

ROBCAD

C.A.D. para Robótica

Oswaldo Alberto Driollet
Universidad Nacional de San Juan
Av. Libertador Gral. San Martín 1109 (Oeste)
5400 - San Juan Argentina

RESUMEN

ROBCAD es un C.A.D. para robótica diseñado para asistir al estudio de las regiones de acceso de un manipulador robótico y a su problema cinemático, considerando este último tanto en sus aspectos directo como inverso.

En ambas áreas permite la solución de las siete estructuras de manipuladores robóticas más importantes: rotacional, cuadrilátero deformable, S.C.A.R.A., polar, tipo Puma, cilíndrica y cartesiana. El estudio de las regiones de acceso permite graficación en alta resolución en 2D y 3D, conocimiento, comparación y superposición de áreas y volúmenes de acceso, determinación de distancias máximas, mínimas y entre puntos, programación de tareas en forma gráfica en 2D y 3D, así como otros tópicos relacionados a esta área.

Soluciona la cinemática directa no sólo de las estructuras predefinidas arriba nombradas, sino también la de cualquier estructura de diseño del usuario. Posibilita la obtención de cualquiera de las matrices de transformación de la estructura y el conocimiento de los vectores normal y orientación de cualesquiera de los elementos de la misma. Permite la generación autoregresiva de las expresiones cinemáticas simbólicas del manipulador.

Permite solucionar la cinemática inversa mediante trigonome-

tría espacial, posibilitando obtener soluciones numéricas y gráficas en 2D y 3D en una amplia variedad de aspectos.

1. Introducción

El presente trabajo intenta describir la potencialidad ofrecida por ROECAD al usuario que aborda el problema de la solución cinemática de un manipulador robótico, y de su región de acceso, considerando el presente estudio para manipuladores de hasta seis grados de libertad.

El estudio de las regiones de acceso de un manipulador es un importante tópico pocas veces abordado, y permite mediante su conocimiento geométrico y analítico, la determinación de las reales bondades operativas del mismo.

Esto es, permite conocer de una forma completa las posibilidades de acceso y planificación de tareas dentro del ámbito de trabajo definido por el tipo particular de estructura del manipulador considerado.

Por otro lado la cinemática del brazo del robot trata sobre el estudio analítico de la geometría de movimiento del mismo con respecto a un sistema coordinado de referencia fijo en función del tiempo, sin considerar las fuerzas o momentos que originan dichos movimientos. En este sentido pueden definirse dos planteos:

- 1) Para un manipulador determinado, dado el vector de coordenadas generalizadas $q(t)$, (rotaciones y traslaciones de cada junta), y los parámetros geométricos de la estructura, con n grados de libertad, determinar cual es la orientación y la posición del extremo final del manipulador con respecto a un sistema de coordenadas de referencia. Este constituye el problema Cinemático Directo.

2) Dada la posición y orientación deseada del elemento final del manipulador y los parámetros geométricos de la citada estructura con referencia a un sistema fijo, saber si puede el manipulador alcanzar la posición y orientación de la mano que se desea. Y también, si es posible, determinar cuántas configuraciones diferentes del manipulador satisfacen la misma condición. Esta cuestión constituye el problema Cinemático Inverso.

2. Motivaciones

Las motivaciones fundamentales del trabajo están dadas en la necesidad de establecer una relación entre el espacio articular y el espacio cartesiano, y su relación inversa, mediante un ordenador personal, por cuanto la complejidad matemática de los cálculos requeridos, así como la diversidad de estructuras y parámetros de diseño involucrados hacen que el proyecto de un paquete de software con tales características resulte de sumo interés al diseñador. Este enfoque se complementa con similares razones relacionadas a las regiones de acceso, posibilitándose un estudio total tanto de las facilidades operativas de un manipulador relacionadas a su ámbito de trabajo, así como de sus particularidades cinemáticas.

Este tipo de herramientas computacionales muy utilizadas en diferentes ramas de la ingeniería se conoce como diseño asistido por computador (C.A.D.).

ROECAD se propone de manera tal que se pueda facilitar el diseño y/o estudio de distintas estructuras de manipuladores robóticos con un mínimo de tiempo y esfuerzo, dando la posibilidad al usuario de elegir entre un amplio menú de opciones de manera de poder conocer su diseño de una forma acabada.

3. Estructura informática

Para lograr un sistema de mayor versatilidad y mejor funcionalidad se definió una estructura en base a overlays o recubrimientos. Estos recubrimientos han sido ubicados en el sistema en las discontinuidades lógicas del código, como son las áreas referentes a los menús de opciones brindados al usuario, posibilitando así optimizar el rendimiento en función del tiempo.

Asimismo la comunicación entre módulos se efectuó en base a la definición de variables globales permitiendo con la citada estructura obviar la grabación y lectura de archivos de comunicación y transferencia de variables, logrando el consiguiente ahorro de tiempo de acceso a disco y de espacio físico.

Por otra parte todo el sistema se diseñó con una técnica modular, para permitir futuras ampliaciones de las posibilidades del mismo. Así, un futuro módulo informático puede ser incorporado sin ningún tipo de problemas, aumentando de este modo la potencia de todo el paquete disponible.

4. Descripción general de las posibilidades de ROECAD

4.1 Descripción preliminar

Todo el sistema ha sido desarrollado pensando en atender no sólo a una elevada confiabilidad y rapidez, sino también en hacerlo amigable al usuario, logrando combinar calidad visual y eficacia. Es por esta razón que toda la presentación en pantalla, aclaraciones, comentarios, advertencias, ayudas, gráficos en alta resolución y hasta los mismos menús de opciones se efectúan en ventanas colocadas a tal efecto en pantalla. Se busca de este modo no sólo la exac-

titud de los resultados sino también la calidad en general de todo el sistema.

4.2 Descripción particular del módulo de regiones de acceso

4.2-1 Conceptos previos

Una de las razones de mayor importancia en la elección de un tipo particular de geometría de un manipulador robótico viene dada por ámbito o volumen de trabajo. Esta característica es de suma importancia porque permite establecer las ventajas operativas que una estructura de manipulador presenta de acuerdo a su geometría. Debido además a que toda planificación de tareas se hace obviamente dentro del ambiente de trabajo alcanzable por el manipulador, el conocimiento analítico, gráfico y geométrico del mismo se vuelve de singular importancia. Si a este hecho se le suma la posibilidad de interrelacionar las bondades ofrecidas por distintos tipos de geometrías de manipuladores entre sí, entonces la necesidad de una herramienta computacional de diseño se hace más justificable.

4.2-2 Posibilidades ofrecidas

El módulo de Robcad que aborda el problema y solución al estudio de las regiones de acceso fue diseñado para trabajar en forma aislada o bien en forma conjunta con el módulo de estudio cinemático directo e inverso.

Robcad posibilita el estudio analítico de los siete tipos de estructuras predefinidos en este módulo, que como se mencionó anteriormente son:

estructura rotacional

estructura cuadrilátero deformable

estructura S.C.A.R.A.

estructura polar

estructura cilíndrica

estructura tipo Puma

estructura cartesiana

Para todas las estructuras mencionas permite el análisis que a continuación se detalla:

- Permite una vez ingresado el dimensionamiento geométrico del manipulador conocer la superficie de las vistas lateral y superior de la región de acceso, así como su volumen total.
- Posibilita las ayudas al usuario en alta resolución en gráficos bi y tridimensionales graficando las distintas opciones de ingreso de acuerdo al tipo de sistema de referencia elegido para un manipulador en particular.
- Obtiene las vistas lateral y superior de la región de acceso en dos y tres dimensiones, así como el volumen de trabajo del manipulador en 3D. Todos los gráficos ofrecidos por el sistema usando sistema de representación en 3D, brindan esta alternativa trabajando sobre algoritmos de proyección central o cónica, los que permiten definir el gráfico completamente a gusto del usuario. Este puede indicar distancia de observación, escala del dibujo, rotación del sólido respecto a los tres ejes cartesianos principales o respecto a un eje cualquiera, traslación del sólido respecto al mismo sistema, tipo de línea e intensidad del dibujo, etc. De esta forma se permite en todo el estudio 3D hasta agotar todas las inquietudes del usuario del sistema.
- Los gráficos mencionados en el punto anterior son completamente compatibles en línea con la posibilidades en 2D, pudiendo tenerse

conjunciones de ambos tipos en un momento dado.

- Permite la determinación de coordenadas de puntos dentro de un área o volumen de trabajo, la determinación en forma analítica y gráfica (2D y 3D) de distancias máximas, mínimas o entre puntos cualesquiera.
- Posibilita la comparación y superposición de datos en forma analítica y gráfica (2D y 3D) lo que permite un estudio de interrelación entre distintos tipos de manipuladores, ya sean de igual o distinta geometría.
- Este módulo permite además la simulación de trayectorias en el plano o en el espacio en perspectiva 3D, sea cual fuere la tarea que se le asigne al manipulador dentro del espacio de trabajo del mismo. Esta simulación se realiza incluso considerando al manipulador dotado de una mano de tres grados de libertad. Esta posibilidad le permite al usuario estudiar posteriormente, por separado, las trayectorias generadas, permitiendo un estudio gráfico completo de las mismas.

Estos son, descriptivamente, los aspectos sobresalientes del módulo desarrollado para el estudio de las regiones de acceso.

4.3 Descripción particular de la solución al Problema Cinemático Directo

4.3-1 Consideraciones teóricas

El problema cinemático directo se reduce a encontrar una matriz de transformación que relaciona el sistema de coordenadas ligado al cuerpo con el sistema de coordenadas de referencia. La representación espacial de un elemento mecánico rígido en forma matricial, que incluye los movimientos rotacionales y traslacionales del sistema ligado al cuerpo, y que describe la geometría espacial de

un brazo fue desarrollada por Denavit y Hatenberg [1955]. El paquete aquí descrito utiliza esta representación dada su universalidad para derivar las ecuaciones cinemáticas directas de un brazo.

4.3-2 Posibilidades ofrecidas

ROBCAD soluciona el problema cinemático directo, permitiendo al usuario atender todos los aspectos de su solución, desde el cálculo numérico al cálculo simbólico pasando por la graficación del manipulador hasta la impresión de resultados.

Se detallan seguidamente las posibilidades ofrecidas que permiten entre otras cosas desarrollar las siguientes tareas:

- Consultar ayuda aclaratoria sobre el concepto de solución cinemática directa y sobre las posibilidades ofrecidas por ROBCAD
- Consultar ayuda sobre el método de cálculo utilizado y sobre la forma de determinar las variables articulares y parámetros geométricos de la estructura
- Ingresar los parámetros y variables articulares del manipulador, dando la opción al usuario de modificar y/o confirmar los mismos cuantas veces lo desee, antes de optar por realizar el cálculo numérico y posteriormente a él.
- En el punto anterior da opción a un menú de ayuda que muestra todos los parámetros geométricos y las variables articulares de las siguientes estructuras robóticas de seis grados de libertad: antropoidal, cuadrilátero deformable, S.C.A.R.A., polar, cilíndrica, cartesiana, tipo Puma y tipo Stanford. Esto se hace atendiendo a la posibilidad de que el usuario trabaje sobre alguno de los tipos de estructuras mencionados.
- Permite la solución cinemática directa para cualquier manipulador de

hasta seis grados de libertad, dando la opción de calcular y mostrar:

- 1) La matriz numérica de transformación homogénea del elemento terminal
 - 2) La matriz numérica de transformación del elemento i -ésimo de la estructura
 - 3) Los vectores Normal, Orientación, Aproximación y Posición del extremo final del manipulador.
 - 4) Los mismos vectores anteriormente mencionados para cualquier elemento del manipulador.
- En cuanto a la generación de las expresiones simbólicas permite conocer a través de un menú de acceso las expresiones simbólicas de todos los términos de cada una de las matrices de transformación homogéneas del manipulador, dando la posibilidad de impresión de las mismas. Lo mencionado es válido tanto para manipuladores de estructura conocida como para nuevos diseños realizados por el usuario.
- Es de hacer notar también que el programa que desarrolla este cálculo simbólico opera en base a la generación autoregresiva de las expresiones simbólicas del manipulador.
- Permite además la impresión de resultados pudiéndose conocer cualquiera de las matrices de transformación homogénea del manipulador, así como los parámetros y variables articulares que se corresponden con tales resultados.
- En lo concerniente a la graficación brinda las siguientes posibilidades:

- 1) ROBCAD inspecciona los parámetros geométricos ingresados en la opción y si estos se corresponden con alguna de las es-

estructuras disponibles en el sistema dibuja el perfil real de la misma en alta resolución (vista lateral de la estructura). Caso contrario dibuja un perfil genérico de una estructura industrial. En todos los casos se advierte al usuario si los datos se ajustan o no a alguno de los manipuladores.

Posteriormente dibuja los vectores de la mano del extremo del manipulador y explica su significado. Las estructuras arriba referidas son las siguientes: rotacional, S.C.A.R.A., cuadrilátero deformable, polar, cartesiana, cilíndrica y tipo Puma.

- 2) Sea cual fuere la estructura, permite obtener gráficos lineales de las tres vistas principales de los planos coordenados, es decir de los terminan el posicionamiento real de la estructura de acuerdo a la longitud de los parámetros geométricos ingresados. También se accede a un submenú que permite llamar una ayuda aclaratoria, quitarla e invertir el video de la vista cuando se desee.
- 3) Existe asimismo la opción de graficar las tres vistas en sendas ventanas en pantalla, con las bondades mencionadas en el punto anterior dando acceso a un submenú que permite:
 - a) Ampliar el tamaño de cualquiera de ellas
 - b) Invertir video de cualquiera de las vistas
 - c) Restituir la pantalla original
 - d) Imprimir la pantalla
- 4) El menú de graficación posibilita también obtener un croquis tridimensional de la posición del manipulador en el espacio, graficándose este de acuerdo a los datos que hayan

sido ingresados.

Este croquis incorpora un submenú de opciones que permite:

- a) Llamar a un menú aclaratorio
- b) Quitarlo y restituirlo
- c) Invertir video de pantalla
- d) Ingresar al modo aproximación o modo Zoom y salir de él.

Con referencia a este último punto el modo Zoom fue diseñado para permitir al diseñador inspeccionar un área del croquis tridimensional mediante un cursor que permite ser posicionado por toda la pantalla, seleccionando el punto deseado del dibujo para ser ampliado. Una vez seleccionado un punto del dibujo se accede a un nuevo submenú que permite optar entre seis niveles de aproximación diferentes, opción según la cual se grafica en una ventana en pantalla la región del espacio que rodea al punto elegido con el cursor, dibujándose la misma en una escala menor, logrando de este modo la aproximación deseada. Se puede salir de un nivel de aproximación e ingresar a otro diferente, abandonar un punto de inspección y seleccionar otro, así como invertir el video de la pantalla y el video de la aproximación por separado.

Estos constituyen los aspectos más destacados de las posibilidades ofrecidas al usuario en el marco de la solución al problema cinemático directo.

4.4 Descripción particular de la solución al Problema Cinemático Inverso.

4.4-1 Consideraciones teóricas

Los métodos utilizados comúnmente en la solución de este proble-

ma presentan el inconveniente de no dar una indicación clara de como seleccionar una solución apropiada de las diversas soluciones posibles para una configuración de brazo en particular. Por esta razón se encaró un enfoque geométrico basado en el sistema de coordenadas de los elementos y la configuración del manipulador, para obtener una solución en forma cerrada. Con este método se logró solucionar el problema cinemático inverso para las estructuras admitidas por ROBCAD.

4.4-2 Posibilidades ofrecidas

La solución al problema cinemático inverso permite al usuario atender los aspectos relativos a la misma para siete estructuras de manipuladores industriales, considerando en la solución inversa de los mismos las distintas alternativas surgidas de la geometría propia del manipulador. Las estructuras para las cuales ROBCAD ofrece solución al problema cinemático inverso son las siguientes:

- 1) Estructura rotacional
- 2) Estructura cuadrilátero deformable
- 3) Estructura S.C.A.R.A.
- 4) Estructura tipo Puma
- 5) Estructura polar
- 6) Estructura cilíndrica
- 7) Estructura cartesiana

Las características más notables de la solución ofrecida al problema cinemático inverso son las siguientes:

- Una vez elegida una de las estructuras mencionadas posibilita el ingreso de los parámetros geométricos de la misma, dando la opción de confirmar y/o modificar estos cuantas veces lo desee el usuario.
- Incorpora en este punto un menú de ayuda que grafica en alta reso-

lución la vista lateral de una estructura real del tipo elegido, en el que se indica por un lado cuales parámetros del robot son fijos y cual es su valor, y por otro, cuales son pedidos al usuario, de manera que este tenga una idea acabada del dimensionamiento geométrico del robot.

- Asimismo si las coordenadas del punto espacial ingresado corresponden a un punto ubicado fuera de la región de acceso del manipulador, se advierte entónces esta situación al usuario, posibilitando que reingrese o modifique los valores citados.
- Permite la solución de la estructura elegida dando la opción de que esta posea de tres a seis grados de libertad, es decir calcula la solución de la misma considerándola sin mano o con mano de uno a tres grados de libertad, pudiendo solucionarse una misma estructura con distintas manos.
- Incorpora también otro menú que muestra una mano de tres grados de libertad indicando los valores de los parámetros geométricos que permanecen fijos y los que son solicitados al usuario, en un gráfico de alta resolución.
- Calcula la solución inversa contemplando las distintas variantes geométricas de las estructuras Polar, Cilíndrica y Cartesiana, dando la opción al operador de elegir la solución de la estructura con el brazo a la izquierda o a la derecha de la posición del hombro, o en su defecto una estructura de tipo planar. La misma alternativa se ofrece para la estructura de Tipo Puma, con las opciones de brazo a la izquierda y derecha de la posición del hombro.
- Advierte al usuario la existencia de más de una solución cinemática inversa, permitiendo calcular la misma con el codo arriba o abajo.

de la posición de la muñeca del manipulador.

- Soluciona las singularidades y degeneraciones cinemáticas que pudieran presentarse, indicando al usuario la existencia de cualquiera de estas situaciones.
- Permite obtener las ecuaciones simbólicas que solucionan en forma numérica el problema cinemático inverso para las estructuras arriba mencionadas, dando la posibilidad de su impresión.
- Incluye la posibilidad de obtener la solución cinemática directa del manipulador inmediatamente obtenida la solución cinemática inversa, pudiendo de esta manera el operador verificar la exactitud de los resultados inversos logrados por el sistema.

Esta solución directa tiene las mismas características que las descritas en la solución al problema cinemático directo.

- Posibilita la impresión de los resultados obtenidos para una estructura determinada, imprimiendo también las coordenadas y parámetros geométricos introducidos. Se otorga además la opción de imprimir los resultados correspondientes a la solución directa, como verificación de exactitud, logrando disponer así de la documentación del estudio realizado.
- Es válido todo lo mencionado en la descripción de la solución a la cinemática directa en lo referente a la graficación para la solución cinemática inversa, pues incorpora los mismos procedimientos gráficos.

Estos aspectos constituyen las principales características desarrolladas en la solución al problema cinemático inverso implementada en ROBCAD.

A continuación se muestran dos pantallas que ejemplifican las alternativas mencionadas antes. La figura 1 muestra el

croquis tridimensional de una estructura tipo antropoidal de tres grados de libertad, habiéndose ingresado al modo aproximación. Puede observarse el cursor posicionado en un punto cercano al codo de la estructura, y el "zoom" de esta región utilizando el segundo de los seis niveles de acercamiento posibles.

La figura 2 en cambio, muestra una pantalla de la solución al problema cinemático inverso. En este caso se trata de una estructura del tipo cuadrilátero deformable en la que se ha solicitado

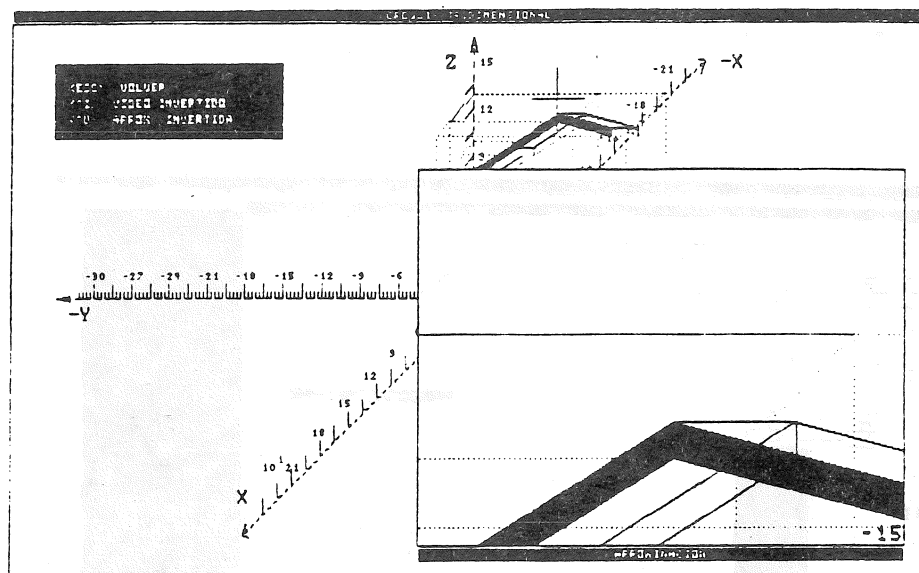


Figura 1: Pantalla con croquis tridimensional de una estructura del tipo antropoidal de tres grados de libertad. Puede observarse el acercamiento realizado.

el menú de ayuda referente al ingreso de los parámetros geométricos de la estructura.

5 Conclusiones finales

Se ha desarrollado un sistema de estudio y diseño cinemático de manipuladores de hasta seis grados de libertad, tratándolo de dotar de la mayor cantidad de posibilidades y recursos para el diseñador.

ROECAD ha sido elaborado para ser ejecutado en cualquier ordenador personal del tipo IBM-PC o compatibles con el mismo, debido a la extendida difusión de este tipo de computadores personales. Corre bajo sistema operativo DOS (Disk Operating System), versión 2.00 o superiores a esta, y necesita que el computador posea tarjeta gráfica del tipo IBM, monocromática Hercules o

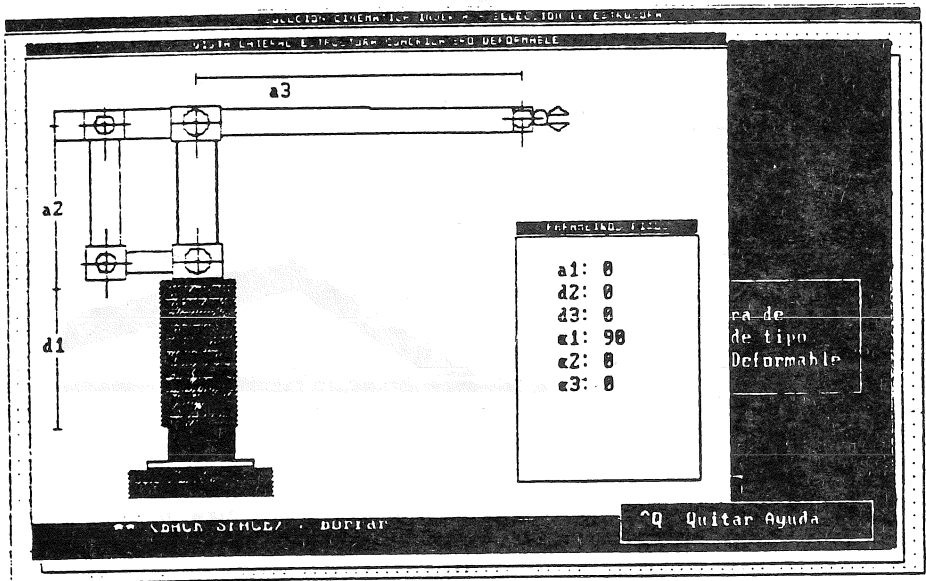


Figura 2: Pantalla de ayuda a la estructura cuadrilátero deformable en la solución al problema cinemático inverso.

Zenith, o bien cualquier otra que emule a una de estas.

La solución al problema cinemático directo es una potente herramienta de cálculo para cualquier manipulador de hasta seis grados de libertad, mientras que la solución al problema cinemático inverso se ha restringido a la consideración de las siete estructuras industriales más usuales, teniendo en cuenta también sus variantes geométricas. Esta limitación esta dada por la misma naturaleza de la solución al problema cinemático inverso, puesto que la misma es abierta. Sin embargo, gracias a la modularidad de la que se ha provisto al sistema es posible el agregado de bloques que contengan la solución de nuevas estructuras, aumentando así la potencia informática de ROBCAD. Las alternativas de graficación implementadas complementan el diseño y estudio de un manipulador, permitiendo que el paquete cumpla con los propósitos trazados al comienzo de su formulación.

El sistema ha sido probado para una variedad extendida de casos y posibilidades, y en todos ellos se ha verificado la exactitud de los resultados, logrando ser así una confiable herramienta de estudio y cálculo cinemático de manipuladores robóticos.

Por su naturaleza la implementación efectuada contribuye amplia y originalmente al diseño y estudio de manipuladores robóticos, habiendo logrado este sistema un gran interés.

Referencias

- [1] Introduction to Robotics. Mechanics and Control. John J. Craig 1986.
- [2] Control of Manipulators Robots. Theory and Applications.

- Vukobratovic M, Stokic G, Springer Verlag
1982.
- [3] Robot Manipulators. Mathematics, Programming and Control.
Paul R. 1981.
- [4] Robot Arm Kinematics, Dynamics and Control.
Lee. C. IEEE Computer. Dic 1982.
- [5] A Kinematic Notacion For Lower-Pair Mechanisms based on Matrices.
Denavit Hartenberg. ASME
Journal of Applied Mechanics. Jun 1955.
- [6] Advanced Mechanisms. Stilles J.
- [7] Industrial Robots: Computer, Interfacing and Control. Wesley E. Snyder.
Prentice Hall 1985.
- [8] Robótica: Control, Visión, Detección e Inteligencia. Fu, González, Lee.
Mac Graw Hill. 1987.
- [9] Análisis Cinemático de Mecanismos. Shigley J.
- [10] Curso de Robótica. Angulo, Aviles. Paraninfo 1984.