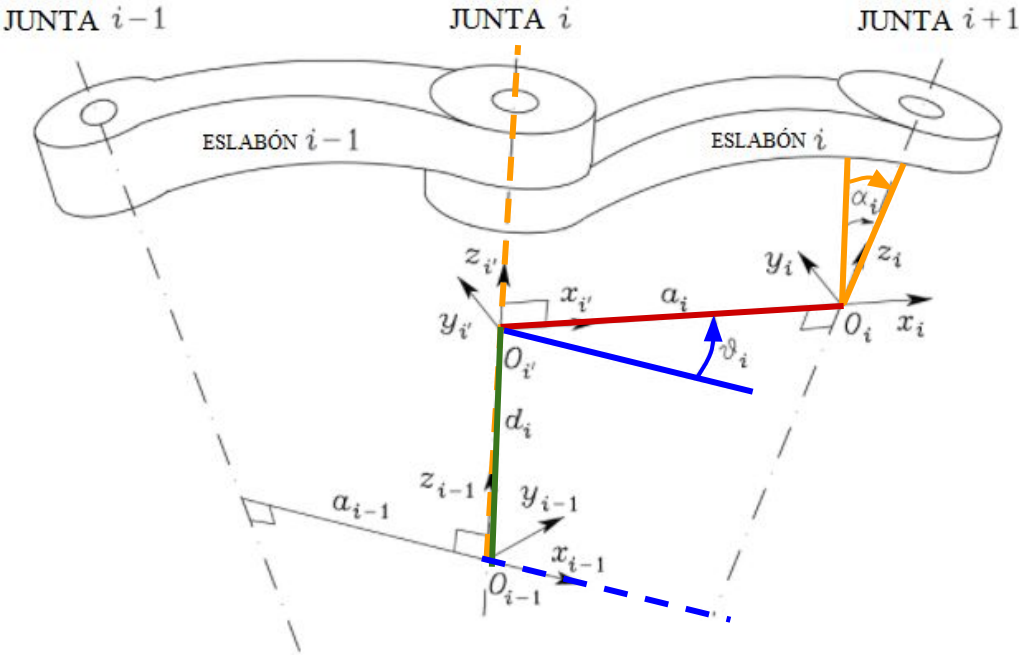
d_i : Es la distancia a lo largo del eje z_{i-1} desde el origen del sistema de coordenadas $(i-1)$ -ésimo hasta la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i .

a_i : Es la distancia a lo largo del eje x_i desde la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i hasta el origen del sistema i -ésimo, en el caso de articulaciones giratorias. En el caso de articulaciones prismáticas, se calcula como la distancia más corta entre los ejes z_{i-1} y z_i .

α_i : Es el ángulo de separación del eje z_{i-1} y el eje z_i , medido en un plano perpendicular al eje x_i , utilizando la regla de la mano derecha.

Convención de Denavit - Hartenberg

Considerando que se tiene un acople genérico entre dos eslabones, se **definen** los 4 parámetros de D-H para cada sistema **articulación-eslabón**:



CONSIDERACIONES:

a_i y α_i : son siempre constantes y dependen de la geometría del brazo

θ_i : Es la variable de junta si la articulación i es de revolución

d_i : Es la variable de junta si la articulación es prismática

Convención de Denavit - Hartenberg

Considerando que se tiene un acople genérico entre dos eslabones, se **definen** los 4 parámetros de D-H para cada sistema **articulación-eslabón**:

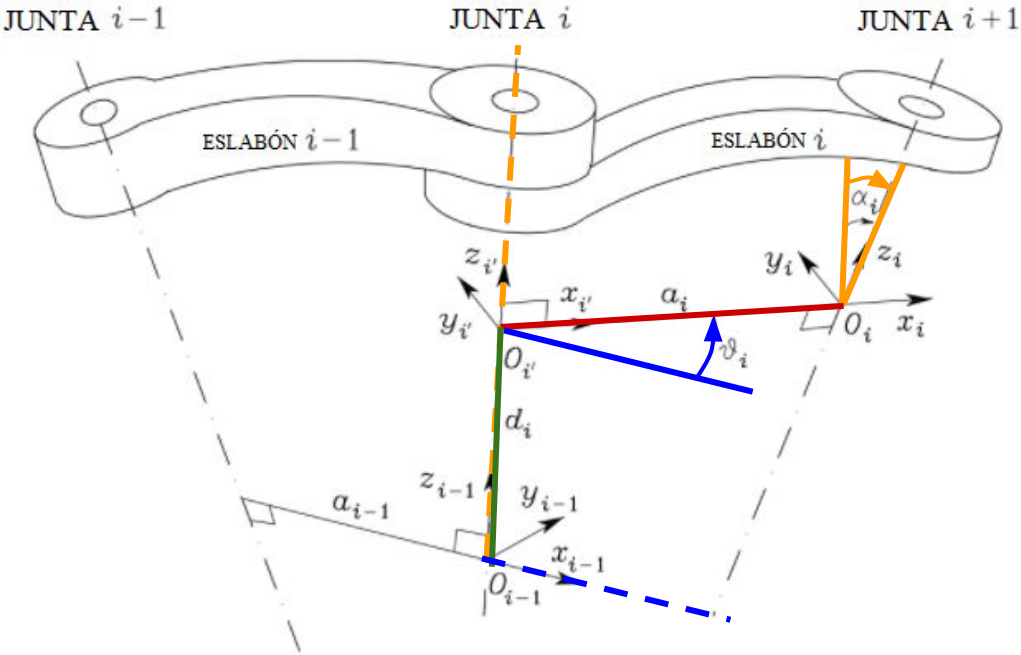


Tabla de D-H:

Arti.	θ	d	a	α
1	θ_1	d_1	a_1	α_1
...
n	θ_n	d_n	a_n	α_n

Convención de Denavit - Hartenberg

Considerando que se tiene un acople genérico entre dos eslabones, se **definen** los 4 parámetros de D-H para cada sistema **articulación-eslabón**:

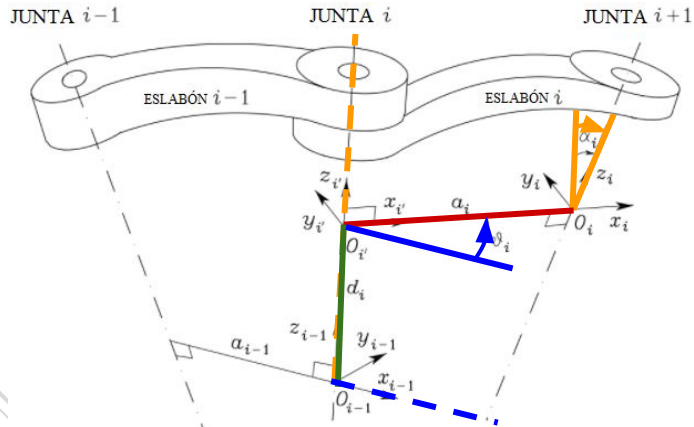


Tabla de D-H:

Arti.	θ	d	a	α
1	θ_1	d_1	a_1	α_1
...
n	θ_n	d_n	a_n	α_n

Matriz de transformación Homogénea

1. Rotación alrededor del eje z_{i-1} un ángulo θ_i
2. Traslación a lo largo de z_{i-1} una distancia d_i ; vector $d_i = (0,0,d_i)$.
3. Traslación a lo largo de x_i una distancia a_i ; vector $a_i = (a_i,0,0)$.
4. Rotación alrededor del eje x_i un ángulo α_i

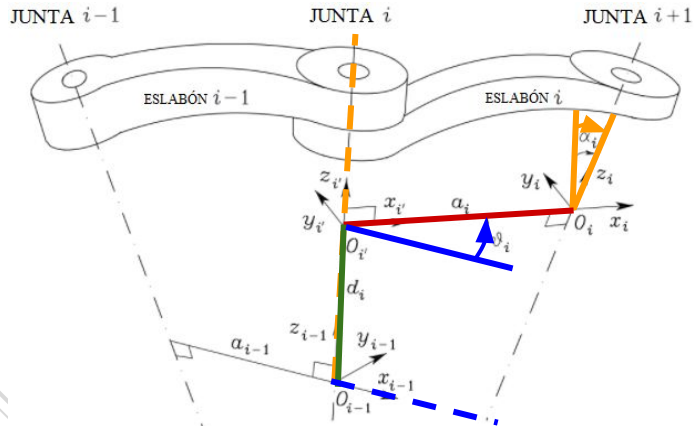
Donde las transformaciones se refieren al sistema móvil.

Dado que las transformaciones se han de realizar en el orden indicado, se tiene que:

$${}_{i-1}A_i = \text{Rot}_z(\theta_i) \text{Tras}(0,0,d_i) \text{Tras}(a_i,0,0) \text{Rot}_x(\alpha_i)$$

Convención de Denavit - Hartenberg

Considerando que se tiene un acople genérico entre dos eslabones, se **definen** los 4 parámetros de D-H para cada sistema **articulación-eslabón**:



Matriz de transformación Homogénea

1. Rotación alrededor del eje z_{i-1} un ángulo θ_i
2. Traslación a lo largo de z_{i-1} una distancia d_i ; vector $d_i = (0,0,d_i)$.
3. Traslación a lo largo de x_i una distancia a_i ; vector $a_i = (a_i,0,0)$.
4. Rotación alrededor del eje x_i un ángulo α_i

Donde las transformaciones se refieren al sistema móvil.

Dado que las transformaciones se han de realizar en el orden indicado, se tiene que:

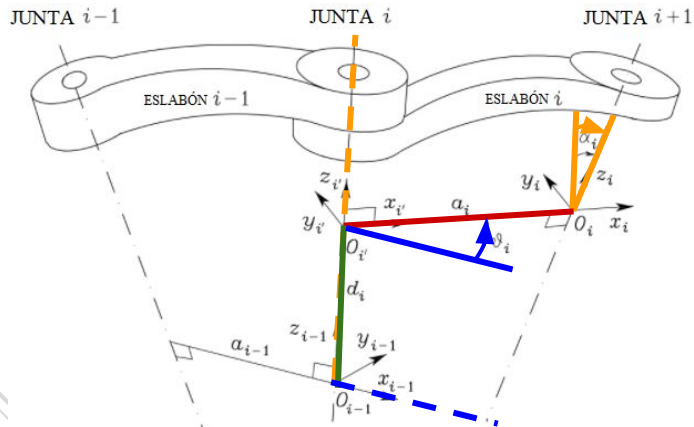
Tabla de D-H:

Arti.	θ	d	a	α
1	θ_1	d_1	a_1	α_1
...
n	θ_n	d_n	a_n	α_n

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg

Considerando que se tiene un acople genérico entre dos eslabones, se **definen** los 4 parámetros de D-H para cada sistema **articulación-eslabón**:



Matriz de transformación Homogénea

1. Rotación alrededor del eje z_{i-1} un ángulo θ_i
2. Traslación a lo largo de z_{i-1} una distancia d_i ; vector $d_i = (0,0,d_i)$.
3. Traslación a lo largo de x_i una distancia a_i ; vector $a_i = (a_i,0,0)$.
4. Rotación alrededor del eje x_i un ángulo α_i

Donde las transformaciones se refieren al sistema móvil.

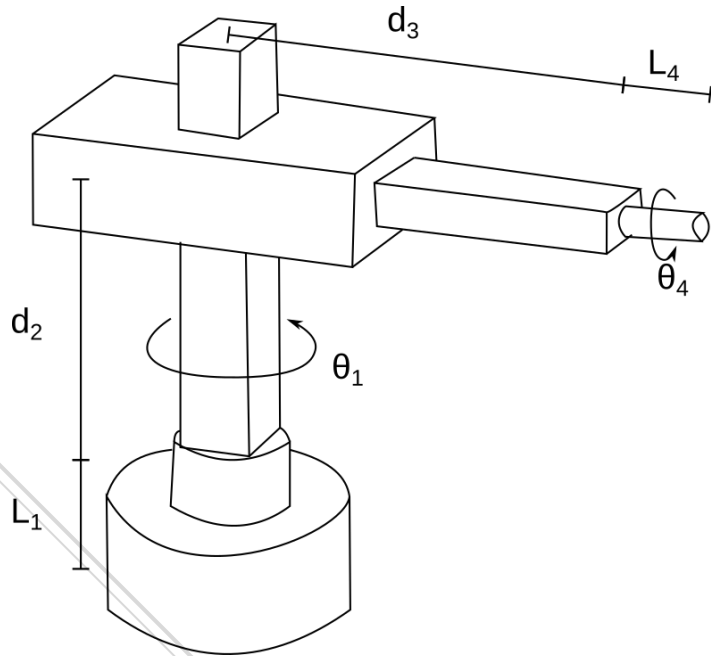
Dado que las transformaciones se han de realizar en el orden indicado, se tiene que:

Tabla de D-H:

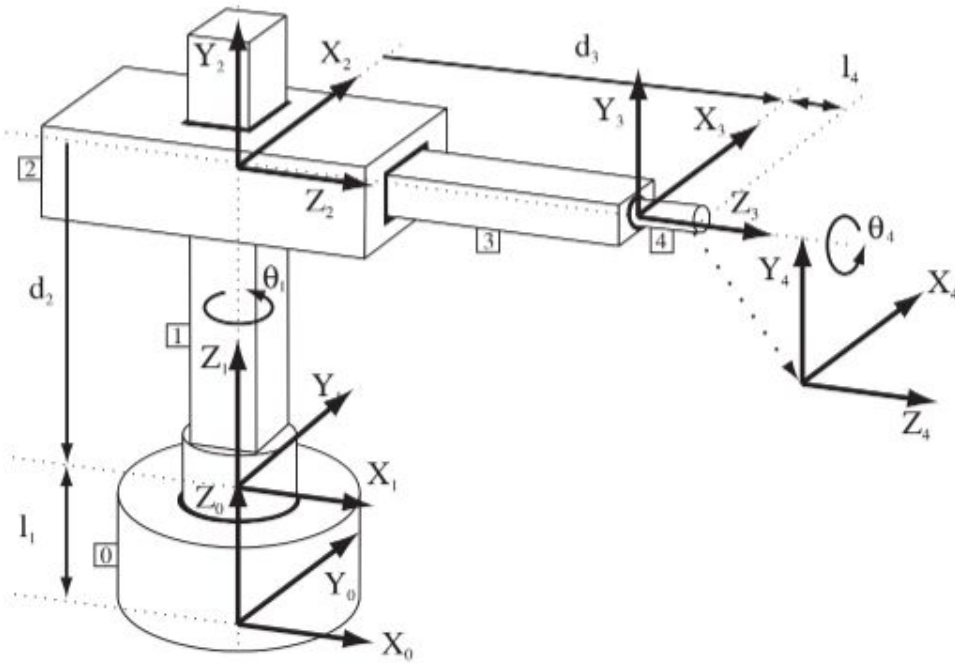
Arti.	θ	d	a	α
1	θ_1	d_1	a_1	α_1
...
n	θ_n	d_n	a_n	α_n

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

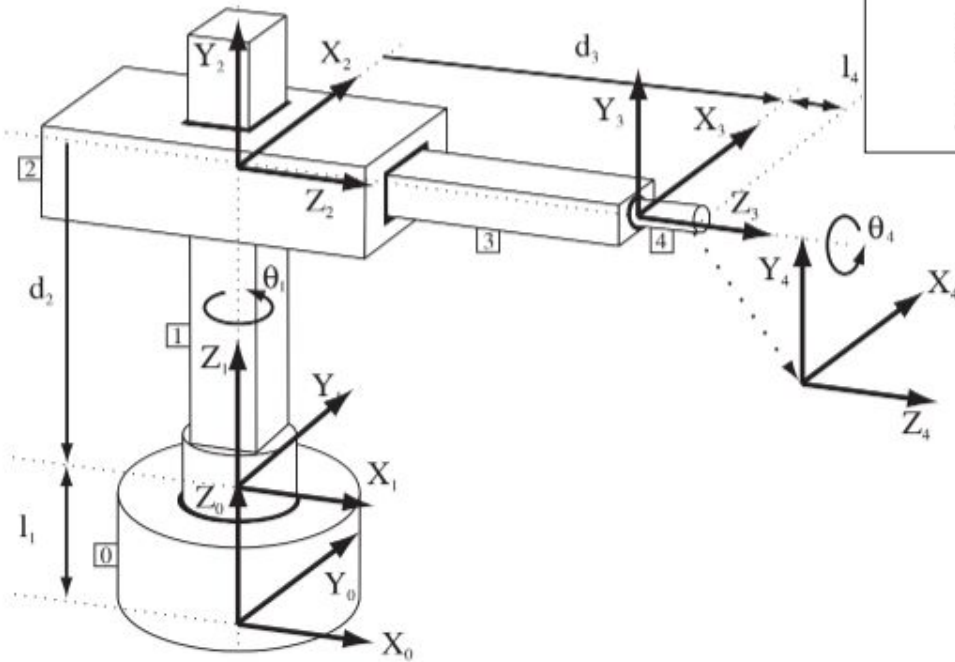
Convención de Denavit - Hartenberg



Convención de Denavit - Hartenberg

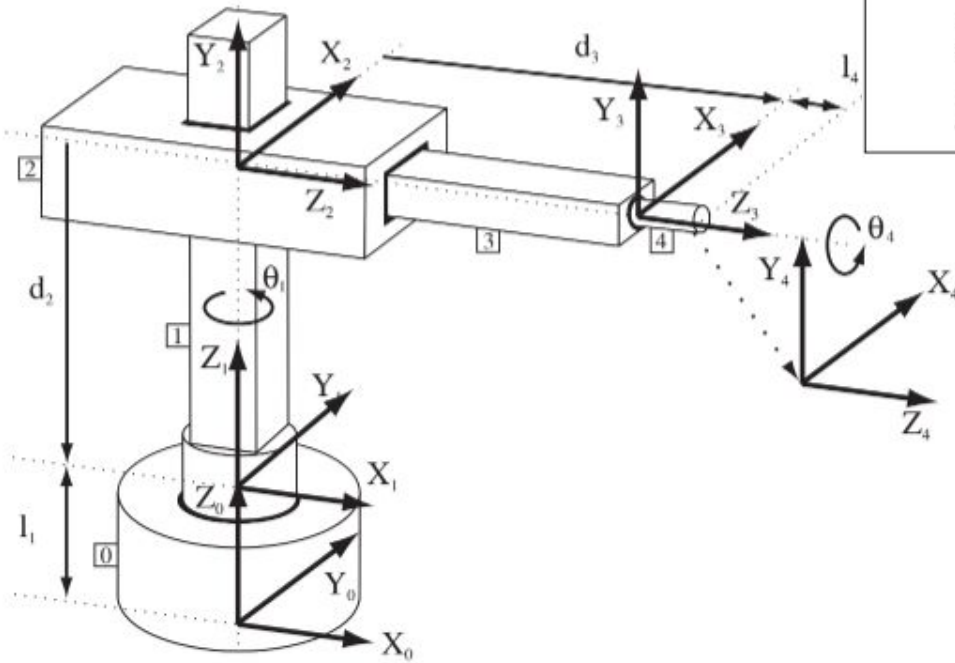


Convención de Denavit - Hartenberg



Articulación	θ	d	a	α
1	q_1	l_1	0	0
2	90	d_2	0	90
3	0	d_3	0	0
4	q_4	l_4	0	0

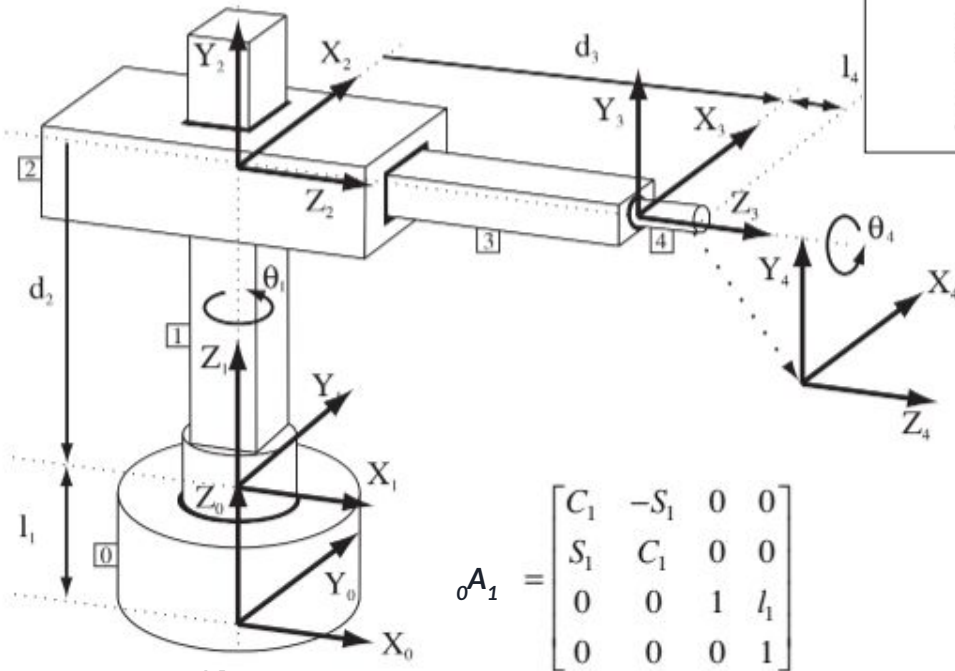
Convención de Denavit - Hartenberg



Articulación	θ	d	a	α
1	q_1	l_1	0	0
2	90	d_2	0	90
3	0	d_3	0	0
4	q_4	l_4	0	0

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg

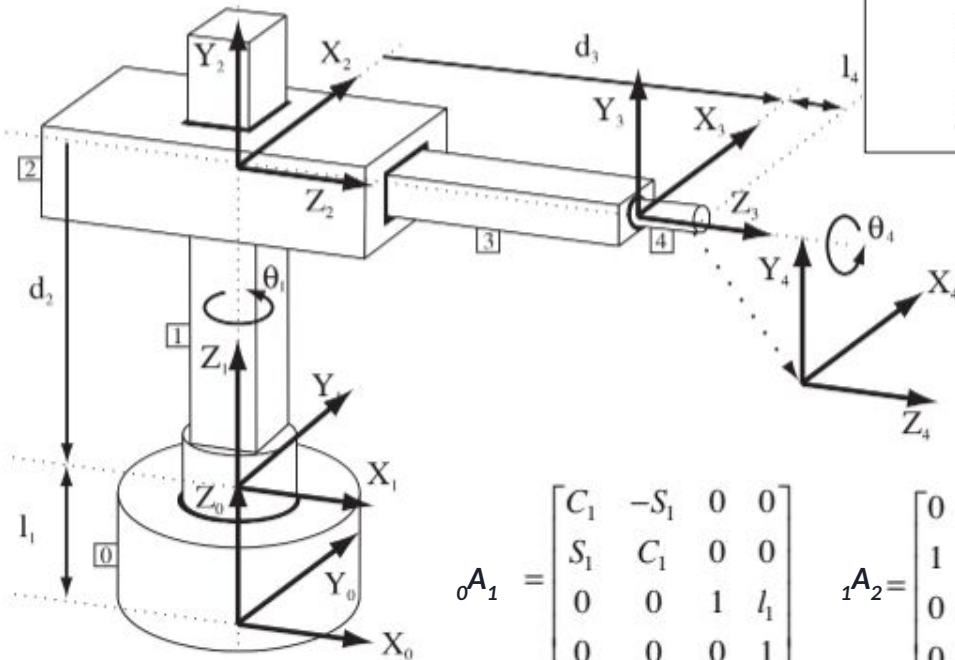


Articulación	θ	d	a	α
1	q_1	l_1	0	0
2	90	d_2	0	90
3	0	d_3	0	0
4	q_4	l_4	0	0

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg



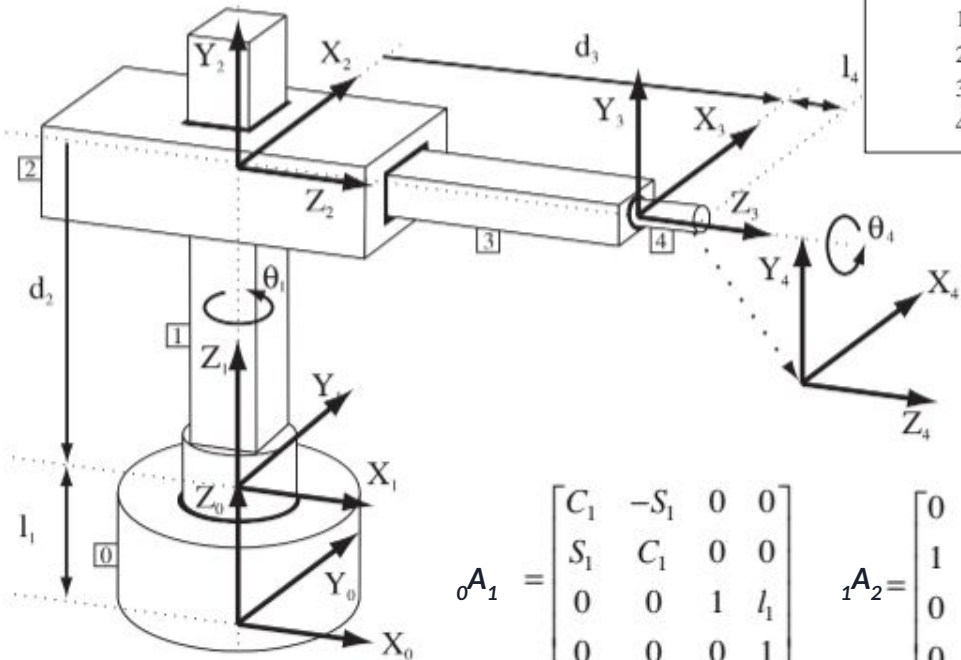
Articulación	θ	d	a	α
1	q_1	l_1	0	0
2	90	d_2	0	90
3	0	d_3	0	0
4	q_4	l_4	0	0

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg



Articulación	θ	d	a	α
1	q_1	l_1	0	0
2	90	d_2	0	90
3	0	d_3	0	0
4	q_4	l_4	0	0

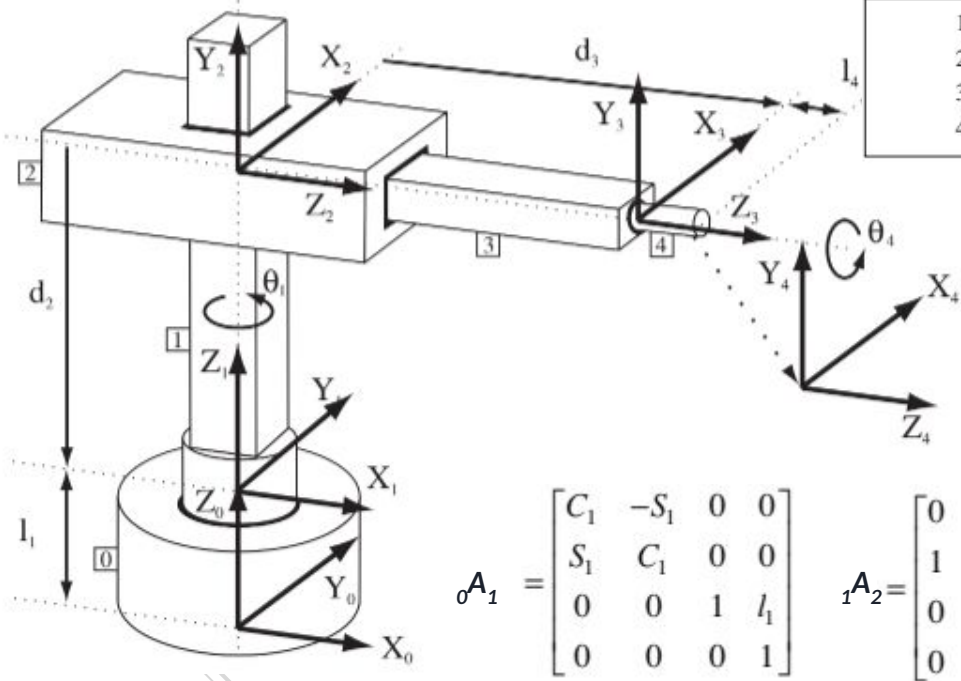
$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg



Articulación	θ	d	a	α
1	q_1	l_1	0	0
2	90	d_2	0	90
3	0	d_3	0	0
4	q_4	l_4	0	0

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

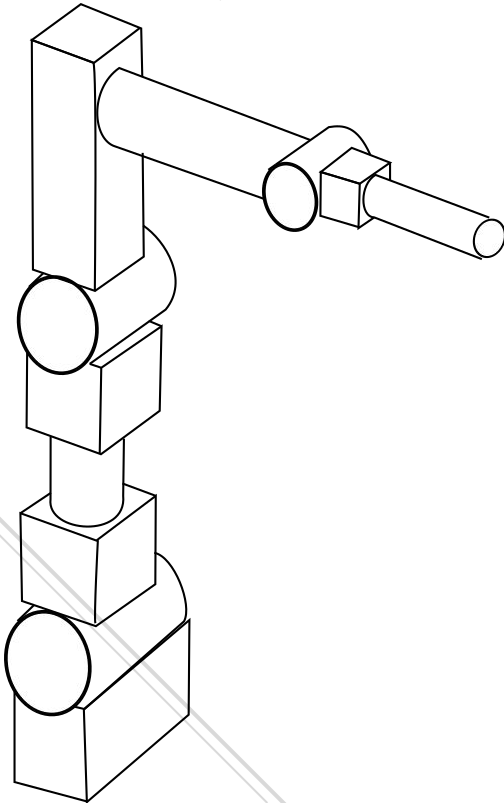
$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

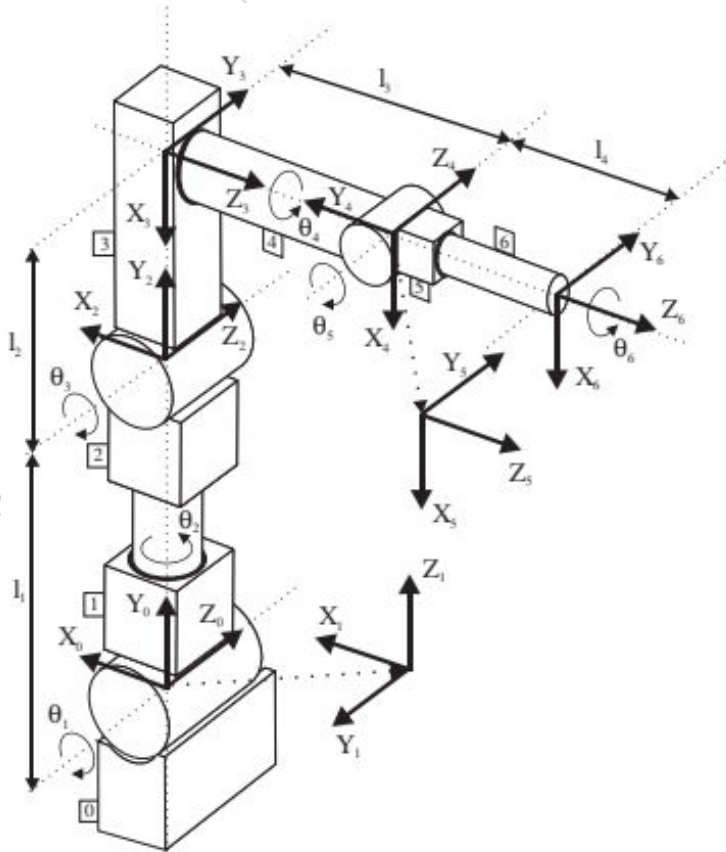
$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3A_4 = \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & 0 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

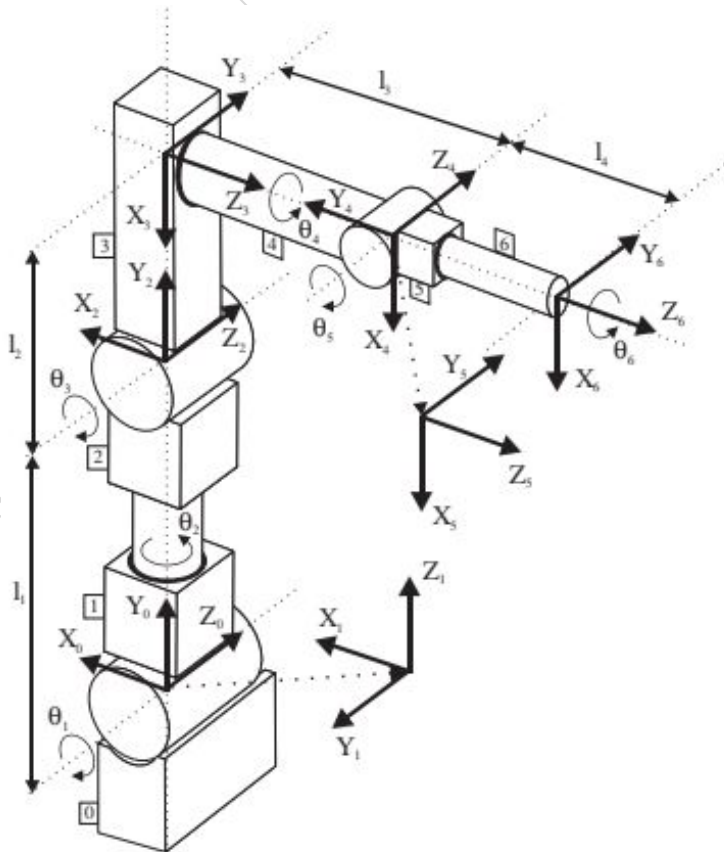
Convención de Denavit - Hartenberg



Convención de Denavit - Hartenberg

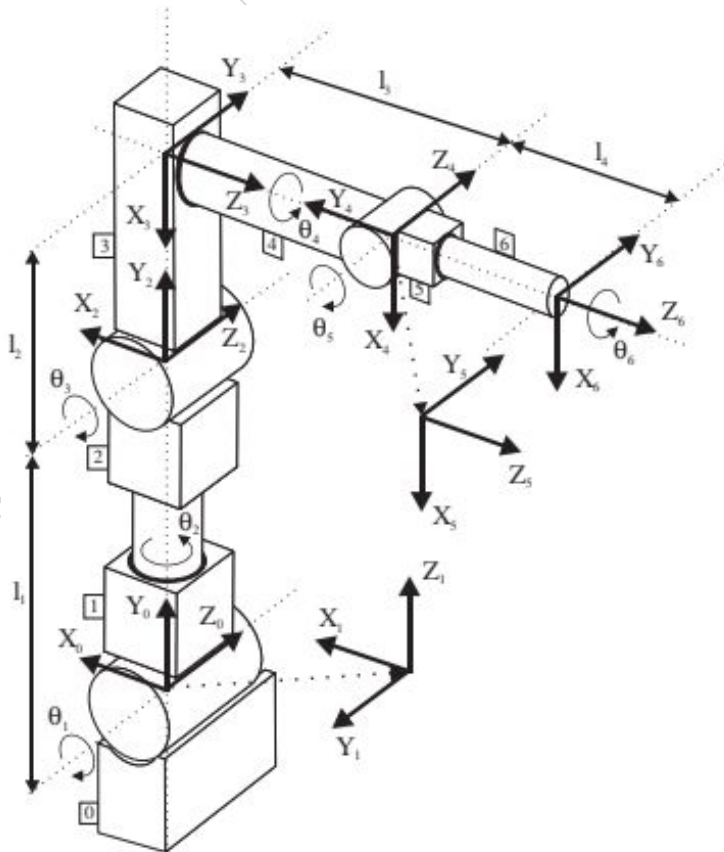


Convención de Denavit - Hartenberg



Articulación	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	-90
2	θ_2	l_1	0	90
3	θ_3-90	0	$-l_2$	90
4	θ_4	l_3	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	l_4	0	0

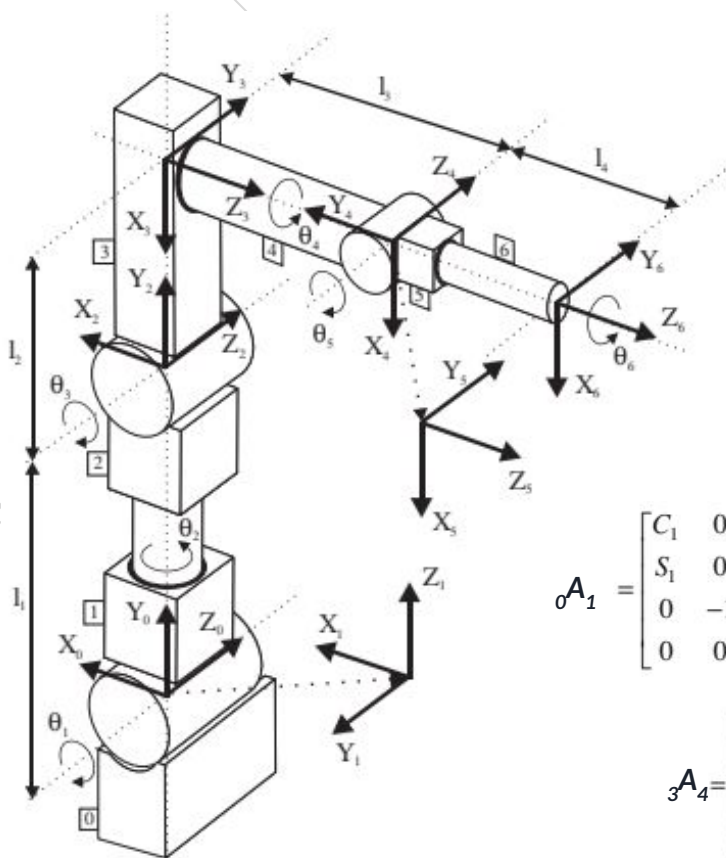
Convención de Denavit - Hartenberg



Articulación	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	-90
2	θ_2	l_1	0	90
3	θ_3-90	0	$-l_2$	90
4	θ_4	l_3	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	l_4	0	0

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg



Articulación	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	-90
2	θ_2	l_1	0	90
3	$\theta_3 - 90$	0	$-l_2$	90
4	θ_4	l_3	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	l_4	0	0

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & -C_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

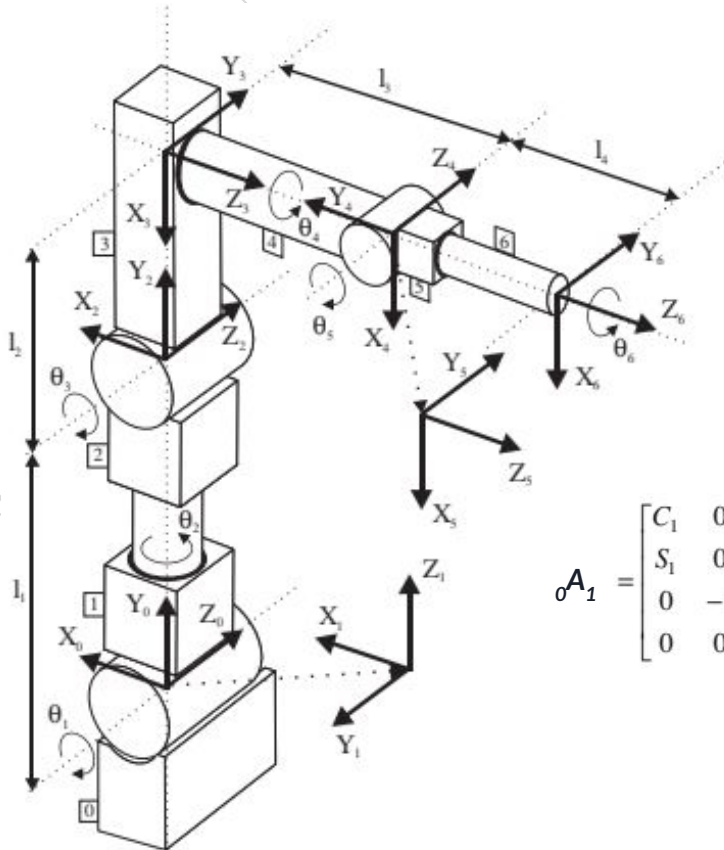
$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} S_3 & 0 & -C_3 & -l_2 S_3 \\ -C_3 & 0 & -S_3 & l_2 C_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3A_4 = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4A_5 = \begin{bmatrix} C_5 & 0 & S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & -C_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^5A_6 = \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg

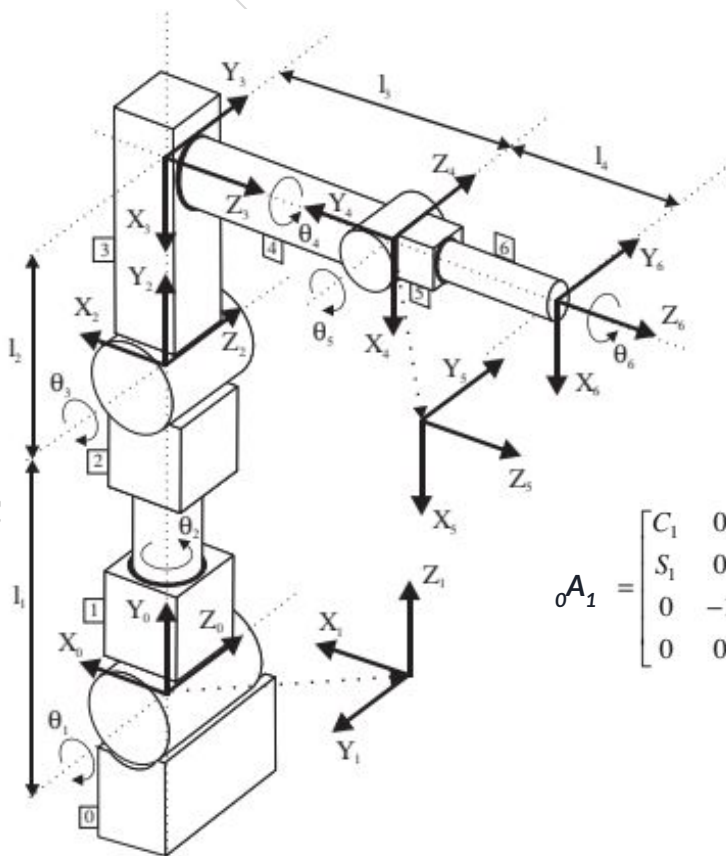


Articulación	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	-90
2	θ_2	l_1	0	90
3	θ_3-90	0	$-l_2$	90
4	θ_4	l_3	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	l_4	0	0

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg



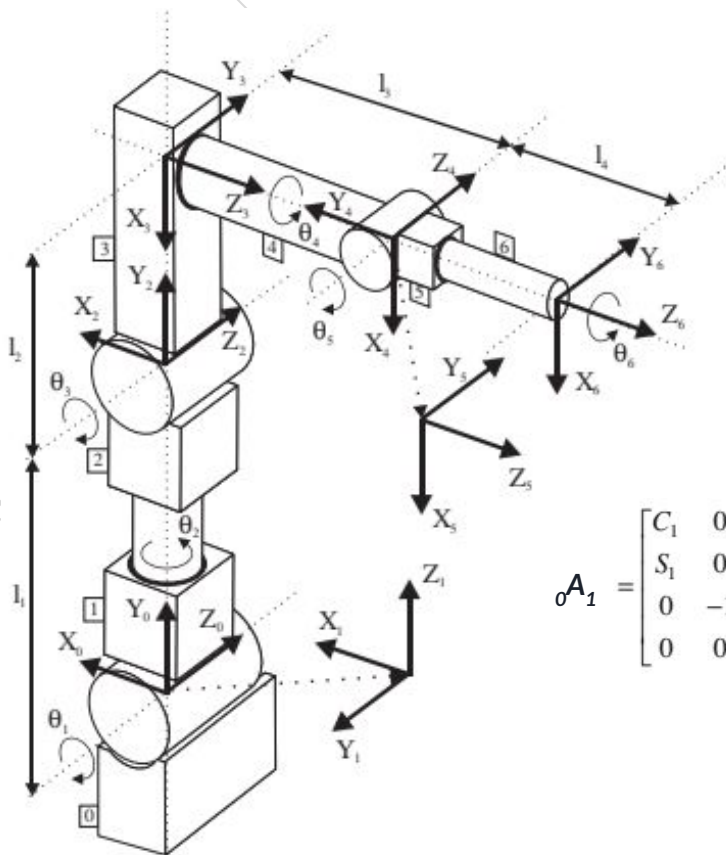
Articulación	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	-90
2	θ_2	l_1	0	90
3	$\theta_3 - 90$	0	$-l_2$	90
4	θ_4	l_3	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	l_4	0	0

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & -C_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg



Articulación	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	-90
2	θ_2	l_1	0	90
3	θ_3-90	0	$-l_2$	90
4	θ_4	l_3	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	l_4	0	0

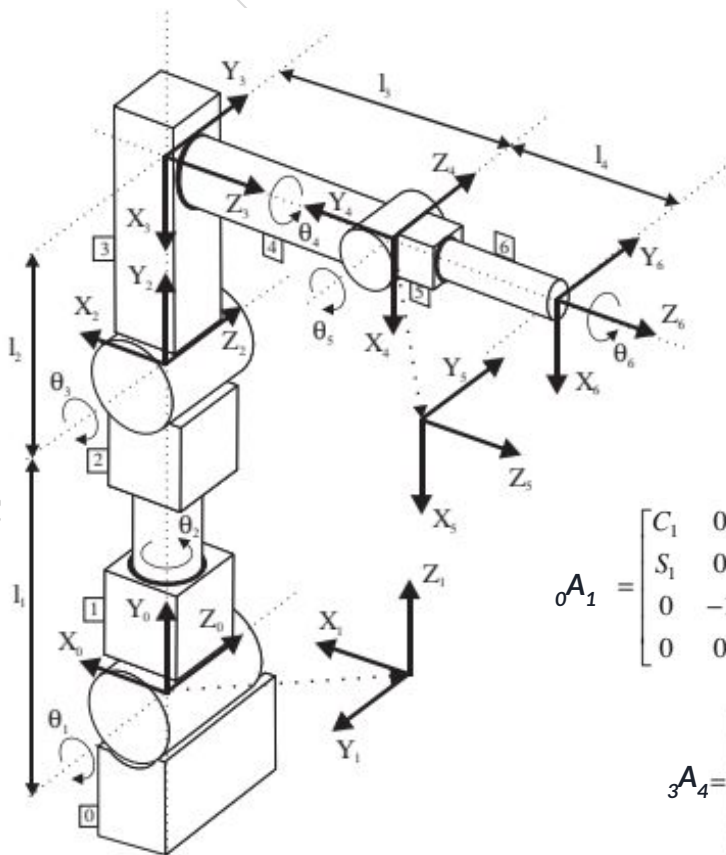
$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & -C_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} S_3 & 0 & -C_3 & -l_2 S_3 \\ -C_3 & 0 & -S_3 & l_2 C_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg



Articulación	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	-90
2	θ_2	l_1	0	90
3	θ_3-90	0	$-l_2$	90
4	θ_4	l_3	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	l_4	0	0

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

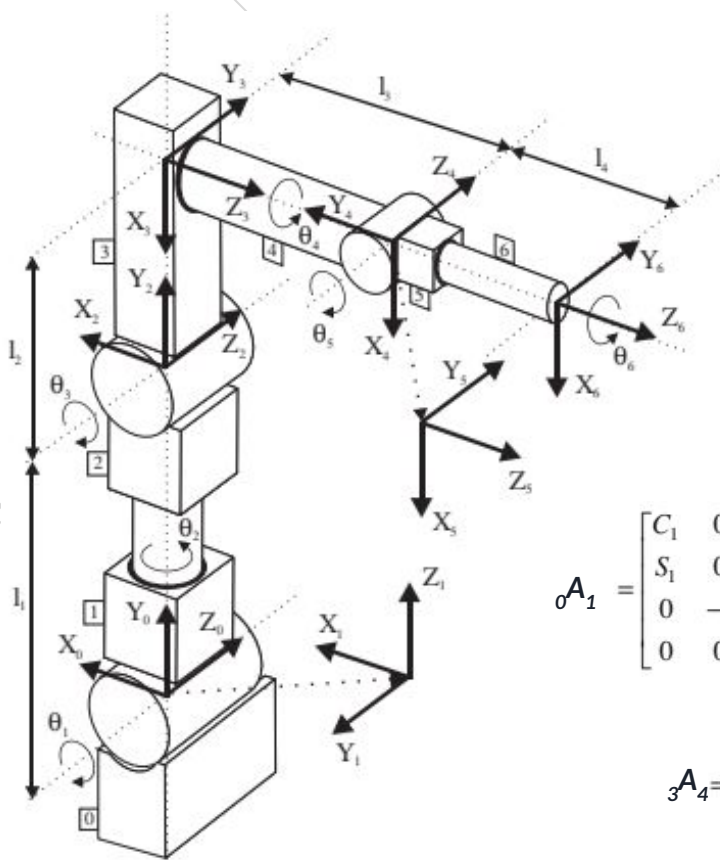
$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & -C_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} S_3 & 0 & -C_3 & -l_2 S_3 \\ -C_3 & 0 & -S_3 & l_2 C_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3A_4 = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Convención de Denavit - Hartenberg



Articulación	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	-90
2	θ_2	l_1	0	90
3	$\theta_3 - 90$	0	$-l_2$	90
4	θ_4	l_3	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	l_4	0	0

$${}_{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & -C_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} S_3 & 0 & -C_3 & -l_2 S_3 \\ -C_3 & 0 & -S_3 & l_2 C_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3A_4 = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4A_5 = \begin{bmatrix} C_5 & 0 & S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & -C_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^5A_6 = \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

FIN!

