

Diseño de software para la modelación de manipuladores con Matlab y simulación 3D con RoboWorks

Wilmer Sanz⁽¹⁾, Clemente Herrera⁽²⁾, Luis Obediente⁽¹⁾

⁽¹⁾Unidad de Investigación en Automatización Industrial, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Dpto. de Sistemas y Automática. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

⁽²⁾Instituto Universitario Experimental de Tecnología La Victoria, La Victoria, Venezuela
Postgrado en Instrumentación, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela
Email: wsanz@uc.edu.ve, clemente_herrera@cantv.net, lobedien@uc.edu.ve

Resumen

Este artículo describe el software para la modelación de robots industriales, PGIBOT Mat, el cual se ha desarrollado mediante la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) de Matlab como una herramienta para facilitar el uso de una Toolbox de robótica y como un medio para generar archivos de simulación en el ambiente 3D de RoboWorks. La Toolbox referida constituye un desarrollo personal para aplicar nueve tipos de transformaciones homogéneas, determinar las transformaciones que definen el movimiento relativo entre eslabones consecutivos de una cadena cinemática, realizar el estudio cinemático directo y simular el funcionamiento de un "Teach Pendant" en la planificación de tareas simples para Robots Industriales (RI) con seis o menos grados de libertad.

Palabras clave: PGIBOT Mat, RoboWorks, GUI de Matlab.

Software design for modeling of manipulator robots with Matlab and 3D simulation with RoboWorks

Abstract

This paper describes the software PGIBOT Mat for modeling of industrial robots, developed with Matlab Graphical User Interface (GUI) as a tool to facilitate the use of a robotic Toolbox and a way to generate simulations files in RoboWorks 3D environment. The developed Toolbox can be applied to nine types of homogenous transformations, determine the transformations which define the relative movement among consecutive links of kinematics chain, perform the direct kinematics study and simulate the operation of a Teach Pendant in the planning of simple tasks for Industrial Robots (IR) with six or less limiting degrees.

Keywords: PGIBOT Mat, RoboWorks, Matlab GUI.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación se basa en el trabajo de Peter Corke [1, 2], y se inicia con la tarea de crear una Toolbox de robótica que incluya funciones para facilitar las labores de cálculo en el caso de los problemas cinemáticos directo e inverso, llegando al desarrollo del software PGIBOT Mat [3] con la interfaz gráfica de Matlab [4] que sirve de enlace entre la Toolbox [5] y el programa RoboWorks Versión Demo 2.0 de la empresa Newtonium [6, 7]. RoboWorks es utilizado para simular el movimiento de robots

manipuladores en ambiente 3D usando como entrada archivos editables, los cuales son generados por PGIBOT Mat. Se logra así visualizar, desde el efecto ocurrido al aplicar variaciones en los parámetros de articulaciones hasta el recorrido de una trayectoria calculada mediante técnicas de interpolación, a partir de una breve cantidad de puntos definidos con anticipación.

El software requiere como entrada la tabla de

parámetros de Denavit-Hartenberg (DH) [8,9] del manipulador o un archivo editable que contenga los puntos básicos de una trayectoria deseada para el efecto final; y se generan como salidas la matriz de transformación homogénea del robot, ecuaciones de los parámetros articulares o archivos con el formato requerido para realizar animaciones en el ambiente 3D de RoboWorks.

2. TRANSFORMACIONES HOMOGÉNEAS

En la Figura 1 se muestra el menú principal de PGIBOT Mat, el cual se invoca desde la ventana de comandos de Matlab. Como se observa, la primera opción permite el cálculo de distintas transformaciones para describir el cambio de situación (posición y orientación) [10] de un cuerpo sólido, lo cual constituye la acción básica llevada a cabo por un Robot Industrial, RI (Figura 2).

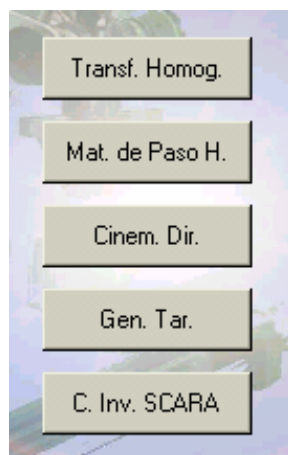


Figura 1. Opciones de PGIBOT Mat.

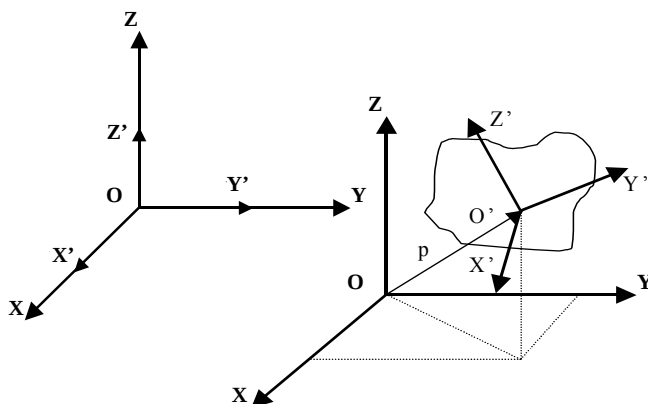


Figura 2. Cambios de situación de un objeto.

Se han programado nueve posibles transformaciones en el espacio homogéneo, tres de rotación simple alrededor de los ejes cartesianos X, Y, Z; tres de rotación seguida de traslación según un vector dado y tres de traslación seguida de rotación. La Figura 3 muestra cómo basta definir un ángulo de giro y un vector para calcular la transformación deseada, los resultados se visualizan en la ventana de comandos de Matlab.



Figura 3. Transformaciones homogéneas calculables.

Cada opción en la Figura 3 ejecuta un *script* en el que se ha programado el cálculo de la transformación correspondiente. Así, por ejemplo, la opción T->RX ejecuta los comandos mostrados a continuación, los cuales corresponden a la Ecuación (1).

```
function tr = transrotx(px,py,pz,alpha)
if nargin == 4,
    a=alpha*pi/180;
    ca = cos(a);
    sa = sin(a);
    tr = [1 0 0 px
          0 ca -sa (py.*ca-pz.*sa)
          0 sa ca (py.*sa+pz.*ca)
          0 0 0 1];
elseif nargin == 2,
    a=py*pi/180;
    ca = cos(a);
    sa = sin(a);
    tr = [1 0 0 px(1)
          0 ca -sa (px(2).*ca-px(3).*sa)
          0 sa ca (px(2).*sa+px(3).*ca)
          0 0 0 1];
end
```

$$T(p, (x, \alpha)) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & px \\ 0 & C\alpha & -S\alpha & pyC\alpha - pzS\alpha \\ 0 & S\alpha & C\alpha & pyS\alpha + pzC\alpha \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

3. MATRICES DE PASO HOMOGÉNEAS

El movimiento relativo entre eslabones consecutivos de una cadena cinemática se describe a través de matrices de transformación calculadas como el producto de cuatro matrices correspondientes a los movimientos individuales de sistemas de coordenadas generalizadas que determinan los parámetros DH [10] (Figura 4).

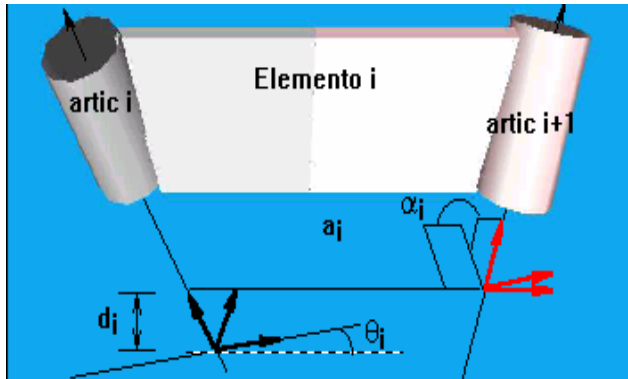
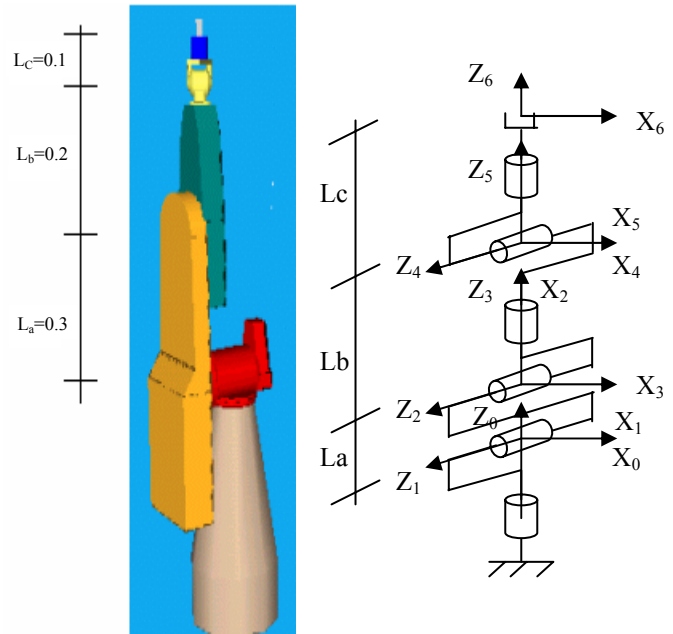


Figura 4. Parámetros DH en un eslabón típico.

La Ecuación (2) define a la llamada matriz de paso homogéneo. Se usa aquí una notación simplificada en la que Sl y $C1$ corresponden a $\sin(\theta_i)$ y $\cos(\theta_i)$, respectivamente.

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta & -C\alpha S\theta & S\alpha S\theta & aC\theta \\ S\theta & C\alpha C\theta & -S\alpha C\theta & aS\theta \\ 0 & S\alpha & C\alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

En la Figura 5 se muestra como pueden determinarse hasta seis matrices de paso homogéneas, sus inversas y la matriz de transformación general ($T = {}^0A_1 * {}^1A_2 * {}^2A_3 * {}^3A_4 * {}^4A_5 * {}^5A_6$), para un robot PUMA de seis grados de libertad. Solamente se requiere introducir la tabla de parámetros DH del Robot y presionar los botones correspondientes. En este ejemplo, se ilustra el cálculo de (2) para la fila 6 de la tabla de parámetros DH adjunta. Los resultados se visualizan en la misma ventana gráfica y en la ventana de comandos de Matlab.



Artic.	θ	d	a	α	q
1	q	0	0	90	θ_1
2	q	0	L_a	0	θ_2
3	q	0	0	-90	θ_3
4	q	L_b	0	90	θ_4
5	q	0	0	-90	θ_5
6	q	L_c	0	0	θ_6

Parámetros DH									
	th	d	a	alf	q				
1	0	0	0	90	th	MPH1	Imph1		
2	90	0	0.3	0	th	MPH2	Imph2		
3	-90	0	0	-90	th	MPH3	Imph3		
4	0	0.2	0	90	th	MPH4	Imph4		
5	0	0	0	-90	th	MPH5	Imph5		
6	0	0.1	0	0	th	MPH6	Imph6		

(i-1) A (i)									
	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Matriz T									

Figura 5. Ejemplo de cálculo de la matriz T para un robot Puma de 6 grados de libertad.

4. CINEMÁTICA DIRECTA

El cálculo de la matriz de transformación T de un robot constituye la solución de su cinemática directa [10, 11]. Sin embargo, esta opción de PGIBOT Mat complementa el cálculo de la opción anterior con la generación de un archivo para simular movimiento en el software RoboWorks. La Figura 6 muestra las opciones ofrecidas para producir archivos de movimiento para siete Manipuladores diferentes.



Figura 6. Opciones de simulación para cinemática directa.

Por ejemplo, al seleccionar la primera de estas opciones se despliega la imagen de la Figura 7. En este caso específico, PGIBOT Mat contempla la introducción de variaciones para los ángulos de las seis articulaciones rotoides. Las posiciones angulares finales indicadas pueden observarse en RoboWorks luego de generar el archivo con extensión “.dat” indicado. Una sección del script programado para la ventana de la Figura 7 se muestra a continuación y enseguida se adjunta parte del archivo de simulación generado. Finalmente, la Figura 8 muestra dos escenas capturadas en RoboWorks durante el proceso de simulación.

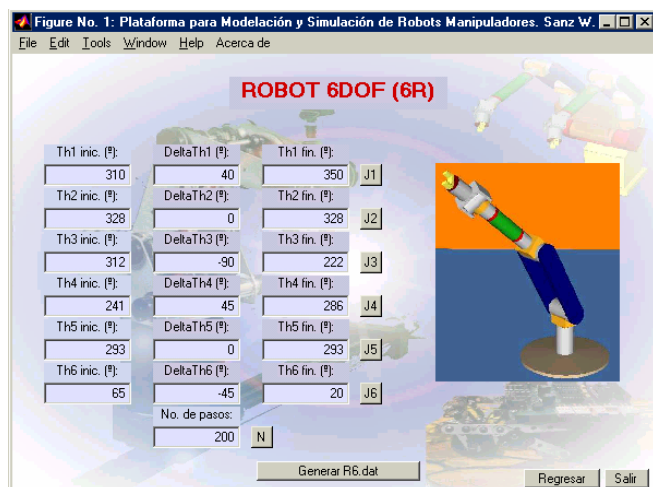


Figura 7. Ventana para simulación de cinemática directa del robot 6DOF de RoboWorks.

```
fid = fopen('c:\Archivos de
programa\Newtonium\RoboWorks\Examples\R6
.dat','wt');
fprintf(fid,'%s %s %s %s %s %s\n',
'Joint_One', 'Joint_Two', 'Joint_Three',
'Joint_Four', 'Joint_Five',
'Joint_Six');
J1inic = th1;
J1fin = th1 + th1plus;
.
.
.
J6inic = th6;
J6fin = th6 + th6plus;
if J1inic==J1fin
    J1=J1inic*ones([1 N+1]);
else
    J1=J1inic:(J1fin-J1inic)/N:J1fin;
end
if J6inic==J6fin
    J6=J6inic*ones([1 N+1]);
else
    J6=J6inic:(J6fin-J6inic)/N:J6fin;
end
M=[J1; J2; J3; J4; J5; J6];
fid = fopen('c:\Archivos de
programa\Newtonium\RoboWorks\Examples\R6
.dat','at');
fprintf(fid,'%4.2f %4.2f %4.2f %4.2f %
4.2f %4.2f\n',M);
fclose(fid);
fclose('all');
```

Joint_One	Joint_Two	Joint_Three	Joint_Four	Joint_Five	Joint_Six
310.00	328.00	312.00	241.00	293.00	65.00
310.20	328.00	311.55	241.22	293.00	64.78
310.40	328.00	311.10	241.45	293.00	64.55
310.60	328.00	310.65	241.68	293.00	64.33
.	.	.	.	.	.
349.60	328.00	222.90	285.55	293.00	20.45
349.80	328.00	222.45	285.77	293.00	20.23
350.00	328.00	222.00	286.00	293.00	20.00

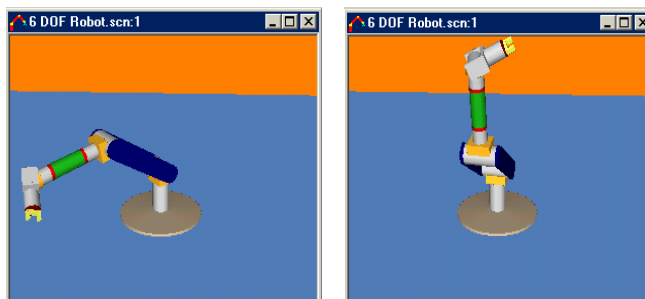


Figura 8. Verificación de cinemática directa en RoboWorks.

5. GENERACIÓN DE TAREAS

Debido a la complejidad del problema cinemático inverso [12, 13], el trabajo de manipuladores industriales suele programarse a partir de la definición de puntos clave de la trayectoria a seguir y el uso de interpolaciones [11]. Esto se hace a través del dispositivo conocido como *Teach Pendant*. PGIBOT Mat ofrece la posibilidad de simular el trabajo con este dispositivo para un grupo de siete robots (Figura 9) y tres comandos comunes a todos los lenguajes de programación para manipuladores. En el ambiente de RoboWorks, los robots se posicionan en los puntos deseados a través del teclado y los valores de los parámetros articulares se anotan en un archivo editable con extensión “.try” como el mostrado en la Figura 10. Ese archivo “.try” sirve de entrada a PGIBOT Mat para generar el archivo de simulación correspondiente de RoboWorks (Figura 9), mediante un proceso de interpolación.



Figura 9. Ventana para generación de tareas simuladas.

```
home 0000 0000 0000 0000 0000 0000
move 0010 -080 -050 -040 -010 0000
clos
move 0100 -080 -050 -040 -010 0000
open
move 0190 -080 -050 -040 -010 0000
clos
move 0280 -080 -050 -040 -010 0000
open
move 0370 0000 0000 0000 0000 0000
.end
```

Figura 10. Archivo ‘.try’.

La Figura 11 muestra una trayectoria fijada para el mismo robot PUMA estudiado anteriormente. La

Figura 12 ilustra la simulación en RoboWorks al seguir esta trayectoria de acuerdo con el archivo “.dat” generado con PGIBOT Mat.

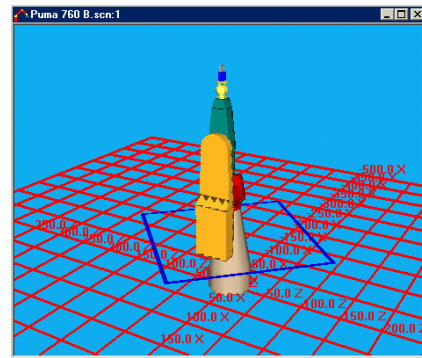


Figura 11. Trayectoria deseada para el robot virtual PUMA 760.

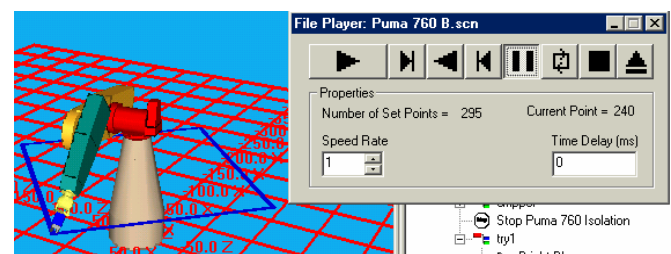
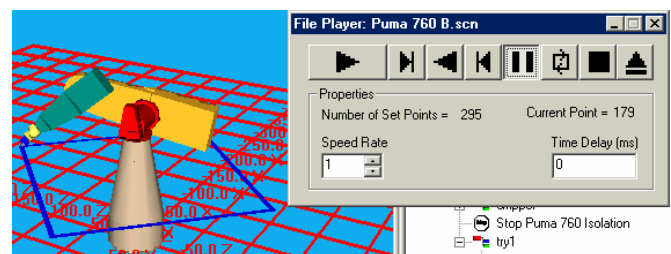
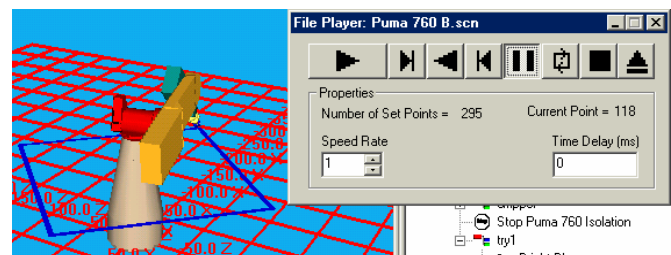
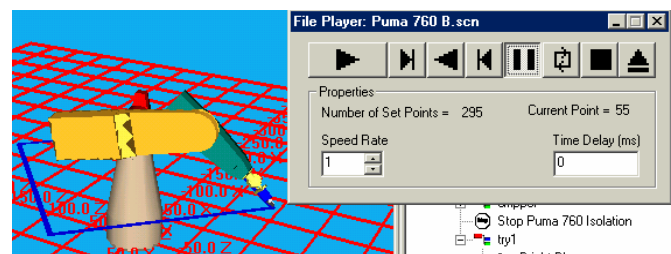


Figura 12. Animación de seguimiento de una trayectoria en RoboWorks.

6. CINEMÁTICA INVERSA DE UN ROBOT SCARA

La obtención del modelo cinemático inverso de un RI es una labor complicada. En esta primera versión, PGIBOT Mat incorpora una opción para verificar, mediante simulación en RoboWorks, el modelo cinemático inverso de un robot usado en labores de empaquetado y ensamblaje [14] SCARA (Figura 13), expresado en las Ecuaciones (3), (4) y (5). En ellas P_x , P_y , P_z son las componentes del vector posición del TCP, respecto a un sistema de referencia ubicado en la base del robot. θ_1 , θ_2 y d_3 son los parámetros de las articulaciones del robot.

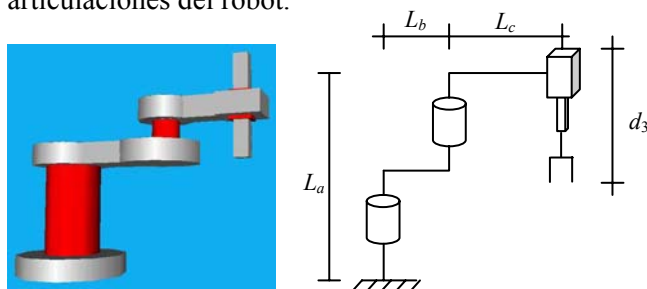


Figura 13. Robot SCARA.

$$\theta_2 = \pm \cos^{-1} \left(\frac{p_x^2 + p_y^2 - L_b^2 - L_c^2}{2 L_b L_c} \right) \quad (3)$$

$$\theta_1 = \pm \cos^{-1} \left(\frac{p_x L_b + L_c (p_x \cos \theta_2 + p_y \sin \theta_2)}{p_x^2 + p_y^2} \right) \quad (4)$$

$$d_3 = L_a - p_z \quad (5)$$

La Figura 14 presenta la ventana de PGIBOT Mat para la evaluación del modelo cinemático anterior. Nuevamente, se genera un archivo de simulación para RoboWorks donde puede visualizarse si la posición final del TCP es la deseada (Figura 15).

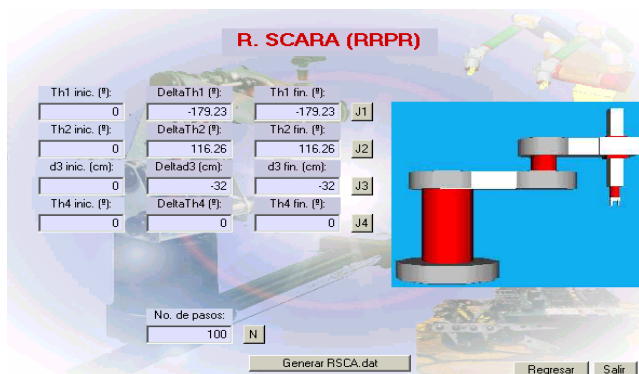
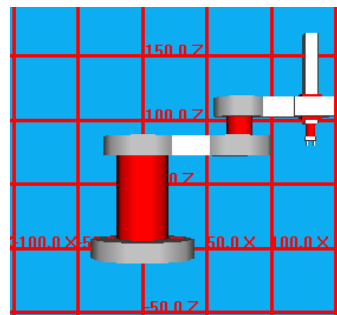


Figura 14. Ventana de PGIBOMAT para cinemática inversa de robot SCARA.



px = 30
py = 70
th1 = 24.14 °
th2 = 110.21 °

px = 30
py = 70
th1 = 109.47 °
th2 = -110.21

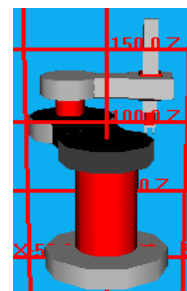
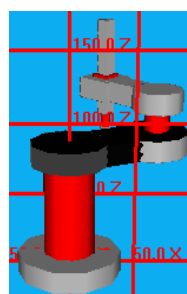


Figura 15. Comprobación de resultados para $(p_x, p_y) = (30, 70)$.

7. CONCLUSIONES

Se ha demostrado que PGIBOT Mat es una herramienta que permite principalmente dos cosas: usar en un entorno gráfico parte de los comandos de una Toolbox de robótica para obtención de modelos cinemáticos de Robots Industriales; y generar archivos para simulación de tareas y verificación de los modelos cinemáticos obtenidos, en el ambiente 3D del software RoboWorks. Se presenta así como una valiosa herramienta que facilita en gran medida la evaluación de distintos modelos de Manipuladores Industriales y permite realizar un trabajo a nivel virtual como paso previo al uso de Robots reales.

REFERENCIAS

- [1] Corke, P. (1996). A robotics toolbox for MATLAB. IEEE Robotics and Automation Magazine, 3(1):24-32.
- [2] Corke, P. (2001). www.cat.csiro.au/cmst/staff/pic/pic.html [en línea]. Último acceso: 09-06-2004.
- [3] Sanz, W. (2003). PGIBOT Mat 1.0 [cd-rom] Biblioteca Rental de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo, Venezuela.
- [4] The MathWorks Inc. (1997). Building GUI's with MATLAB. [cd rom].
- [5] Sanz, W. (2003). Plataforma Virtual Interactiva para la Modelación y Simulación de Robots bajo el Ambiente de Programación de Matlab. Biblioteca de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela.
- [6] Kapoor, C (2000). RoboWorks Demo 2.0. www.newtonium.com [en línea]. Ultimo acceso: 09-06-2004.
- [7] Taylor, R. Kapoor, C. Tesar, D. (2004). Automatic Generation of Robot Interface Specifications and Representations. Proceedings of IEEE Conference on Robotics and Automation, New Orleans.
- [8] Paul, R. (1981). Manipulators. Programming and control. Massachusetts: MIT Press.
- [9] Desai, J. D-H Convention and Forward Kinematics. <http://prism.mem.drexel.edu/desi/MRI> [en línea]. Último acceso 09-06-2004.
- [10] Barrientos, A., Peñín, L., Balaguer, C. y Aracil, R. I. (1997). Fundamentos de Robótica. Madrid: Mc Graw Hill.
- [11] Fu, K., González, R. y Lee, C. (1994). Robótica. Control, Detección, Visión e Inteligencia. México: Mc Graw Hill.
- [12] Kumar, V. Robot Geometry and Kinematics. www.seas.upenn.edu/~meaml00/handouts/robotkin.pdf [en línea]. Último acceso 09-06-2004.
- [13] Sciavicco, L. y Siciliano, B. (1996). Modeling and Control of Robots Manipulators. New York: Mc Graw Hill.
- [14] Rentería, A. y Rivas, M. (2000). Robótica Industrial. Fundamentos y aplicaciones. Madrid: Mc Graw Hill.