

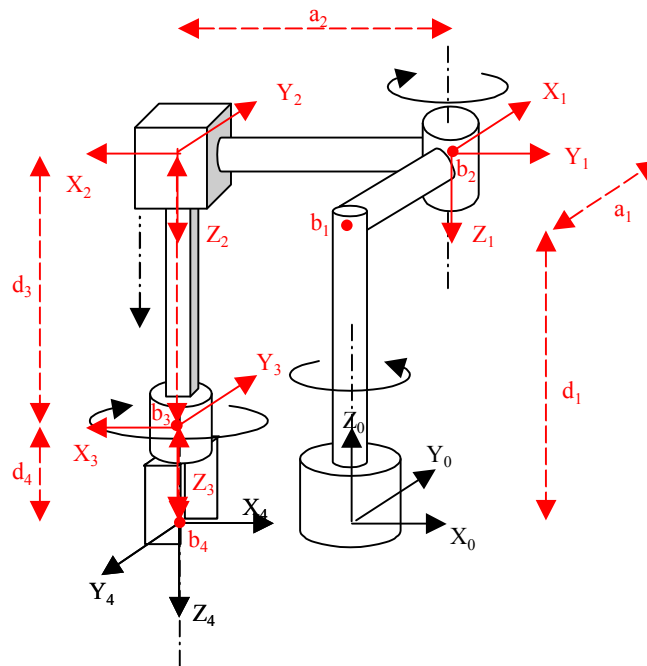
Nom alumne: \_\_\_\_\_ Titulació: ETIS ETIEI EI

Temps màxim de resolució de l'examen : **3 h.**

Per a la resolució de l'examen es pot utilitzar la calculadora i el formulari lliurat pel professor. No està permès consultar cap altre tipus de documentació. Les notes sortiran publicades el 14 de Febrer 2003 i la revisió de l'exàmen es farà el 17 de Febrer a les 9 del matí despatx 016 del PIV.

**1- [1,5 PUNTS]** Apliqueu l'algorisme de DH, dibuixeu els sistemes de coordenades i empleneu la taula. Respecteu com a sentits positius els indicats amb la fletxa.

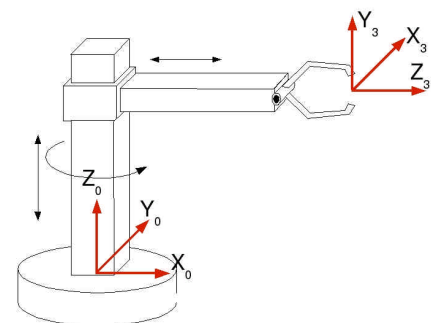
**SOLUCIO:**



	$q_k$	$d_k$	$a_k$	$a_k$	Home
<b>1</b>	$q_1$	$d_1$	$a_1$	$180^\circ$	$90^\circ$
<b>2</b>	$q_2$	0	$a_2$	0	$-90^\circ$
<b>3</b>	0	$q_3$	0	0	$d_3$
<b>4</b>	$q_4$	$d_4$	0	0	$180^\circ$

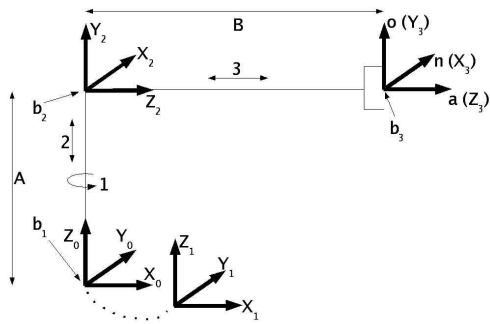
**2 - [1,5 punts]** Resoleu el problema cinemàtic directe del manipulador de la figura. Cal aplicar l'algorisme de DH, situar els sistemes de coordenades, omplir la taula, obtenir les matrius  ${}^{i-1}A_i$  i calcular la  ${}^R T_H$  simbòlica.

**Nota:** Respecteu com a sentits positius els indicats amb la fletxa.



	$q_k$	$d_k$	$a_k$	$a_k$	Home
<b>1</b>					
<b>2</b>					
<b>3</b>					

**SOLUCIO:**



	q	d	a	a	HOME
1	q1	0	0	0	0
2	90°	q2	0	90	A
3	0	q3	0	0	B

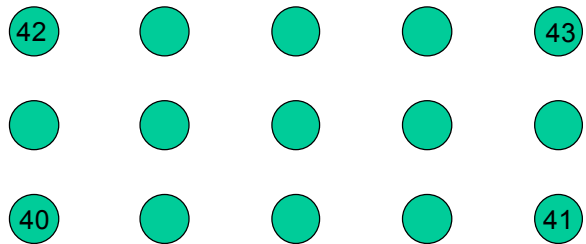
$${}^0A_1 = \begin{pmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} {}^1A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & q_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} {}^2A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^0A_3 = \begin{pmatrix} -S_1 & 0 & C_1 & q_3 C_1 \\ C_1 & 0 & S_1 & q_3 S_1 \\ 0 & 1 & 0 & q_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = {}^R T_H$$

**3 - [2,5 punts]** Es vol realitzar un programa per pintar un conjunt de peces situades en un pal·let. Es tracta de recórrer cada una de les caselles a una certa distància i pintar-les durant un interval de temps. Utilitzarem el robot Mitsubishi de pràctiques el qual incorpora una pistola de pintura en l'ET, i el llenguatge de programació MRL. Vegeu l'esquema següent que descriu l'estructura del pal·let i les posicions que ja tenim prèviament memoritzades.

Escriu un programa que realitzi aquesta tasca tenint en compte:

- utilitzeu les comandes específiques per treballar amb pal·lets
- realitzeu un bucle que repeteixi el procés per les 15 peces
- recorreu el pal·let de fila en fila
- manteniu una distància de 40 mm entre l'ET i el pal·let
- per activar/desactivar la pistola de pintura, activeu/desactiveu la sortida digital 8
- pinteu cada una de les peces durant 2.5 segons
- comenteu el codi



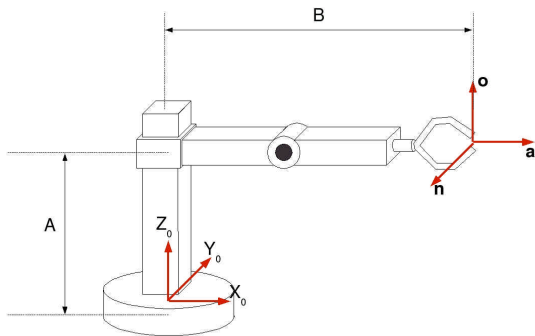
**SOLUCIO:**

Una possible solució:

- 10 PA 4,5,3 % inicialitzem el pal·let num. 4, amb 5 columnes i 3 files
- 20 SC 41,1 % posició inicial del palet
- 30 SC 42,1
- 40 RC 15 % repetim per les 15 peces
- 50 PT 4 % calculem el pal·let num. 4
- 60 MT 4,-40 % ens movem a la casella actual i a 40 mm
- 70 OB +8 % activem la pistola de pintura
- 80 TI 25 % esperem 2.5 segons
- 90 OB -8 % desactivem la pistola de pintura
- 100 IC 41 % incrementem la columna

110 CP 41      % carreguem el valor de la columna al registre intern  
 120 SM 6, 150    % si el registre intern és inferior a 6 saltem a la 150  
 130 IC 42        % incrementem la fila en cas que no ho sigui  
 140 SC 41,1     % també inicialitzem la columna  
 150 NX            % fi del bucle  
 160 ED            % fi del codi

**4 - [1 PUNT]** Fixeu-vos en el manipulador de la figura i la  ${}^R T_H$  que descriu la posició i orientació de la ma respecte la base del robot. Busqueu errors en el conjunt manipulador i en la matriu  ${}^R T_H$ . Doneu una solució per cada error.



$${}^R T_H = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & B/2 \\ -1 & 0 & 0 & B/2 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

**SOLUCIO:**

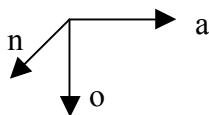
Hi ha dos errors:

1- La translació continguda en la matriu  ${}^R T_H$  no és correcta. Hauria de ésser:

$${}^R h = \begin{pmatrix} B \\ 0 \\ A \end{pmatrix}$$

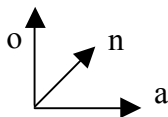
2- El sistema de coordenades de l'element terminal no és dextrogrir. Això és pot solucionar de dues maneres:

a. Canviant el sentit del vector orientació. En aquest cas la matriu de rotació continguda en la  ${}^R T_H$  ja és correcte.



$${}^R T_H = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & B \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & A \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

b. Canviant el sentit del vector normal. En aquest cas s'ha de canviar també la matriu de rotació continguda en la  ${}^R T_H$ .

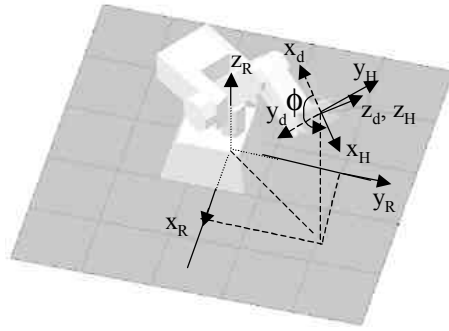
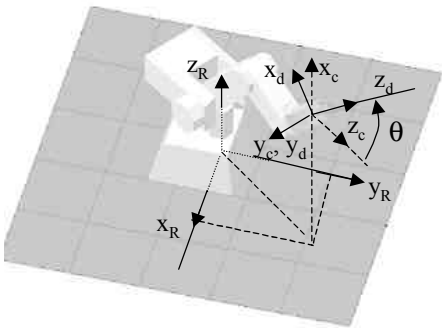
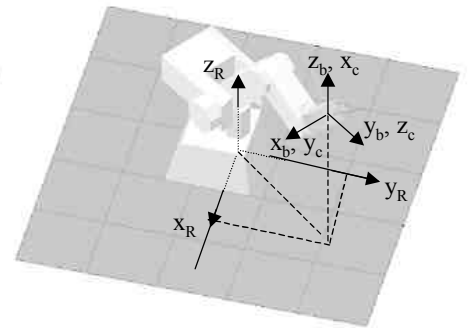
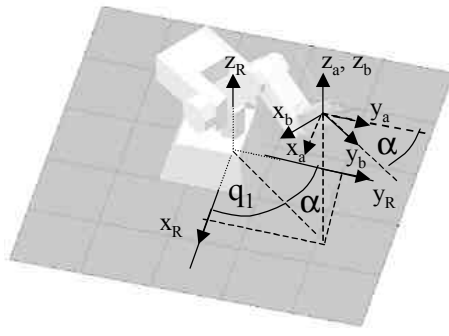
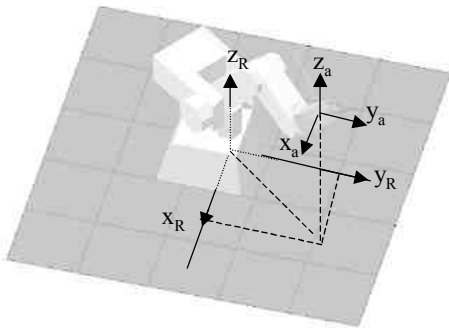


$${}^R T_H = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & B \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & A \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

**5- [2 PUNTS]** La figura següent mostra la seqüència de transformacions simples {a,b,c,d} que cal aplicar a la base {R} per tal d'arribar a la mà {H} del robot RV-M1.

**Es demana:**

Trobar l'expressió simbòlica de la matriu  ${}^R T_H$  en funció de  $q_1$ ,  $q$  y  $f$ , que s'obté del producte de cada una de les transformacions.



**SOLUCIO:**

$${}^R T_H = {}^R T_A \cdot {}^A T_B \cdot {}^B T_C \cdot {}^C T_D \cdot {}^D T_H$$

$${}^R T_A = \text{Trasl}({}^R h) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & {}^R h_x \\ 0 & 1 & 0 & {}^R h_y \\ 0 & 0 & 1 & {}^R h_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$90^\circ = q_1 + \mathbf{a}$$

$${}^A T_B = \text{RotZ}(-\mathbf{a}) = \text{RotZ}(q_1 - 90^\circ) = \begin{pmatrix} c(q_1 - 90^\circ) & -s(q_1 - 90^\circ) & 0 & 0 \\ s(q_1 - 90^\circ) & c(q_1 - 90^\circ) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^B T_C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^C T_D = \text{RotY}(\mathbf{q}) = \begin{pmatrix} c\mathbf{q} & 0 & s\mathbf{q} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\mathbf{q} & 0 & c\mathbf{q} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

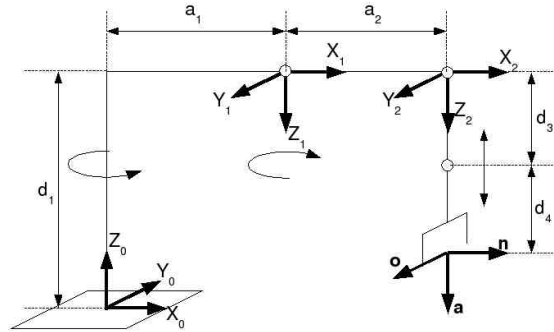
$${}^D T_H = \text{RotZ}(\mathbf{f}) = \begin{pmatrix} c\mathbf{f} & -s\mathbf{f} & 0 & 0 \\ s\mathbf{f} & c\mathbf{f} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$b = q_1 - 90^\circ$$

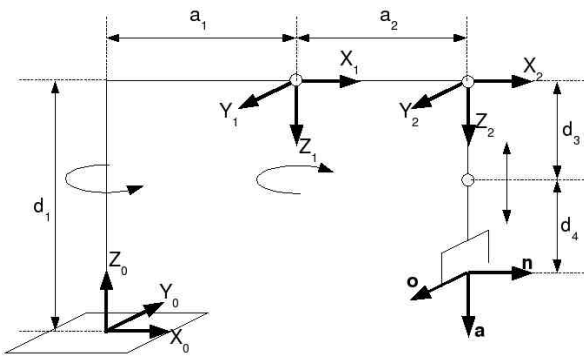
$${}^R T_H = \begin{pmatrix} sb \cdot sq \cdot cf + cb \cdot sf & -sb \cdot sq \cdot sf + cb \cdot cf & -sb \cdot cq & {}^R h_x \\ -cb \cdot sq \cdot cf + sb \cdot sf & cb \cdot sq \cdot sf + sb \cdot cf & cb \cdot cq & {}^R h_y \\ cq \cdot cf & -cq \cdot sf & sq & {}^R h_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

**6- [1,5 punt]** Solucioneu el problema cinemàtic invers mitjançant el mètode geomètric del següent manipulador del qual es coneix la seva  ${}^R T_H$ . Especifiqueu clarament les operacions mitjançant les quals heu assolit els resultats.

$${}^R T_H = \begin{pmatrix} C_{1-2} & S_{1-2} & 0 & a_1 \cdot C_1 + a_2 \cdot C_{1-2} \\ S_{1-2} & -C_{1-2} & 0 & a_1 \cdot S_1 + a_2 \cdot S_{1-2} \\ 0 & 0 & -1 & d_1 - q_3 - d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



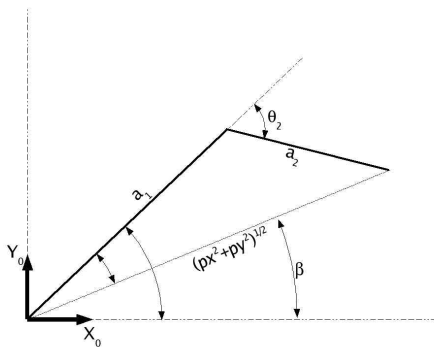
**SOLUCIO:**



Solució algebraica:

$$\begin{aligned} q_3 &= d_1 - d_4 - p_z \\ q_1 &= \text{atan2}(p_y - a_2 \cdot o_x, p_x - a_2 \cdot n_x) \\ q_{1-2} &= \text{atan2}(o_x, n_x) \\ q_2 &= q_1 - q_{1-2} \end{aligned}$$

Solució geomètrica (aplicant el t<sup>ma</sup> del cosinus):



$$\begin{aligned} p_x^2 + p_y^2 &= a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos(q_2) \\ q_2 &= \arccos\left(\frac{p_x^2 + p_y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1 a_2}\right) \\ d_3 &= d_1 - d_3 - p_z \\ a &= \text{atan2}(a_2 \sin(q_2), a_1 + a_2 \cos(q_2)) \\ b &= \text{atan2}(p_y, p_x) \\ q_1 &= b - a \end{aligned}$$