

Brazo robótico programado en Dev C++ para soporte de enseñanza académica

*Jorge Stiven Forero Acosta**

*Jefferson Parra Ariza***

Resumen

Este artículo presenta un estudio detallado del movimiento de un brazo robótico, con el fin de ofrecer información esencial sobre él y plantear a futuro la construcción de un laboratorio de robótica. Gracias al avance tecnológico actual, la robótica sobresale por su capacidad de crear escenarios de diálogo interdisciplinar en los que, entre otras actividades posibles, se consigue emular desde movimientos simples hasta complejas rutinas de trabajo que tienen aplicaciones concretas en la industria y la academia. Desde el punto de vista metodológico, en este documento se propone la investigación, el diseño y desarrollo de un brazo robótico controlado mediante el lenguaje de programación Dev C++. Su propósito es de naturaleza pedagógica: invitar y motivar a los estudiantes universitarios a interactuar de manera dinámica con los procesos académicos y procedimentales que conlleva la comprensión del funcionamiento, la lógica y los códigos de programación (usualmente complejos) de un brazo robótico.

Palabras clave: comunicación serial, grados de libertad, 3D, movimiento, PLA, programación, robot, servomotor.

Abstract

This article presents a detailed study of the movement of a robotic arm, in order to provide essential information about it and also consider the future construction of a Robotics laboratory. Due to the current technological advance, robotics stands out for its ability to integrate different fields of knowledge, in the attempt to emulate simple and complex human movements. These exercises have enormous applications on industry and academia. The methodology proposed in this research is the design and development of a robotic arm controlled by the Dev C++ programming language. Its

* Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN).

** Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN).

main purpose is didactic: invite and motivate university students to interact dynamically with the understanding of operation, consolidation of logic and programming codes (usually complex) of a robotic arm.

Keywords: 3D, Degrees of freedom, Movement, PLA, Programming, Robot, Serial Communication, Servomotor

Introducción

La razón de ser de la robótica es el diseño de máquinas capaces de realizar tareas, aplicaciones, operaciones o procesos en los que usualmente se ve comprometida la seguridad del ser humano. Esta se ha desarrollado en gran escala en países como Japón, Estados Unidos, España, Francia, Alemania, entre otros, que hoy en día cuentan con un avanzado acervo de conocimientos y técnicas diversas para la creación y manipulación de autómatas y demás dispositivos semejantes. En contraste, en un país como Colombia, la robótica aún es un campo con bases no muy sólidas y con unos progresos muy limitados.

En el entorno académico se ha observado que hay una relación directamente proporcional

entre la posibilidad de proporcionar materiales pedagógicos más prácticos y completos para apoyar los temas de las asignaturas, y un aumento de la comprensión y el afianzamiento de los conocimientos por parte de los estudiantes. Con la firme intención de garantizar que los estudiantes de ingeniería electrónica, en particular, los inscritos en la clase de Comunicación por interfaz del PC, tengan un mayor entendimiento de temas de alta complejidad, a continuación presentamos el brazo robótico como una herramienta didáctica pensada y diseñada para mejorar el nivel educativo. El prototipo del que hablaremos está en su versión 1.0 y abierto para que sea retomado, evaluado y optimizado para futuras prácticas.

Desarrollo del brazo robótico

El sistema desarrollado se encuentra dividido en seis bloques fundamentales que permiten que este opere de forma óptima (Aguilar, 2012). A continuación, se describirá cada uno de ellos.

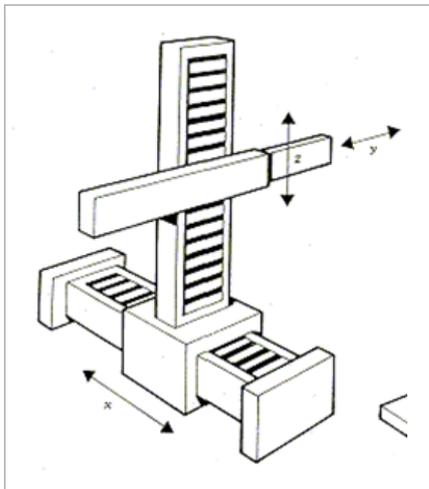
Brazo robótico

Se define como el conjunto de elementos electro-mecánicos que propician el movimiento de un

elemento terminal (*gripper* o herramienta), sea para cumplir una función o solo para manipular un objeto (Martinez *et al.*, 2008). El sistema de un brazo robótico está compuesto por una estructura mecánica, transmisiones, actuadores, sensores, elementos finales y un controlador. Existen cuatro configuraciones básicas para un brazo robótico:

1) Configuración cartesiana: puede realizar tres movimientos lineales, según los ejes de coordenadas (x, y, z).

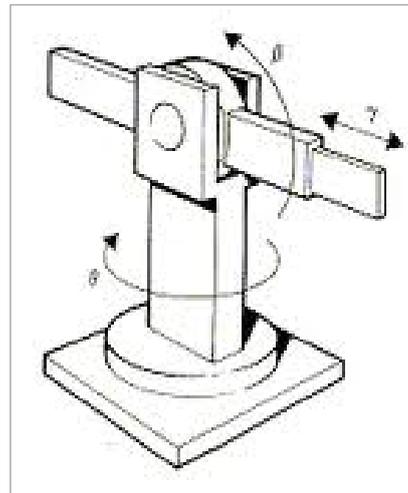
Figura 1. Configuración cartesiana



Fuente: Conde (2012, s. p.)

3) Configuración polar o esférica: tiene tres articulaciones. Cada una de ellas puede realizar un movimiento distinto: rotacional, angular y lineal.

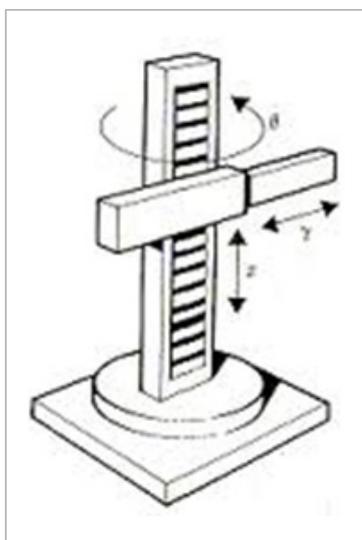
Figura 3. Configuración polar o esférica



Fuente: Conde (2012, s. p.)

2) Configuración cilíndrica: puede realizar dos movimientos lineales y uno de rotación.

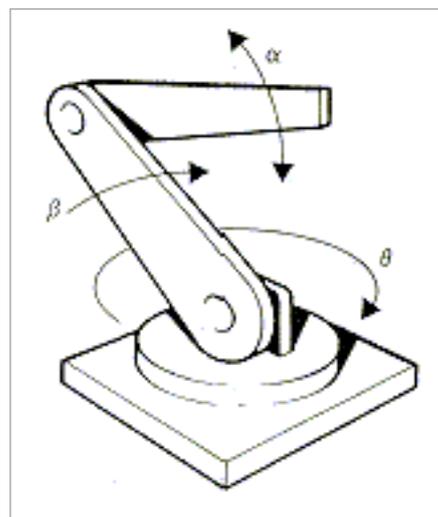
Figura 2. Configuración cilíndrica



Fuente: Conde (2012, s. p.)

4) Configuración angular: presenta una articulación con movimiento rotacional y dos con movimiento angular.

Figura 4. Configuración angular



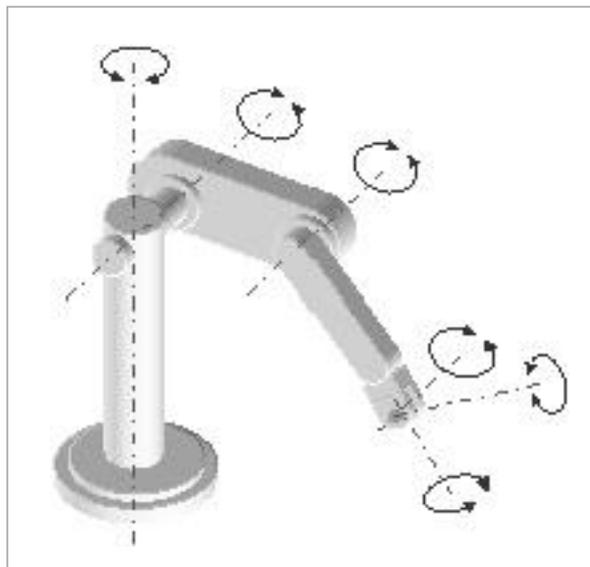
Fuente: Conde (2012, s. p.)

Los grados de libertad se definen como la cantidad de parámetros independientes que determinan la posición del elemento terminal del brazo robótico. El número de grados de libertad, por lo general, coincide con el número de eslabones de la cadena cinemática. Para posicionar y orientar un objeto en el espacio de cualquier manera deseada, se necesitan seis parámetros: tres para la posición y tres para la orientación. Por esta razón, los brazos robóticos industriales en su mayoría tienen seis grados de libertad. Cuando el número de grados de libertad del robot excede

los necesarios para que cumpla con su tarea, se suele decir que es un robot redundante.

Los brazos de un robot a menudo son categorizados por sus grados de libertad (figura 5). Generalmente, estos se refieren al número de ejes de rotación de las articulaciones en el brazo; un número mayor indica más flexibilidad para posicionar una herramienta. Esta es una métrica más práctica que la definición abstracta de los grados de libertad, que mide la capacidad global de posicionamiento de un sistema.

Figura 5. Grados de libertad de un brazo robótico



Fuente: González (2014, s. p.)

Ahora, otro punto importante son las coordenadas generalizadas. Estas son parámetros que describen la configuración de un sistema con respecto a otro usado como referencia. En el estudio de los modelos cinemáticos directo e inverso de un brazo robótico, las coordenadas generalizadas son las coordenadas (x, y, z) con respecto al sistema de referencia, por lo general, ubicado en la base del robot.

Por su parte, el espacio de trabajo de un robot se define de acuerdo con su tamaño y al estado que adoptará al final del recorrido que va a realizar. Asimismo, dicho espacio es definido como regular o irregular dependiendo de la configuración que tenga el brazo robótico (Angulo, 1992). Adicionalmente, los eslabones ayudan a definir el espacio de trabajo de los robots y son factores determinantes para su maniobrabilidad.

Programación usada en robótica

La programación empleada en robótica puede tener un carácter explícito: el operador es el responsable de las acciones de control y de las instrucciones diseñadas para tal fin; o bien, estas pueden estar basadas en la modelación del mundo exterior: cuando se describen la tarea y el entorno, el propio sistema toma las decisiones (Fu, González y Lee, 1994).

La programación explícita es utilizada en las aplicaciones industriales y consta de dos técnicas fundamentales:

- 1) Programación gestual: consiste en guiar el brazo del robot directamente a lo largo de la trayectoria que debe seguir. Los puntos del camino se graban en memoria y luego se repiten. Este tipo de programación exige la presencia del manipulador en la fase de enseñanza –o sea, trabaja *online*–.
- 2) Programación textual: las acciones que ha de realizar el brazo se especifican mediante las instrucciones de un lenguaje. En esta labor no participa la máquina (*offline*). Las trayectorias del manipulador se calculan matemáticamente con gran precisión y se evita el posicionamiento a ojo, muy corriente en la programación gestual.

Los lenguajes de programación textual se encuadran en varios niveles, según se realice la descripción del trabajo del robot. Se relacionan a continuación, en orden creciente de complejidad:

- Lenguajes elementales que controlan directamente el movimiento de las articulaciones del manipulador
- Lenguajes dirigidos a posicionar el elemento terminal del manipulador

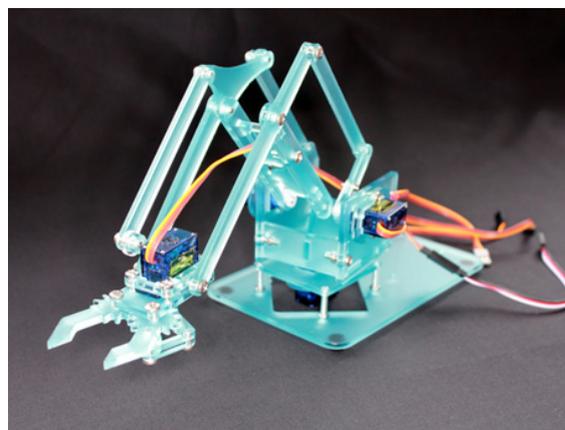
- Lenguajes orientados hacia el objeto sobre el que opera el sistema
- Lenguajes enfocados en la tarea que realiza el robot

Implementación del brazo robótico

Selección del brazo robótico

El MeArm es un brazo robótico de bajo costo diseñado por Ben Grey. Está hecho para ser liviano y económico, lo que hace de él un instrumento perfecto para introducir a un estudiante a la robótica (Cárdenas, *et. al.*, 2015). Este tiene 4 grados de libertad y el ensamblaje de sus piezas es muy sencillo.

Figura 6. Brazo Robótico MeArm



Fuente: Phenoptix (11 de junio del 2014, s. p.)

Adquisición del PLA

Se realizó una compra a la empresa Seizo, dedicada a proveer impresoras 3D, insumos, filamentos y productos impresos. Su personal está capacitado para entrenar, mantener y reparar toda gama de impresoras 3D. Además, cuenta con stock de repuestos e insumos permanente.

Impresión de las piezas 3D

El proyecto tuvo el apoyo de Christian Andrés Barajas, ingeniero con conocimientos y técnicas en la impresión de objetos en 3D.

Ensamble de la estructura

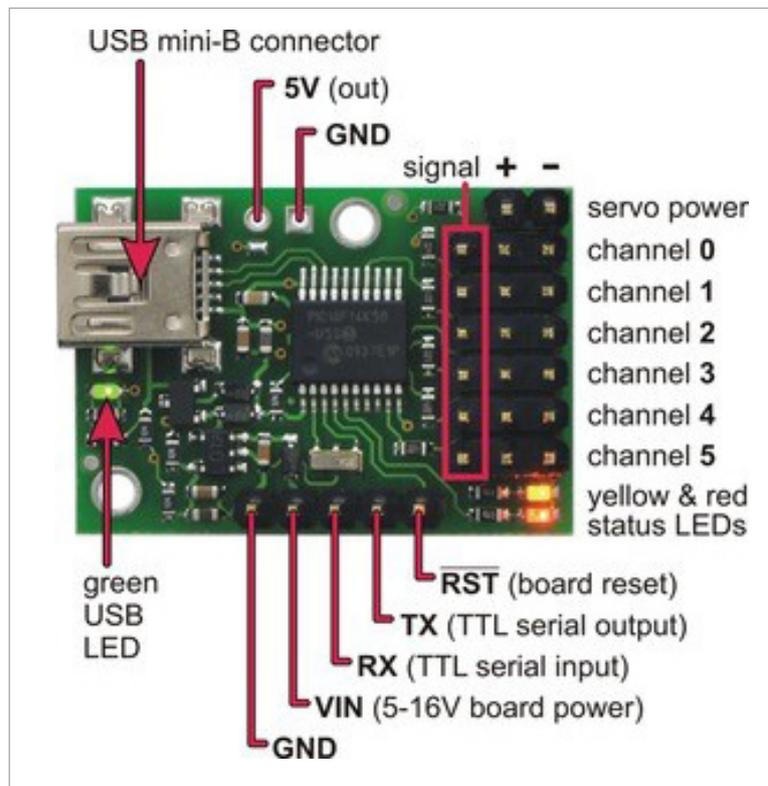
El procedimiento se basó en la utilización de una guía de ensamble (Santos y Duro, 2005), incluida dentro de los archivos brindados por el fabricante. Esta indica el número de tornillos, tuercas y arandelas a utilizar. Antes de este paso, las piezas que presentaron deformidades por las imperfecciones naturales de la impresión 3D fueron lijadas para su correcto acople con las demás.

Tarjeta Pololu® Servocontrol

Según las bases teóricas del funcionamiento del brazo robótico y después de haber impreso cada una de sus partes en 3D, se dio paso a la búsqueda de una tarjeta que permitiera tener el control sobre cada uno de los servomotores. El equipo se decantó por la tarjeta maestro Servocontrol, ya que esta posee 6 canales y puede conectarse a un PC vía puerto USB. La conexión USB se usa para configurar y enviar comandos al controlador, y recoger información de su estado. Este proceso se da a través del envío y recepción de datos vía TTL por las líneas RX y TX.

El procesador y los servomotores pueden tener alimentación separada. El procesador se puede alimentar desde la conexión USB o externamente con valores de 5 a 16VDC conectados a las entradas VIN y GND.

Figura 7. Pololu® maestro servocontrol 6 canales



Es posible tener una fuente de alimentación externa conectada al mismo tiempo que el puerto USB; en este caso, el procesador se alimenta de la fuente de alimentación externa. Se debe tener en cuenta que si la fuente de alimentación externa cae por debajo de 5VDC, no se podrá garantizar el funcionamiento correcto del sistema, aun si está conectado desde el USB.

Tarjeta conversión de datos

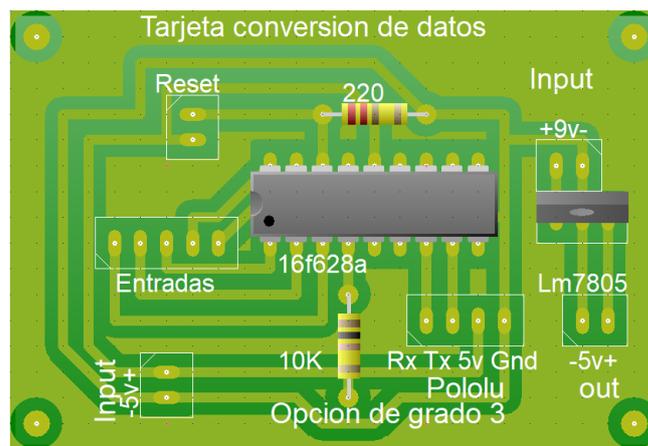
Se realiza el diseño en el programa PCB Wizard® de una tarjeta encargada de evaluar las

condiciones de entrada y ejecutar acciones de envío de datos por medio de comunicación serial a la tarjeta Polulo® Maestro Servocontrol para el movimiento de la estructura del brazo robótico.

Componentes de la tarjeta:

- PIC 16f628a
- Regulador de voltaje LM7805
- Resistencias 220Ω y 10KΩ
- Regleta macho-macho en L
- Cable tipo *jumper* macho-hembra

Figura 8. Tarjeta conversión de datos



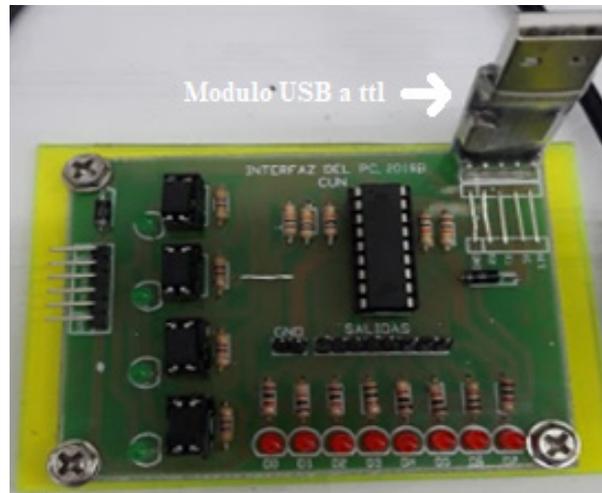
Fuente: Elaboración propia

En este punto es importante mencionar que la programación del microcontrolador está basada en la conversión de datos, debido a que la tarjeta Maestro Pololu® Servocontrol funciona con una serie de instrucciones que no son compatibles con las salidas de la tarjeta de interfaz del PC. El programa en cuestión es desarrollado en la herramienta Pic C Compiler® que principalmente hace uso de rutinas en función de las salidas de la tarjeta de interfaz del PC. Con base en esto se estipulan las instrucciones comúnmente utilizadas para el control de la tarjeta Maestro Pololu® Servocontrol.

Tarjeta interfaz del computador

Posee como parte fundamental un microcontrolador PIC16f628A que regula las instrucciones recibidas desde el lenguaje de programación Dev C++® mediante la conexión de un módulo TTL a USB. Con base en lo anterior, se activan o desactivan 8 salidas. También posee 4 entradas capaces de interactuar y modificar las salidas de la forma que se desee.

Figura 9. Tarjeta de conversión de datos



Fuente: Elaboración propia

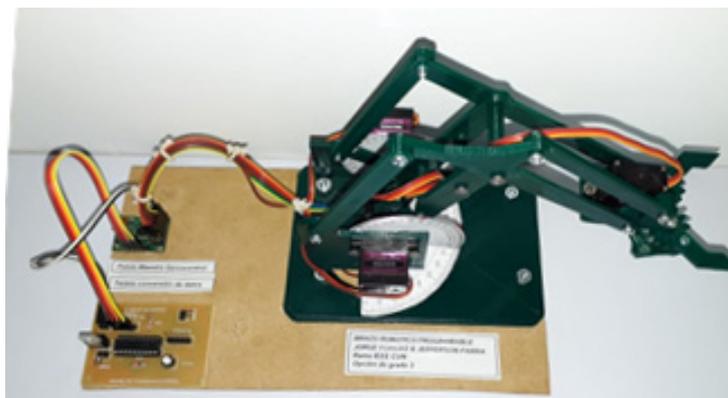
Resultados

Implementación del brazo robótico

Se diseñó, construyó e implementó la estructura completa del brazo robótico con funciones básicas de movimiento programado y se consolidó el prototipo en su versión 1.0, susceptible y abierto a futuras mejoras.

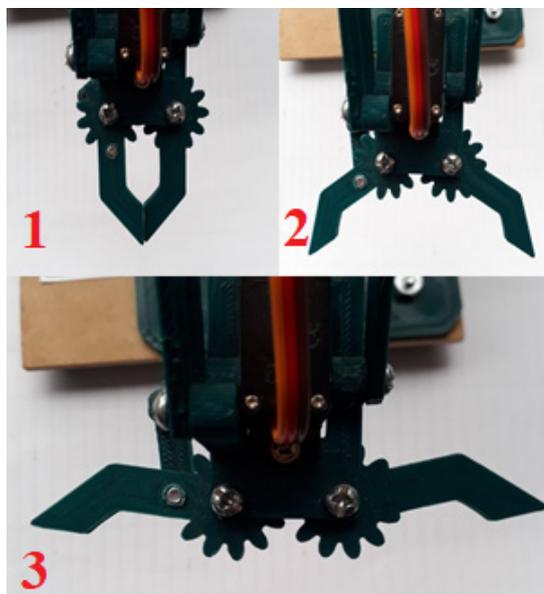
En las pruebas realizadas al prototipo se identificó como posible mejora el aumento de sus grados de posicionamiento y cualificar la estabilidad del sistema. En el momento de implementar el brazo robótico se proyectaron parámetros con tolerancia a los cambios y se definió que sería más rentable imprimir todas las piezas en 3D para reducir costos y garantizar su simetría (ver figuras 10 y 11).

Figura 10. Brazo robótico programable



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Posiciones de la pinza robótica:
1) pinza 0 grados, 2) pinza 90 grados, 3) pinza 180 grados



Fuente: Elaboración propia

Líneas de guía en grados

Se hizo uso de unas guías en grados con el fin de obtener la posición actual de cada servomotor con base en el set de instrucciones de

movimiento estipulado en el manual de usuario. En la figura 12, el punto rojo representa 90 grados, lo que indica que los motores se encuentran en su posición inicial y listos para recibir la primera instrucción de movimiento.

Figura 12. Detalle de guía en grados



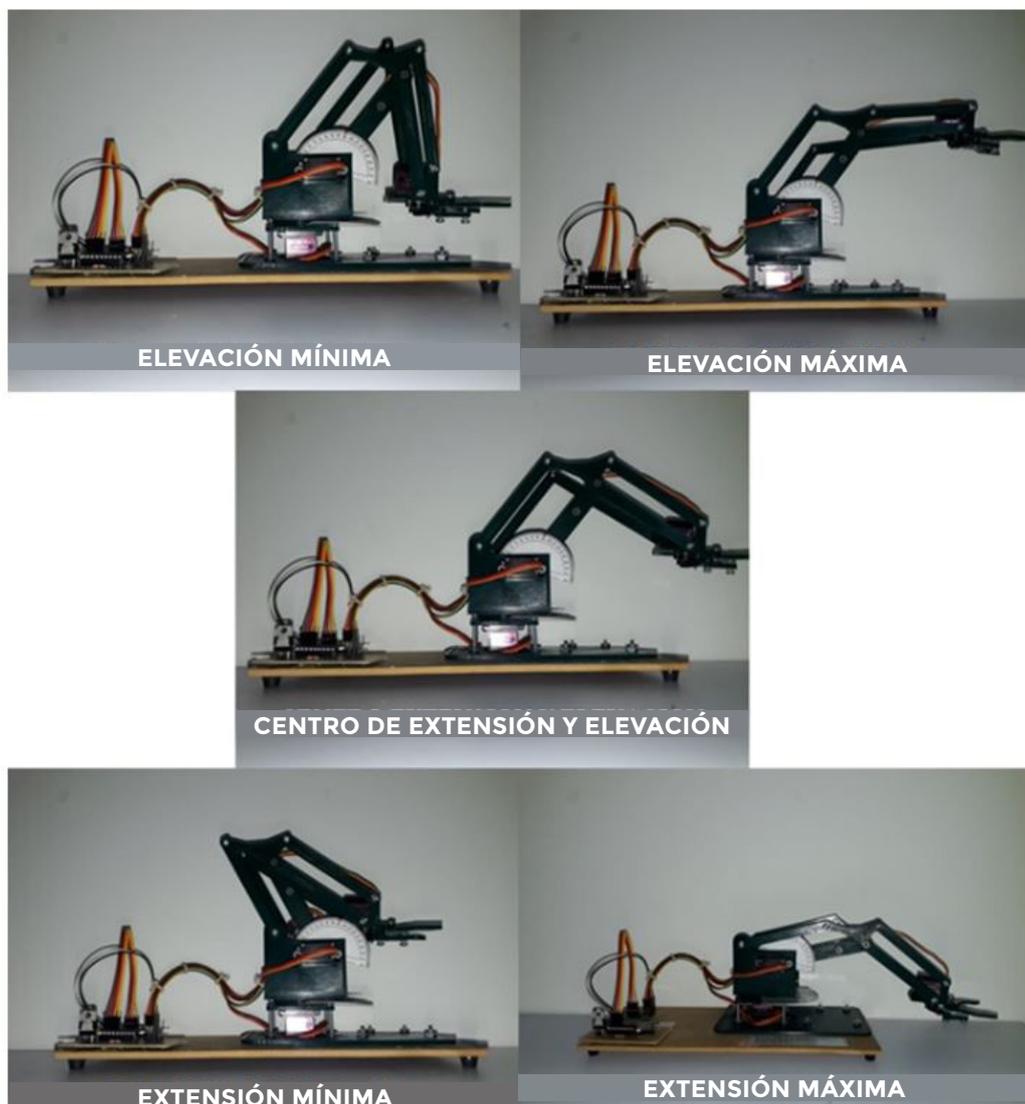
Fuente: Elaboración propia

Movimientos del brazo

En la figura 13 se muestran los movimientos posibles que puede desarrollar el brazo robótico con énfasis en sus máximos y mínimos rangos de movimiento. Al respecto, es de precisar que el brazo robótico presenta una limitación

pronunciada en su rango de movimiento en la base: gira 45 grados a cada lado para un total de 90 grados como máximo. Idealmente, se espera que la siguiente versión de prototipo pueda dar un giro de 180 grados, es decir 90 como máximo a cada lado de su base.

Figura 13. Detalle de guía en grados



Fuente: Elaboración propia

Luego de finalizar su construcción, para desarrollar el control sobre los servomotores se consideró la posibilidad de implementar el microcontrolador PIC 16f877a, pero se evidenció que al programar varios movimientos, los servomotores perdían fuerza para generar el siguiente movimiento, debido a que estos se desenergizaban por un lapso. Por consiguiente, se optó por cambiar la estrategia de control de los movimientos de los motores por medio de una tarjeta Pololu® maestro Servocontrol, pues esta permite obtener los resultados esperados a partir del almacenamiento del dato enviado.

Conclusiones

Durante el desarrollo de este proyecto surgieron inquietudes que se han dejado abiertas y a la espera de respuestas en un futuro cercano. Algunas de ellas están directamente relacionadas con las lecciones aprendidas a lo largo del diseño y puesta en funcionamiento del brazo robótico. Por ejemplo, acerca de los rangos de movimiento, partimos de 90 grados, pero es necesario llevarlo a los 180 grados para garantizar un cubrimiento mayor. De otro lado, la tarjeta de conversión de datos está limitada a recibir 31 instrucciones por el diseño implementado; como posible mejora se podrían acondicionar más entradas, lo que le otorgaría al brazo más movimientos y menguaría su rango de error de 2 milímetros.

Por añadidura, se logró disminuir el impacto ambiental durante la construcción del brazo robótico al sustituir materiales dañinos por el PLA, usado en la impresión de las piezas 3D. Esta elección también mejoró las cualidades de la composición física como la simetría y amplió las posibilidades de producir en serie este tipo de brazos robóticos. La aplicación del proyecto no se limita al enfoque académico, ya que adicionalmente puede ser implementado en distintos sistemas flexibles de manufactura, así como en proyectos innovadores que requieran optimizar los tiempos de trabajo, movimientos y costos de mano de obra.

Durante una de las pruebas realizadas, se utilizó la conexión de la tarjeta interfaz del computador con un microcontrolador directamente enlazado a los servomotores. En este escenario, se detectó una desconexión temporal de los servomotores cuando las condiciones de entrada estaban siendo evaluadas. Con esta experiencia en mente, se dedujo la necesidad de guardar en un algoritmo la posición en la que cada servomotor se detiene para evitar que estos se desactiven. Finalmente, se pudo comprobar que es posible disminuir la cantidad de etapas del prototipo para disminuir los costos de producción y hacer más eficiente la conexión del lenguaje de programación Dev C++ directamente a la tarjeta Pololu® del dispositivo Servocontrol.

Referencias

- Aguilar, A. (2012). *Diseño, impresión, montaje y control de un manipulador robótico* [trabajo de grado]. Universidad Carlos III, Madrid, España. Recuperado de <https://bit.ly/2XGqBHX>
- Angulo, J. (1992). *Robótica práctica: tecnología y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Cárdenas, M., Pedroza, P., Gaitán, K., Salgado, J. y Ordóñez, M. (2015). Diseño y construcción del prototipo de un brazo robótico con tres grados de libertad como objeto de estudio. *Ingeniare*, 18, 87-94. Recuperado de <https://bit.ly/3cqLc79>
- Conde, H. (2012). *Diseño e implementación de un robot SCARA de dos grados de libertad con fines didácticos* [trabajo de grado]. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Fu, K., González, R. y Lee, C. (1994). *Robótica: control, detección, visión e inteligencia*. Madrid: McGraw-Hill.
- González, V. (2014). Curso en línea "Control y robótica" [recurso en línea]. *Open VRG*. Recuperado de <https://bit.ly/2yqWObt>
- Martínez, G., Jáquez, S., Rivera, J. y Sandoval, R. (2008). Diseño propio y construcción de un brazo robótico de 5GDL. *Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación*, 4(1), 9-15. Recuperado de <https://bit.ly/3bfCJDP>
- Medina, J., Villafuerte, R. y Mejía, E. (2014). Simulador 3D para brazo robot de 4 grados de libertad. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12, 1-19. Recuperado de <https://bit.ly/2ENQnmb>
- Phenoptix. (11 de junio del 2014). MeArm V0.4 - Pocket Sized Robot Arm [recurso en línea]. Recuperado de <https://bit.ly/34HjrEM>
- Pololu. (s. f.). *Pololu Maestro servocontrol desde USB. Guía de usuario* [recurso en línea]. Recuperado de <https://bit.ly/3airTva>
- Santos, J. y Duro, R. (2005). *Evolución artificial y robótica autómatas*. Madrid: RA-MA.