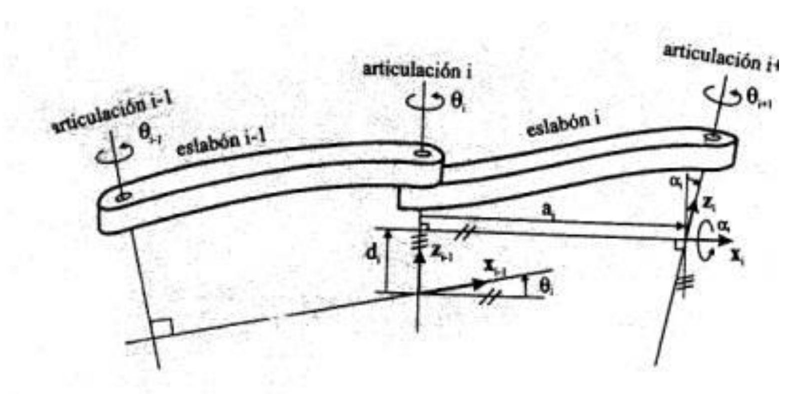
ALGORITMO DENAVITH – HARTENBERG

- **DH1.** Numerar los eslabones comenzando con 1 (primer eslabón móvil dela cadena) y acabando con n (último eslabón móvil). Se numerara como eslabón 0 a la base fija del robot.
- **DH2.** Numerar cada articulación comenzando por 1 (la correspondiente al primer grado de libertad y acabando en n).7
- **DH3.** Localizar el eje de cada articulación. Si esta es rotativa, el eje será su propio eje de giro. Si es prismática, será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.
- **DH4.** Para i de 0 a n-1, situar el eje Zi, sobre el eje de la articulación i+1.
- **DH5.** Situar el origen del sistema de la base (S0) en cualquier punto del eje Z0. Los ejes X0 e Y0 se situaran dé modo que formen un sistema dextrógiro con Z0.
- **DH6.** Para i de 1 a n-1, situar el sistema (Si) (solidario al eslabón i) en la intersección del eje Zi con la línea normal común a Zi-1 y Zi. Si ambos ejes se cortasen se situaría (Si) en el punto de corte. Si fuesen paralelos (Si) se situaría en la articulación i+1.
- **DH7.** Situar Xi en la línea normal común a Zi-1 y Zi.
- **DH8.** Situar Yi de modo que forme un sistema dextrógiro con Xi y Zi.
- **DH9.** Situar el sistema (Sn) en el extremo del robot de modo que Zn coincida con la dirección de Zn-1 y Xn sea normal a Zn-1 y Zn.
- **DH10.** Obtener Øi como el ángulo que hay que girar en torno a Zi-1 para que Xi-1 y Xi queden paralelos.
- **DH11.** Obtener Di como la distancia, medida a lo largo de Zi-1, que habría que desplazar (Si-1) para que Xi y Xi-1 quedasen alineados.
- **DH12.** Obtener Ai como la distancia medida a lo largo de Xi (que ahora coincidiría con Xi-1) que habría que desplazar el nuevo (Si-1) para que su origen coincidiese con (Si).
- **DH13.** Obtener ai como el ángulo que habría que girar en torno a Xi (que ahora coincidiría con Xi-1), para que el nuevo (Si-1) coincidiese totalmente con (Si).
- **DH14.** Obtener las matrices de transformación i-1Ai.
- **DH15.** Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot T = 0Ai, 1A2... n-1An.
- **DH16.** La matriz T define la orientación (submatriz de rotación) y posición (submatriz de traslación) del extremo referido a la base en función de las n coordenadas articulares.



Parámetros DH para un eslabón giratorio.

Los cuatro parámetros de DH (θi, di, ai, αi) dependen únicamente de las características geométricas de cada eslabón y de las articulaciones que le unen con el anterior y siguiente.

1. θi Es el ángulo que forman los ejes Xi-1 y Xi medido en un plano perpendicular al eje Zi-1, utilizando la regla de la mano derecha. Se trata de un parámetro variable en articulaciones giratorias.

2. di Es la distancia a lo largo del eje Zi-1 desde el origen del sistema de coordenadas (i-1)- esimo hasta la intersección del eje Zi-1 con el eje Xi. Se trata de un parámetro variable en articulaciones prismáticas.

3. ai Es a la distancia a lo largo del eje Xi que va desde la intersección del eje Zi-1 con el eje Xi hasta el origen del sistema i-esimo, en el caso de articulaciones giratorias. En el caso de articulaciones prismáticas, se calcula como la distancia mas corta entre los ejes Zi-1 y Zi.

4. αi Es el ángulo de separación del eje Zi-1 y el eje Zi, medido en un plano perpendicular al eje Xi, utilizando la regla de la mano derecha.

Una vez obtenidos los parámetros DH, el cálculo de las relaciones entre los eslabones consecutivos del robot es inmediato, ya que vienen dadas por las matrices A, que se calcula según la expresión general.

Las relaciones entre eslabones no consecutivos vienen dadas por las matrices T que se obtienen como producto de un conjunto de matrices A.

Obtenida la matriz T, esta expresara la orientación (submatriz (3x3) de rotación) y posición (submatriz (3x1) de traslación) del extremo del robot en función de sus coordenadas articulares, con lo que quedara resuelto el problema cinemático directo.

Parámetros DH para el robot.				
Articulación	**θ**	**d**	**a**	**α**
1	**θ1**	**I1**	**0**	**0**
2	**90°**	**d2**	**0**	**90°**
3	**0**	**d3**	**0**	**0**
4	**θ4**	**I4**	**0**	**0**

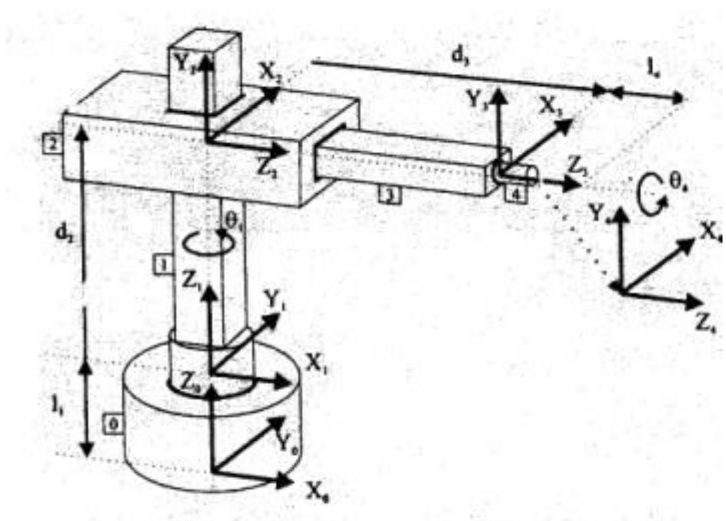


Figura 4.4. Robot cilíndrico del Ejemplo 4.1.

Una vez calculados los parámetros de cada eslabón, se calculan las matrices A:

0A1				**1A2**				**2A3**				**3A4**			
C1	**-S1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**C4**	**-S4**	**0**	**0**
S1	**C1**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**S4**	**C4**	**0**	**0**
0	**0**	**1**	**I1**	**0**	**1**	**0**	**D2**	**0**	**0**	**1**	**D3**	**0**	**0**	**1**	**I4**
0	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**1**

Así pues, se puede calcular la matriz T que indica la localización del sistema final con respecto al sistema de referencia de la base del robot.

T = (0A1)(1A2)(2A3)(3A4) =

-S1C4	**S1S4**	**C1**	**C1(D3+I4)**
C1C4	**C1S4**	**-S1**	**S1(D3+I4)**
S4	**C4**	**0**	**(D2+I1)**
0	**0**	**0**	**1**