

Desarrollo de un robot manipulador accesible para aplicaciones educativas controlado mediante un microcontrolador PIC®

Daniela Arrazola-Godoy¹, Daniel Contreras-Aculco¹, Luis Ángel Flores-López¹, Ulises David Flores-Pérez¹, Diego Orbezo-Salazar¹, Zizilia Zamudio-Beltrán²

¹ Universidad La Salle México, Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México.

² Universidad La Salle México, Vicerrectoría de Investigación. Ciudad de México, México.

daniela.arrazola@lasallistas.org.mx, daniel.contreras@lasallistas.org.mx, la.flores@lasallistas.org.mx, udfp@lasallistas.org.mx, diegoorbezo@lasallistas.org.mx, zizilia.zamudio@lasalle.mx

Resumen. En este trabajo se presenta la metodología aplicada para el diseño de un brazo robótico de 4 grados de libertad con fines didácticos implementando de un sistema de control en un microcontrolador PIC®. Se presenta el desarrollo matemático de la cinemática directa para la configuración propuesta del manipulador y su validación en simulación.

Palabras clave: Robot, Manipulador, Control, Cinemática, Microcontrolador.

1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

En los últimos años, el sector de robots manipuladores destinados a fines educativos y demostrativos ha tenido un gran desarrollo como resultado de la acelerada popularización de la impresión 3D. Actualmente, se puede tener acceso a una impresora 3D sin ser necesariamente un profesional en la industria del diseño. Con el objetivo de impulsar este mercado, las compañías ponen a disposición del público general numerosos modelos diseñados para su impresión directa. Tal es el caso de las empresas BCN3D y Zortrax, que son ampliamente reconocidas en el sector industrial y que también se han introducido en el doméstico.

Dentro del extenso catálogo disponible, se pueden encontrar modelos completos de brazos robóticos estructurados de forma modular que posibilitan su impresión. Dos fabricantes, BCN3D y Zortrax, disponen de modelos de brazos robóticos que reciben el nombre de BCN3D Moveo y Zortrax Robotic Arm, respectivamente [1], [2]. Sin embargo, aun cuando es posible el acceso a esta tecnología, el costo de imprimir un modelo de estas características es muy elevado. Esto debido a la complejidad del sistema, el cual es conformado por un gran número de elementos mecánicos y estructurales. De esta manera, la opción de imprimir un brazo robótico se convierte en poco rentable.

Como alternativa a un modelo de impresión 3d, se pueden encontrar propuestas de diseño de bajo costo y de fácil ensamblaje de robots manipuladores de apoyo didáctico adaptados a las necesidades educativas de las instituciones que imparten cursos de robótica o de áreas relacionadas [3], [4].

2 Objetivo

Diseñar y validar un robot manipulador de 4 grados de libertad, controlado mediante un microcontrolador PIC®, implementando materiales y elementos mecánicos comunes y estándares, que reduzcan significativamente el costo, con fines didácticos, para el beneficio en el aprendizaje en instituciones educativas.

Cabe destacar que el diseño del manipulador robótico tiene como finalidad ser de bajo costo, pero manteniendo todas las funcionalidades y calidad suficiente para ser implementado en el ámbito educativo. Este proyecto atiende puntualmente a los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenibles, ODS:

4) *Educación de Calidad*. Metas: 4.3 y 4.4.

9) *Industria, innovación e infraestructura*. Metas: 9.5 y 9.b.

3 Propuesta de solución

Los robots manipuladores están compuestos cinemáticamente por eslabones conectados por articulaciones para formar una cadena cinemática. Sin embargo, un robot como sistema consta de un manipulador, una muñeca, un efector final, actuadores, sensores, controladores, procesadores y software [5], [6] y [7].

El diseño del brazo robótico presentado consiste en un robot antropomórfico de 4 grados de libertad que se puede observar en la Figura 1, basado en el modelo industrial de gama baja Dorna Robot, de la marca Dorna Robotics.

Las características mecánicas y estructurales de este robot permiten adaptar la construcción del sistema a procesos de manufactura accesibles. Las partes designadas como cubiertas están diseñadas para ser cortadas con una máquina láser en una placa de MDF de 5.5 mm de espesor.

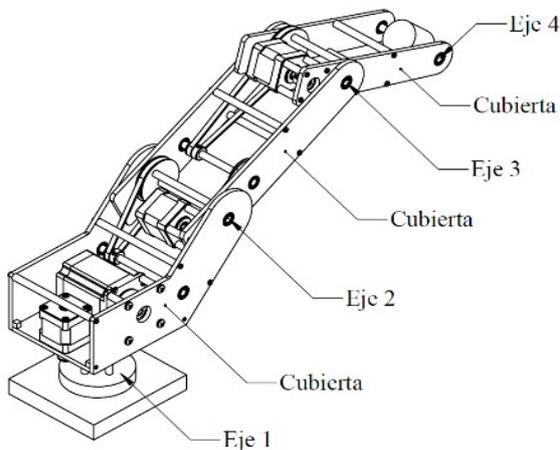


Figura 1. Diagrama esquemático del manipulador.

Este procedimiento es rápido, asequible y preciso. Los elementos mecánicos que conforman la transmisión del sistema, como poleas, cintas, ejes y rodamientos son de dimensiones estándares y no requieren de algún maquinado específico. Los motores paso a paso utilizados cuentan con marcos estándares NEMA, ampliamente conocidos en la industria. La base constituye la geometría más compleja. Sin embargo, puede fabricarse de algún material resistente como madera. La geometría del adaptador del efector final es simple y puede obtenerse a partir de un elemento tubular de aluminio.

El tren de poleas para cada *eje* o *articulación* tiene una relación de velocidad específica. Es decir, cada eje requiere de un motor con un paso único. En la Tabla 1 se presenta la relación de velocidad y desplazamiento angular para cada caso.

El sistema electrónico que controla los actuadores del robot (motores paso a paso) está implementado en un microcontrolador PIC 16F877A, como unidad central de procesamiento. Cada motor está conectado al microcontrolador mediante dos circuitos integrados que funcionan

conjuntamente, el L297 y L298. Este último consiste en un puente h para energizar y conmutar los devanados del motor.

Tabla 1. Relaciones de velocidad de los trenes de poleas de cada articulación.

	Paso del motor	Relación de velocidad	Paso de la articulación
Eje 1	3.75°	4	0.9375°
Eje 2	11.25°	12	0.9375°
Eje 3	11.25°	12	0.9375°
Eje 4	0.9°	1	0.9°

El L297 es un circuito específico para controlar los parámetros de funcionamiento de un motor paso a paso, como el sentido de giro o el tipo de paso (medio paso o paso completo). La interfaz de usuario está conformada por una pantalla LCD y una serie de botones e interruptores, manejado por un codificador con prioridad para seleccionar el modo de operación y controlar al robot de forma manual. Según la articulación activa, el sentido de giro, y el tipo de movimiento, en la pantalla LCD se despliega la información correspondiente. El sistema cuenta con dos tipos de movimiento, fino y continuo.

Para ejecutar una secuencia programada se utiliza el software MATLAB con el fin de establecer una comunicación serial y con ello lograr una interconexión con el sistema. El programa de MATLAB envía el número de pasos a realizar para alcanzar cierto número de grados, así como la cantidad que determina el motor a accionar y el sentido de giro.

Para el diseño y validación del sistema de control se llevó a cabo una simulación en el software Proteus. De esta manera fue posible la realización de pruebas y mediciones de todos los componentes para asegurar el correcto funcionamiento del circuito. Para demostrar la comunicación serial entre MATLAB y el sistema, se generaron puertos seriales virtuales con el software Virtual Serial Port, quien permite la interconexión entre dispositivos sin necesidad de una implementación física. Para la programación en lenguaje ensamblador del microcontrolador PIC16F877A se empleó el software MPLAB X IDE.

4 Discusión de resultados e impactos obtenidos

A partir del modelo propuesto se realizó el análisis del mecanismo para determinar la cinemática directa del brazo robótico, aplicando la metodología de Denavit-Hartenberg, en la Figura 2 se observan los referenciales propuestos para la obtención de la cinemática directa calculada a partir de los parámetros de Denavit-Hartenberg obtenidos.

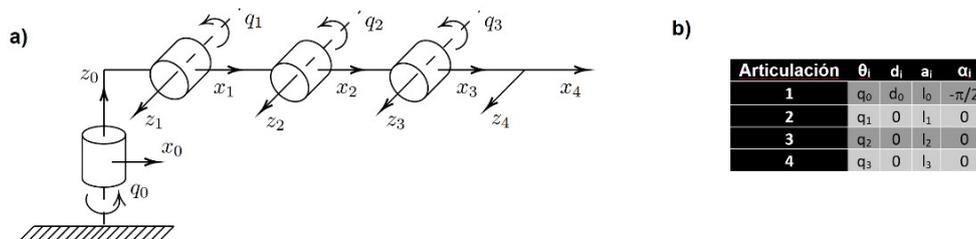


Figura 2. a) Referenciales propuestos y b) Parámetros de Denavith-Hartenberg.

La simulación en Proteus del circuito electrónico se puede observar en la Figura 3.a. Los elementos mostrados consisten en la pantalla LCD, el puerto serial y cada uno de los motores. Se

presentan los tres posibles modos de operación: control manual con movimiento fino y continuo, y secuencia programada.

En la Figura 3.b, se muestra la ventana de comandos de MATLAB en la ejecución del programa. La interfaz de usuario generada se presenta en la Figura 7b. Esta está conformada por un botón cuya acción es finalizar la rutina del robot.

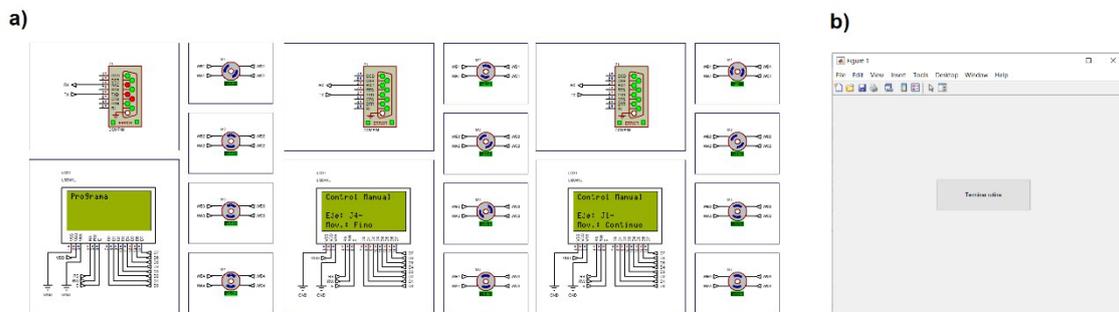


Figura 3. a) Modos de operación del sistema y b) Interfaz de MATLAB

5 Conclusiones y perspectivas futuras

En este trabajo se presenta el diseño y su validación mediante simulación, de la mecánica, electrónica y comunicación con una interfaz de control manual para un robot manipulador antropomórfico de 4 grados de libertad con fines didácticos. Considerando estos aspectos, el sistema presenta un rendimiento adecuado y cuenta con las funcionalidades necesarias para ser implementado en una aplicación educacional. La interacción con el control manual y la interfaz de MATLAB para la programación de secuencias no representan sistemas complejos y pueden ser utilizados por alguien que busca una introducción al control de brazos robóticos.

Al tratarse de una simulación del modelo y no de una construcción física, el proyecto desarrollado presenta limitaciones que se derivan del alcance de los softwares y su capacidad de procesamiento. Estas pueden considerarse como mejoras futuras al sistema. Es necesario implementar sensores para el ajuste del rango de movimiento de las articulaciones, para evitar que el robot exceda los límites de desplazamiento y el posible daño de los motores. Añadir una función de *reset*, para lo cual se necesitan incorporar encoders.

6 Referencias

1. BCN3D Technologies. (2019, 10 diciembre). BCN3D MOVEO– Un brazo robótico de código abierto impreso en 3D. <https://www.bcn3D.com/es/bcn3d-moveo-un-brazo-robotico-de-codigoabierto-impreso-en-3d/>
2. Zortrax. (2015). Zortrax Robotic Arm. Zortrax Library. <https://library.zortrax.com/project/zortrax-robotic-arm/>
3. Andueza, L. y Aguirre, I. (2008). Diseño de un manipulador robotico con tres grados de libertad para fines educativos. *Ciencia e Ingeniería*. 30(1),3-13). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=5075/507550784002>
4. Torres, C. (2015). Diseño e implementación de un brazo robótico de bajo costo para la introducción a la robótica educativa. Universidad de Los Andes.
5. Jazar, R. N. (2010). *Theory of Applied Robotics. Kinematics, Dynamics, and Control*. Springer.
6. Niku, S. B. (2020). *Introduction to Robotics. Analysis, Control, Applications*. Wiley.
7. Condit, R. (2004). *Stepping Motors Fundamentals (N.o AN907)*. Microchip Technology Inc.