

Simulación, Control y Construcción de un Robot Paralelo de 5 Barras y 6 GDL para Propósitos Didácticos

Urbalejo Contreras Arturo¹, Jacobo Peña Javier², Jiménez López Eusebio³, Quintero Esquer Jesús Alberto⁴, López Cota Jorge Ricardo⁵ y Castro Bojórquez Julio Cesar⁶

^{1,2,4,5} Centro de Investigación y Aplicación en Automatización y Mecatrónica de la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, arturouc@yahoo.com.mx

³CINNTRA UTS-IIMM-ULSA Noroeste, ejimenezl@msn.com

⁶Universidad Tecnológica de Tijuana, Tijuana Baja California, México

Resumen

Para motivar y potenciar la enseñanza y el aprendizaje de la Mecatrónica, es necesario incorporar a las didácticas, prototipos y dispositivos con el objetivo de que los alumnos hagan aplicaciones de las teorías en la realidad. La Mecatrónica se ha auxiliado de la Robótica para la generación de prototipos didácticos, puesto que un robot es en sí un sistema mecánico. En este artículo se presenta el desarrollo un prototipo de un robot paralelo espacial de 5 barras y 6 GDL. El sistema mecánico fue construido usando materiales baratos y que estuvieran a la mano de los alumnos, y el simulador computacional fue hecho en Visual Basic V6. El movimiento del robot se realiza con motores a pasos controlados por una PC. Finalmente, el prototipo es utilizado en las clases de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora.

Palabras clave: Robótica paralela, electrónica, Visual Basic V6, prototipos

1 Introducción

Para motivar a los alumnos en la enseñanza de la Mecatrónica, es necesario llevar a la práctica los conocimientos teóricos aprendidos. El desarrollo de prototipos, como por ejemplo un robot didáctico, es una opción viable [1]. Además, la mecatrónica es una ingeniería que utiliza un sin número de áreas del conocimiento para el desarrollo de productos o sistemas, entre las primarias se pueden mencionar a la mecánica, la electrónica y la computación [2]. Algunas de sus ramas secundarias son las matemáticas, la

inteligencia artificial, la manufactura, la metrología, la robótica entre otras [3].

Por otro lado, los productos Mecatrónicos son especializados, aun siendo didácticos [4]. Un robot industrial puede ser concebido como una Máquina Mecatrónica, por ello, el campo de la robótica es muy usado para la enseñanza de la Mecatrónica. Un robot didáctico, al igual que un industrial, es diseñado usando las leyes de la Mecánica (con las cuales se predicen sus movimientos), y se usa la electrónica para controlar los movimientos por medio de los actuadores y finalmente, la computación se utiliza para calcular datos provenientes de los modelos cinemáticos y dinámicos del robot o, en su caso, para simular los movimientos en un ambiente virtual.

Dentro del campo de la robótica, los robots paralelos son máquinas especializadas que tienen ventajas sobre los robots antropomorfos, por ejemplo son más robustos y tienen gran precisión. Como desventajas los robots paralelos tienen un área de trabajo muy reducida y presentan grandes singularidades mecánicas [4]. Los prototipos de robots paralelos son muy ilustrativos y motivantes en la enseñanza de la Mecatrónica, pues su estructura mecánica está conformada por cadenas cinemáticas cerradas y los actuadores están colocados en cada cadena cinemática. Por ejemplo en [6] se desarrolló un prototipo de robot delta plano y en [7] se construyó un prototipo de robot plano paralelo de 3 GDL.

Por otro lado, la Mecatrónica, por su grado de especialización, requiere de aplicaciones matemáticas sofisticadas, esto con la finalidad de generar simuladores que permitan imitar el comportamiento de cada sistema o subsistema que compone un producto mecatrónico. Para el caso

de los robots, los simuladores de movimiento son muy importantes, pues estos permiten determinar en forma numérica y gráfica datos y variables cinemáticas y dinámicas útiles para la selección de actuadores y otros dispositivos requeridos para la construcción de robots didácticos.

Por otro lado, la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora oferta la carrera de Ingeniería Mecatrónica [8] y para motivar a los alumnos, se generan prototipos robóticos, por medio de los cuales se practican sobre un producto didáctico, las diversas teorías y técnicas aprendidas en clases. Para poder mostrar la importancia de las matemáticas aplicadas y la computación, ha sido construido un prototipo de robot paralelo de 5 barras y 6 GDL en cual se reporta en este artículo. Anteriormente se había desarrollado un simulador del robot [5] y en este artículo se presenta el control y el prototipo físico.

2 Algunas consideraciones sobre el modelo Matemático del robot

Los robots paralelos están conformados por cadenas cinemáticas cerradas, razón por la cual son más fuertes y precisos que los robots de cadena abierta o del tipo antropomorfo. Formalmente hablando, un robot paralelo tiene la siguiente definición [9]:

Un robot paralelo está compuesto de un cuerpo rígido con "n" grados de libertad, y de una base fija, eslabonados juntos por lo menos por dos cadenas cinemáticas independientes. El movimiento tiene lugar a través de "n" actuadores simples.

Los robots paralelos tienen diversas aplicaciones, desde operaciones médicas, hasta operaciones industriales, como los simuladores de vuelo o como para aplicaciones de maquinado especial. Los robots paralelos, por su configuración de cadena cerrada, tienen restringida su área de trabajo y poseen singularidades mecánicas, razón por la cual su estudio es complejo. Sin embargo, en el contexto de la enseñanza este tipo de robot es muy usado, razón por la cual se propone en este artículo la construcción de un prototipo.

De acuerdo con [5], el robot motivo de estudio en este artículo es el mostrado en la figura 1. Dicho robot es de estructura paralela de 5 brazos y 6 GDL.

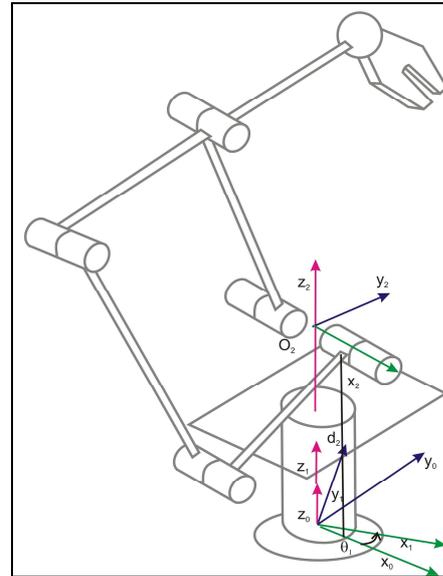


Fig. 1. Configuración del robot

Por razones de espacio, solo se describirá en forma general las características del modelo matemático relacionado con el robot motivo de estudio. Para modelar las rotaciones de las articulaciones del robot se usaron matrices homogéneas. Para desarrollar el modelo se usaron los pasos siguientes [5]:

- 1) Se caracteriza la arquitectura del robot motivo de estudio.
- 2) Se modela una configuración del robot
- 3) Se construye el modelo matemático que gobierna el movimiento del robot.
- 4) Se formulan los problemas inverso y directo.

Para el caso del modelo del robot se siguieron los pasos siguientes:

- 1) Se asociaron bases locales en cada articulación del robot.
- 2) Se asociaron vectores de posición en cada eslabón.
- 3) Se construyeron las ecuaciones de lazo cerrado.
- 4) Las ecuaciones de lazo se expresan en términos de las matrices homogéneas.
- 5) Se obtienen las ecuaciones para cada desplazamiento angular.
- 6) Con las ecuaciones del paso 5) se procede a formular el problema

cinemático inverso o bien a generar nuevas ecuaciones.

Generalmente, es más complicado plantear, formular y resolver el problema directo que el problema inverso en robots paralelos que en robots antropomorfos. El problema inverso consiste en determinar los ángulos de rotación de cada eslabón que componen al robot dando como entrada al modelo matemático la posición y orientación del órgano terminal. El problema cinemático directo es a la inversa, esto es, se trata de obtener la posición y la orientación del órgano terminal del robot si se dan de entrada al modelo los desplazamientos angulares de las articulaciones. Cabe mencionar que solo se desarrolló la cinemática inversa del robot motivo de estudio en este artículo [5].

3 Programación y Simulación del robot

Una vez desarrolladas las ecuaciones para cada ángulo de rotación del robot motivo de estudio se programó una interfaz gráfica en Visual Basic 6.0 para mostrar los resultados de cada una de las articulaciones, para esto se utilizó la librería de OpenGL para ver con efectos de 3D todos los movimientos. La interfaz cuenta con un botón de mover (cinemática inversa) donde se pide la posición (X,Y,Z) a la que se desea que se mueva el manipulador y la orientación (α, Φ, θ) con la que llegará a dicha posición. La figura 2 muestra la pantalla principal del simulador en la posición (0,50,75) y orientación (0,0,0).

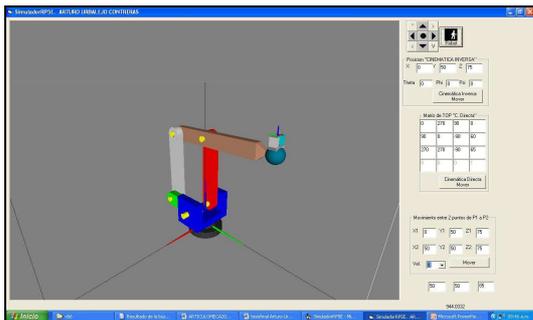


Fig. 2. Pantalla principal del simulador

En la figura 3 se muestra otra orientación del manipulador, esto es, (30,45,15) manteniendo la misma posición en el espacio. Al momento de hacer *click en mover el simulador* el software realiza los cálculos de todos los ángulos y dibuja el manipulador con la posición y orientación especificados.

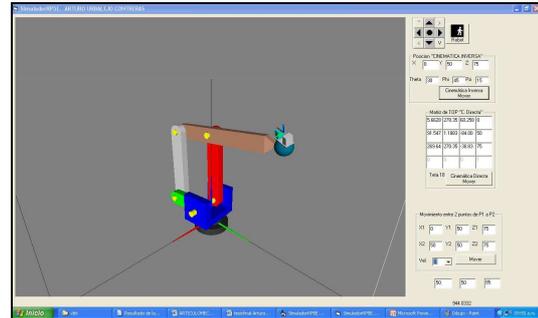


Fig. 3. Movimiento del robot

En la figura 4 se cambió la posición y orientación a (20,45,50) y (45,30,0). Además, se puede ver un sistema de coordenadas de referencia en la base como en el punto central de la herramienta donde el color rojo representa las X's positivas, el color verde las Y's positivas y el color azul las Z's positivas. También se puede ver los ángulos calculados de cada una de las articulaciones en la ventana de cinemática directa y el punto en el espacio.

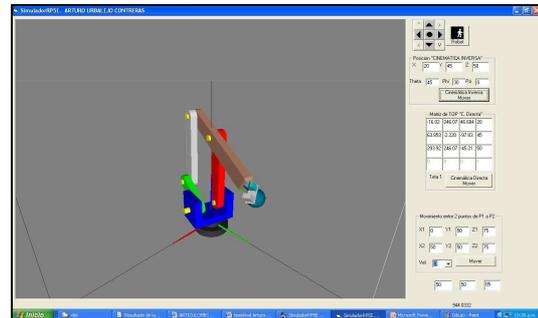


Fig. 4. Otra configuración del robot

Otra de las opciones que tiene el simulador es la de desplazar al manipulador sobre una trayectoria lineal, para ello solo se requiere meter un punto de inicio, un punto final de la trayectoria y la velocidad. El simulador tiene la opción de interpolación de trayectorias con polinomio de grado 5 [10].

Cabe mencionar que el valor que tiene el simulador para la enseñanza de la Mecatrónica es enorme, pues:

- 1) Se justifica y se le da sentido a las matemáticas, pues el simulador solo es posible si existe un modelo matemático.

- 2) Se muestra las relaciones que existen entre las matemáticas y la programación.
- 3) Se visualizan los movimientos del manipulador, tanto en forma numérica, como en forma gráfica.
- 4) Se prueba la eficiencia de los modelos matemáticos.
- 5) Es posible comunicar los datos de salida a otros sistemas, como el de control, como se muestra en la figura 5.

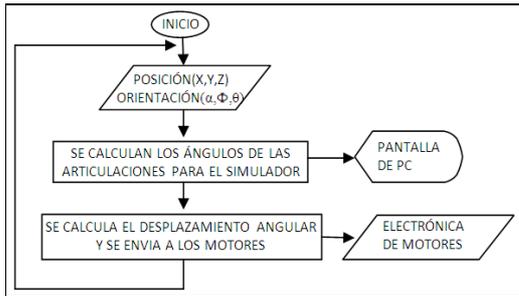


Fig. 5. Algoritmo de control

4 Prototipo y control

En esta sección se describe a grandes rasgos el prototipo del robot motivo de estudio y el sistema de control. En primer lugar, para los movimientos del manipulador se utilizaron motores paso a paso unipolar y bipolar, este tipo de motores, dependiendo de sus características físicas son usados para movimientos de precisión donde se puede controlar el sentido de giro, el desplazamiento angular y el “torque”. Los motores utilizados en este robot tienen un paso de 1.8 grados, esto significa que para que el eje del motor de un giro de 360 grados el motor tiene que moverse 200 pasos pues:

$$\frac{360 \text{ grados}}{1.8 \text{ grados/paso}} = 200 \text{ pasos}$$

La figura 6 muestra uno de los motores a pasos utilizado para mover el robot. Se usaron transmisiones de engranajes rectos con la finalidad de dar mayor potencia al mecanismo y sobre todo para hacer más ilustrativo el uso de sistemas mecánicos, como los engranes, en el desarrollo de prototipos de robot.

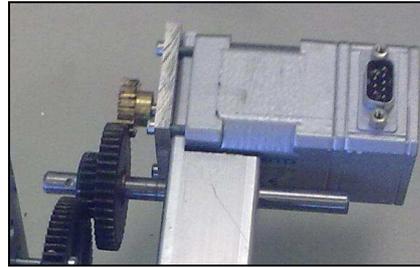


Fig. 6. Motor a pasos y tren de engranes

Por otro lado, para el control de los motores paso a paso se elaboraron driver en base a las especificaciones de las hojas de datos de los integrados L297 y L298N mostrados en la figura 7. Con el integrado L297 se puede controlar la corriente con la que trabajará el motor (pin 15), habilitar o deshabilitar el motor (pin 10), hacer que gire un paso o medios pasos (pin 19), hacer que gire en sentido horario o antihorario (pin 17). Una vez que se seleccionó el modo de operación se le envía un tren de pulsos en el pin 18 y por cada flanco de subida el motor dará un paso o medio paso según se haya configurado, la velocidad de giro está directamente relacionada con la frecuencia de los pulsos. El integrado L298N es el encargado de energizar los devanados del motor en base a la secuencia que este enviando el circuito de control L297. También se encarga de la potencia del motor ya que puede manejar hasta 2 amp. de corriente. La figura 8 muestra el circuito físico.

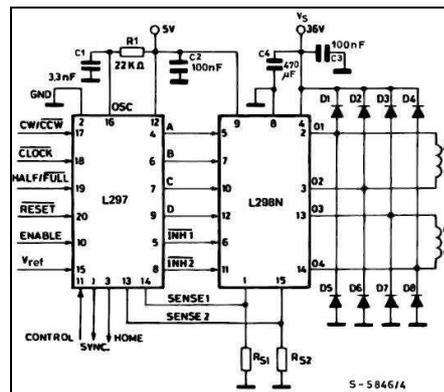


Fig. 7. Integrados

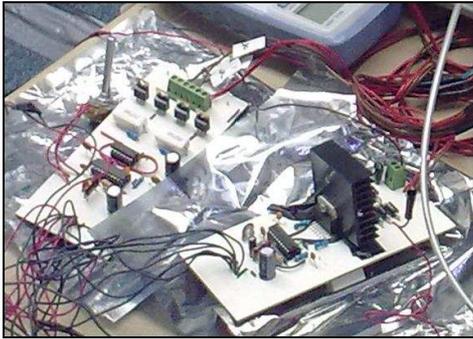


Fig. 8. Circuito físico

Por otro lado, para la construcción física del mecanismo en estudio se utilizaron materiales reciclados de copadoras y alimentadores de hojas para copadoras, las dimensiones originales del manipulador se tuvieron que escalar de 1 a 0.714 debido al sistema de transmisión por bandas para el grado de libertad de la muñeca quedando con las medidas mostradas en la figura 9.

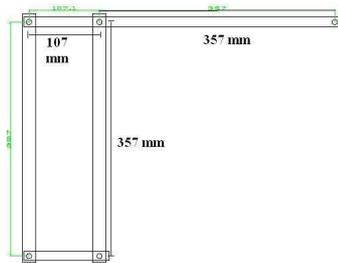


Fig. 9. Dimensiones de los brazos

Para obtener los movimientos del hombro y el codo se usaron engranes y reductores extraídos de las copadoras. Una transmisión reductora en desplazamiento incrementa el torque con las siguientes características: engrane A de 19 dientes, engrane B de 42 dientes, engrane C de 21 dientes y engrane D de 75 dientes dando como relación de transmisión, esto es (ver figura 10):

$$RT = (A/B) \times (C/D)$$

$$RT = (19/42) \times (21/75) = 0.1266$$

Esto significa que si el motor tiene un desplazamiento angular de 1.8 grados, a la salida de la transmisión se tendrá un desplazamiento de 0.228 grados por que $1.8 \times 0.1266 = 0.228$

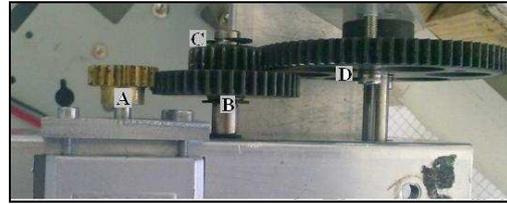


Fig. 10. Tren de engranes

Para el movimiento de la base se utilizó una transmisión con relación de 0.11 en la cual por cada paso que da el motor de 1.8 grados a la salida se tiene un desplazamiento de 0.198 grados. Por otro lado, para fabricar los eslabones y las bases de las transmisiones se utilizó un centro de maquinado robodrill fanuc 3i, con el cual se le dio una precisión de fabricación de +/- 0.1 mm. La figura 11 muestra el prototipo construido relacionado con el robot en estudio.

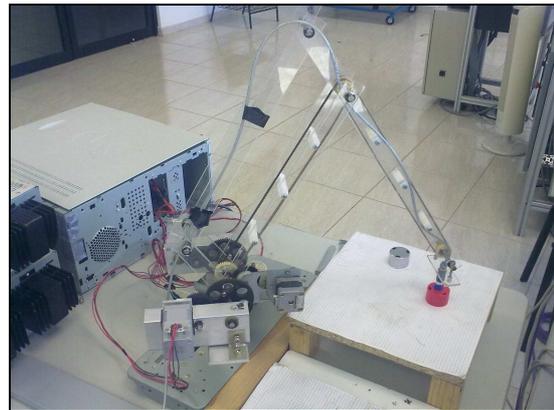


Fig. 11. Prototipo

Cabe mencionar que con la construcción del prototipo, los alumnos pueden visualizar y comprender los siguientes aspectos:

- 1) Se pueden visualizar las interrelaciones entre la mecánica, la electrónica y la computación.
- 2) Se puede evaluar la funcionalidad y eficiencia del simulador.
- 3) Se pueden dar datos reales y con ello probar el simulador.
- 4) Se puede ver la complejidad de la parte mecánica.
- 5) Se diseña el sistema de control para los actuadores.

Todos estos aspectos son necesarios y fundamentales para motivar la enseñanza de la Mecatrónica desde el contexto de la Robótica.

5. Conclusiones

En este artículo, se ha presentado el desarrollo de un prototipo robótico de 5 barras y de 6 GDL de estructura tipo paralela. Los resultados obtenidos se resumen en los puntos siguientes:

- La robótica auxilia a la Mecatrónica en la enseñanza de la Ingeniería, pues la construcción de prototipos robóticos exige una alta integración de la Mecánica, la Electrónica y la Computación.
- La simulación computacional es una herramienta poderosa que auxilia a la Mecatrónica, pues es posible probar los modelos matemáticos y evaluar diversas situaciones de los prototipos antes de ser construidos.
- La construcción de prototipos auxilia a los alumnos de mecatrónica, puesto que es posible dar sentido a las aplicaciones de las Matemáticas y la Computación y sobre todo a ver las implicaciones que tienen los modelos en los robots reales.
- Es importante continuar desarrollando el robot motivo de estudio hasta alcanzar un prototipo más cercano a la realidad, ya que solo fue modelada la posición del robot.

Referencias

[1] JIMÉNEZ E., LARA H., REYES L., CHÁVEZ E., NIEBLAS J., NUÑEZ E., UZETA C., LÓPEZ F. Desarrollo de un robot delta plano para propósitos didácticos. 9º Congreso Nacional de Mecatrónica, Octubre 13 al 15, 2010. Puebla, Puebla.

[2] Bishop, Robert H. The Mechatronic Handbook. Crc Press Washington D.C. 2002

[3] Madrid G., JIMÉNEZ E., Reyes L., E., Luna Noé. Diseño e implementación del sistema de control de un dispositivo móvil evasor de obstáculos usando lógica borrosa. 9º Congreso Nacional de Mecatrónica, Octubre 13 al 15 , 2010. Puebla, Puebla.

[4] Ignacio Vázquez Cuevas, Eusebio Jiménez López, Gonzalo Domínguez Dyck, Luis Reyes Ávila, Juan Delfín Vázquez y Samuel Lara García. Modelación y diseño de un simulador de un robot paralelo manejado por un controlador manual didáctico. 8º Congreso Nacional de Mecatrónica, Noviembre 26 y 27, 2009. Veracruz, Veracruz.

[4] URBALEJO A., JIMÉNEZ F., JIMÉNEZ E., JACOBO J., CASTRO J., VELARDE O. Modelación y simulación de un robot paralelo de 5 barras y 6 GDL usando matrices homogéneas. 9º Congreso Nacional de Mecatrónica, Octubre 13 al 15, 2010. Puebla, Puebla.

[6] Chávez E, Rivera J. “*Software e interfaces de control de servomotores del tipo brushless, con aplicación en robot paralelo*”. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecatrónica. Instituto Tecnológico Superior de Cajeme. (2008).

[7] Delfín J. Análisis cinemático de un robot paralelo planar de tres grados de libertad tipo RRR. México. (2004). (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.

[8] www.uts.edu.mx

[9] Merlet Jean – Pierre. Les Robots Parallèles. Traité del Nouvelles Technologies – Serie Robotique. Hermés. Paris, 1990.

[10] Jorge Angeles. Fundamentals of Robotics Mechanical Systems: Theory, Methods, and Algorithms/ Springer Verlag. 2006.