

Diseño y Construcción de un Prototipo de Brazo Robótico Didáctico para Prácticas Académicas.

F. M. Hernández López ^{#1}, E. V. Negrete ^{#2}, M. A. Celis Crisóstomo ^{#3}, J. A. Cárdenas Magaña ^{#4}

[#] Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, Jalisco, México.

¹ francisco.hernandez@tamazula.tecmm.edu.mx, ² emmanuel.vega@tamazula.tecmm.edu.mx,

³ marco.celis@tamazula.tecmm.edu.mx, ⁴ jorge.cardenas@tamazula.tecmm.edu.mx

Resumen— El presente artículo describe el diseño, desarrollo y construcción de un prototipo de brazo robótico didáctico enfocado a estudiantes de ingeniería. El proyecto busca proporcionar un material funcional que permita a los alumnos comprender los principios de funcionamiento y control de sistemas robóticos mediante actividades prácticas. Para ello, se utilizaron herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) como SolidWorks, y se empleó una impresora 3D con material PLA para la fabricación de los componentes. Se integraron servomotores seleccionados según criterios de carga y movimiento, así como una interfaz de control basada en Arduino, que permite grabar y replicar rutinas de movimiento a través de una aplicación Android mediante conexión Bluetooth. Este prototipo contribuye a mejorar la experiencia educativa en el área de automatización y control dentro del contexto académico de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

Palabras clave— Brazo robótico, Arduino, SolidWorks, didáctico, prácticas académicas.

Abstract— This article presents the design, development, and construction of a didactic robotic arm prototype aimed at engineering students. The project provides a functional material that allows students to understand the principles of robotic systems through practical activities. The design was carried out using CAD tools such as SolidWorks, and the parts were manufactured using a 3D printer and PLA material. Servomotors were selected based on load and movement requirements, and an Arduino-based control interface was implemented. This allows recording and replicating movement routines through an Android application via Bluetooth communication. The prototype enhances the educational experience in automation and control within the academic context of the Electromechanical Engineering program.

Keywords— Robotic arm, Arduino, SolidWorks, didactic, academic practice.

I. INTRODUCCIÓN

En la era de la transformación digital, la robótica se posiciona como uno de los pilares fundamentales del cambio tecnológico, no sólo por su impacto en la automatización de procesos industriales, sino también por su creciente influencia en la educación. La robótica, entendida como la convergencia de disciplinas como la mecánica, la electrónica, la informática y la inteligencia artificial, permite el desarrollo

de sistemas que imitan comportamientos humanos y ejecutan tareas complejas de forma autónoma o semiautónoma [1].

La incorporación de la robótica en contextos educativos ha permitido a estudiantes de niveles medio superior y superior interactuar con sistemas reales que integran componentes físicos y lógicos, facilitando la transición del conocimiento teórico a la práctica aplicada. En este marco, los brazos robóticos didácticos se han consolidado como una herramienta versátil, accesible y poderosa para fomentar el aprendizaje significativo en áreas como automatización, control, diseño mecánico, programación y manufactura digital [2-3].

A diferencia de los robots industriales, cuyo enfoque está orientado a la eficiencia, repetibilidad y resistencia, los brazos robóticos educativos priorizan la comprensión funcional, la exploración estructural, el desarrollo de algoritmos de control básicos y la familiarización con el hardware. Esta distinción permite su integración en entornos escolares, ya que se pueden construir con materiales accesibles, como estructuras impresas en 3D con PLA, y operar con controladores de código abierto como Arduino [4].

La fabricación aditiva, mediante tecnologías de impresión 3D, y el uso de software CAD como SolidWorks, han democratizado el diseño de componentes mecánicos, permitiendo a estudiantes sin experiencia previa materializar sus propias ideas en modelos funcionales. SolidWorks proporciona herramientas de simulación que permiten validar las condiciones estructurales de los mecanismos, mientras que las impresoras Ultimaker ofrecen alta precisión y compatibilidad con diversos materiales, haciendo posible el prototipado rápido [5-6].

Este proyecto se alinea con esas iniciativas. Propone el diseño, construcción y validación de un brazo robótico didáctico de cinco grados de libertad, fabricado con tecnología de impresión 3D, modelado en SolidWorks y controlado por Arduino UNO a través de una aplicación Android vía Bluetooth. La propuesta no sólo responde a una necesidad técnica en las instituciones educativas, sino que busca también inspirar a estudiantes a desarrollar pensamiento crítico, habilidades de resolución de problemas y una visión innovadora de la ingeniería.

En diversas instituciones de educación superior, se identifica una carencia de herramientas prácticas accesibles que permitan a los estudiantes experimentar directamente con sistemas de automatización y control. Esta limitación dificulta el desarrollo de habilidades técnicas aplicadas, lo que justifica la necesidad de diseñar un brazo robótico funcional, económico y replicable con fines didácticos.

II. ANTECEDENTES

A. Evolución histórica de la robótica

El concepto de máquina autónoma se remonta al año 1774, cuando Pierre Jaquet-Droz diseñó autómatas mecánicos capaces de realizar tareas como escribir, tocar instrumentos o dibujar. Más adelante, en 1920, el escritor checo Karel Čapek introdujo el término “robot” en su obra R.U.R. (Robots Universales Rossum), derivado de la palabra checa robota, que significa “trabajo forzado” [1].

En el ámbito industrial, la robótica moderna inició formalmente en 1956 con el desarrollo de Shakey, un robot con ruedas, sensores y cámara de televisión, que incorporaba elementos de percepción, planeación y movilidad. Este sistema fue obra de los ingenieros Devol y Engelberger, y marcó un hito en la historia de la automatización [1]. En las décadas posteriores, especialmente en los años 80, los robots industriales comenzaron a implementarse en tareas como soldadura, pintura, ensamblaje y manipulación de materiales. La industria automotriz fue la primera en integrarlos de manera masiva, siendo General Motors pionera en su uso continuo. Para 1993 se estimaba que un solo robot podía realizar el trabajo de cinco operarios humanos [1].

En América Latina, y específicamente en México, el desarrollo de la robótica ha sido más reciente. A pesar de que aún no se cuenta con una industria nacional robusta en este campo, diversos investigadores y centros de estudio han impulsado el desarrollo de proyectos propios. A nivel universitario, esto ha significado una oportunidad para introducir la robótica como un campo de formación desde etapas tempranas, utilizando plataformas accesibles y flexibles como Arduino [4].

B. Robótica educativa: impacto formativo

La robótica educativa ha ganado reconocimiento como una estrategia didáctica altamente efectiva. No sólo permite la adquisición de habilidades técnicas, sino que también promueve la motivación intrínseca, el aprendizaje colaborativo y el pensamiento computacional. En este contexto, el uso de brazos robóticos didácticos ha sido documentado como una práctica exitosa para integrar teoría y práctica de forma natural y progresiva [2-3].

Por ejemplo, Sánchez y Ordoñez [3], destacan cómo la implementación de brazos robóticos en el aula permite realizar tareas industriales simuladas, como la selección de piezas, el transporte y la manipulación, generando un entorno de aprendizaje activo que estimula la curiosidad y el

pensamiento lógico de los estudiantes [2]. De manera similar, el proyecto RACSu, desarrollado en Colombia e implementado en la Universidad Católica Lumen Gentium, permitió integrar hardware y software libre en la enseñanza de manufactura avanzada. Este brazo de cinco grados de libertad fue construido con materiales económicos y se utilizó en prácticas guiadas por docentes [3].

En la Universidad Iberoamericana en Puebla, México [8] se construyó un brazo Robótico manipulador utilizando Arduino Uno y servomotores. Su objetivo era apoyar la formación de estudiantes de mecatrónica mediante un enfoque práctico que incluyera el diseño mecánico, la electrónica básica y la programación de movimientos [7]. De manera similar, Rojas et al. propusieron un brazo robótico de bajo costo para uso en laboratorios clínicos, controlado con Arduino y diseñado en SolidWorks, que sirvió como herramienta para enseñar conceptos de automatización y control en entornos reales [8].

Desde una perspectiva más técnica, Morales, Hoyos y García [9] diseñaron un brazo robótico antropomórfico de cuatro grados de libertad, utilizando criterios estructurales y análisis dinámico para optimizar el rendimiento del manipulador. Este Proyecto desarrollado en la Universidad Nacional Experimental del Táchira en Venezuela fue pensado tanto para prácticas de laboratorio como para la formación en diseño cinemático y control de trayectorias [9]. En Ecuador, Yarad y Gómez desarrollaron un brazo robótico automatizado con sensores de visión artificial, controlado mediante una Raspberry Pi, con aplicaciones en la clasificación de objetos balísticos. Este caso destaca el potencial de la robótica didáctica para escalar en complejidad sin perder su enfoque educativo [10].

Estas experiencias evidencian que la robótica educativa no sólo facilita la comprensión de conceptos multidisciplinarios, sino que también impulsa la innovación y el espíritu emprendedor de los estudiantes. La integración de diseño CAD, manufactura aditiva y control embebido en el aula crea una experiencia de aprendizaje inmersiva, en la que el estudiante deja de ser un receptor pasivo para convertirse en protagonista activo de su formación.

A diferencia de los prototipos reportados en literatura, el presente diseño incorpora tanto modelado mecánico avanzado como una interfaz de control móvil accesible, lo que lo hace particularmente apto para entornos donde los recursos son limitados pero se requiere fomentar el aprendizaje práctico en automatización.

III. METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque proyectivo y experimental, ya que se centra en el diseño, construcción y validación de un dispositivo con base en requerimientos didácticos específicos. Se eligió una metodología cuantitativa, dado que el prototipo fue sometido a pruebas de funcionalidad y comportamiento para analizar su desempeño

bajo condiciones controladas. Esta combinación metodológica permite integrar el desarrollo técnico con la validación objetiva de resultados, lo cual es idóneo en entornos de educación en ingeniería.

El desarrollo del prototipo de brazo robótico didáctico se llevó a cabo mediante una metodología estructurada en seis fases, que incluyeron desde la definición de requerimientos hasta la implementación del control inalámbrico mediante una aplicación móvil. Esta estrategia permitió construir un sistema funcional, replicable y accesible para su integración en ambientes de aprendizaje técnico-tecnológico.

A. Definición de requerimientos

La primera etapa consistió en identificar las necesidades funcionales y pedagógicas que debía cubrir el brazo robótico. Se establecieron como criterios principales: bajo costo, operación segura para estudiantes, facilidad de montaje, compatibilidad con servomotores estándar, y capacidad de ser controlado desde una interfaz remota. Estos requerimientos se tradujeron en especificaciones técnicas que guiaron todo el proceso posterior.

El brazo robótico diseñado cuenta con cinco grados de libertad (GDL), lo que permite movimientos básicos de base, brazo, antebrazo, muñeca y pinza. Su estructura está fabricada en plástico PLA utilizando una impresora 3D Ultimaker 2+, lo que proporciona ligereza y facilidad de reemplazo de componentes.

El sistema es controlado por una placa Arduino UNO y un módulo Bluetooth HC-05 que permite su operación desde una aplicación Android. Las dimensiones aproximadas del prototipo son 25 cm de altura, 15 cm de base y 30 cm de largo extendido, con un peso cercano a los 600 gramos incluyendo los servomotores. Los movimientos son accionados mediante cinco servomotores Mg995 de 15 kg, que ofrecen una precisión aceptable para fines didácticos.

TABLA I
TABLA DE MATERIALES CON CANTIDADES.

Componente	Cantidad	Observaciones
Arduino UNO	1	
Servomotor Mg995	1	Controlador principal del sistema
Módulo Bluetooth HC-05	1	Control inalámbrico desde app
Fuente de alimentación	1	Fuente externa de 5V
Filamento PLA (1 kg)	1	Impresión 3D de la estructura
Tornillería y cables	Varios	Ensamble y conexiones eléctricas

B. Diseño mecánico y modelado CAD

Se procedió al diseño mecánico del brazo utilizando el software SolidWorks, que permitió modelar tridimensionalmente los componentes, validar dimensiones,

ángulos de operación y ensamblajes. Se seleccionó una arquitectura de cinco grados de libertad (GDL), con una base giratoria, dos eslabones articulados, una muñeca rotacional y una garra. En la Figura 1 se muestra el modelo CAD final del prototipo, destacando sus principales componentes y configuraciones de movimiento.

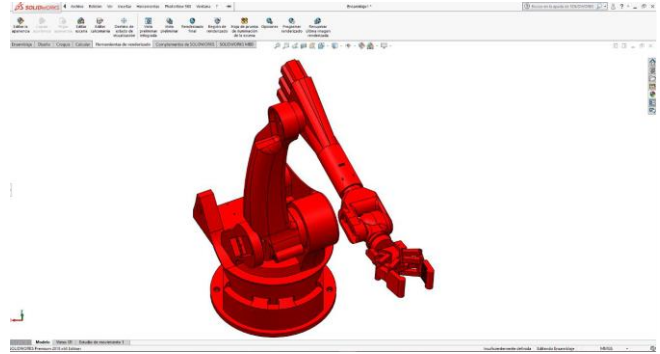


Fig. 1. Modelo 3D del brazo robótico en SolidWorks.

C. Fabricación por impresión 3D

Las piezas diseñadas fueron exportadas en formato STL y fabricadas mediante impresión 3D utilizando filamento PLA, por su resistencia mecánica, facilidad de uso y bajo costo. Las impresiones se realizaron en impresoras Ultimaker, configuradas para obtener buena calidad superficial y tolerancia dimensional. El proceso puede observarse en la Figura 2, donde se muestra una articulación durante su fabricación capa por capa.

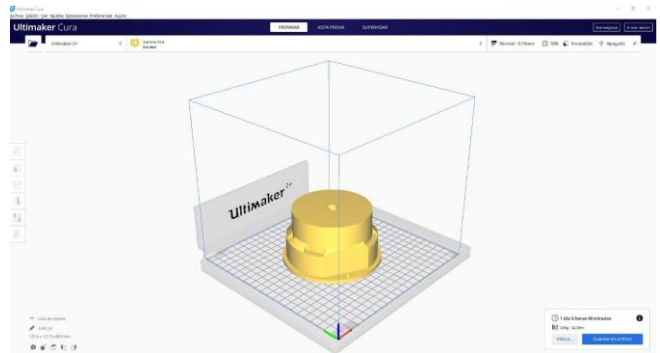


Fig. 2. Impresión 3D de una pieza estructural del brazo robótico.

D. Selección de componentes electrónicos

El sistema de actuación fue compuesto por cinco servomotores Mg995, seleccionados por su torque adecuado, peso reducido y compatibilidad con Arduino UNO. Además, se empleó una fuente de alimentación externa de 5V y una placa Arduino UNO como unidad de control. Las conexiones entre la placa, los servos y la fuente de energía fueron organizadas en protoboard, permitiendo ajustes rápidos en la fase de pruebas.

F. Ensamblaje e integración final

Una vez completadas las piezas y configurado el sistema de control, se procedió al ensamblaje del prototipo. Las piezas se unieron mediante tornillería M3, tuercas encajadas y ensambles diseñados en el modelado CAD. La alineación de ejes y la movilidad sin fricción fueron verificadas mediante pruebas manuales como se muestra en a Figura 6.

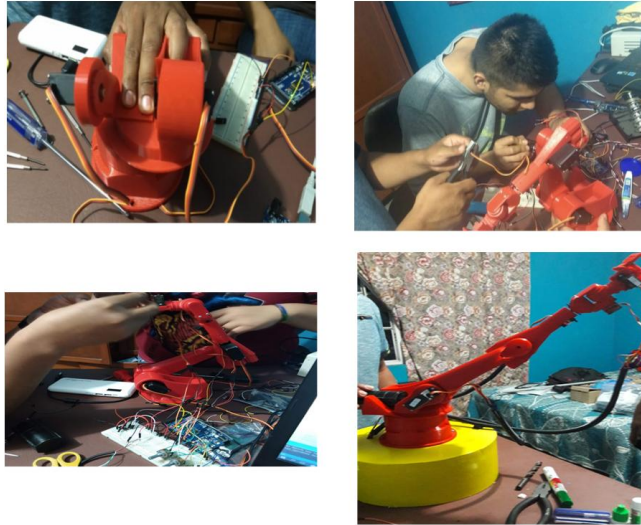


Fig. 6. Proceso de ensamblaje de brazo robótico.

IV. RESULTADOS

El diseño y construcción del brazo robótico didáctico concluyó satisfactoriamente, cumpliendo con los objetivos funcionales y pedagógicos planteados. El prototipo resultante presenta una estructura ligera, robusta y de bajo costo, con cinco grados de libertad operados por servomotores MG995, y controlado mediante una placa Arduino UNO con interfaz inalámbrica Bluetooth.

Las pruebas de funcionamiento demostraron que el sistema es capaz de ejecutar movimientos secuenciales programados y responder a comandos enviados desde una aplicación móvil desarrollada en MIT App Inventor. La interfaz permite al usuario manipular cada articulación de forma independiente, así como ejecutar rutinas automatizadas. La comunicación mediante el módulo HC-05 se mantuvo estable en un rango operativo de hasta 8 metros, sin interrupciones ni interferencias perceptibles.

En el ámbito estructural, las piezas fabricadas mediante impresión 3D con filamento PLA mostraron buena rigidez y precisión dimensional, permitiendo un ensamblaje limpio y funcional. Las dimensiones del prototipo permiten su uso sobre superficies de trabajo comunes, y su diseño modular facilita el desmontaje y ajuste para mantenimiento o mejoras.

Durante sesiones demostrativas, el brazo robótico fue manipulado por estudiantes de ingeniería, quienes interactuaron con el hardware y el software para experimentar conceptos relacionados con programación,

cinemática, diseño CAD y electrónica básica. La respuesta general fue positiva, destacando la accesibilidad, simplicidad operativa y el valor formativo del dispositivo.

Las pruebas incluyeron la ejecución de secuencias programadas con distintos grados de rotación en cada articulación, evaluación del tiempo de respuesta del sistema, y validación de precisión en la repetición de trayectorias. Se registraron los tiempos de retardo entre la señal de la aplicación y el movimiento efectivo del actuador, los cuales se mantuvieron por debajo de 300 ms en promedio. Las especificaciones técnicas generales del prototipo se resumen en la Tabla II.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROTOTIPO DE BRAZO ROBÓTICO.

Característica	Descripción
Grados de libertad	5 DOF (Base, hombro, codo, muñeca, pinza)
Tipo de actuadores	Servomotores MG995 (Torque: 11 kg/cm a 6V)
Controlador	Arduino UNO R3
Software de diseño	SolidWorks
Software de programación	Arduino IDE
Fabricación	Impresión 3D con filamento PLA
Método de control	Inalámbrico vía Bluetooth
Interfaz de usuario	Aplicación Android personalizada
Fuente de alimentación	Batería de 7.4V para servos y 5V para Arduino
Material estructural	PLA (ácido poliláctico)

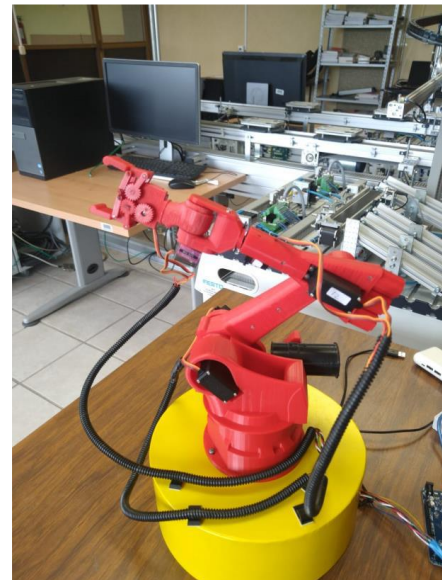


Fig. 7. Brazo robótico didáctico terminado y ensamblado, controlado por Arduino y aplicación Bluetooth.

Los resultados obtenidos confirman la efectividad del prototipo como herramienta educativa, permitiendo a los estudiantes interactuar con conceptos clave de ingeniería, desarrollar habilidades prácticas y fortalecer su comprensión del diseño y control de sistemas robóticos.

V. CONCLUSIONES

El presente trabajo logró cumplir satisfactoriamente el objetivo de diseñar y construir un prototipo funcional de brazo robótico con fines didácticos, integrando herramientas de diseño CAD, tecnologías de fabricación digital e interfaces de control accesibles. El prototipo desarrollado permite a los estudiantes interactuar de forma directa con conceptos de robótica, automatización, programación, electrónica y diseño mecánico, en un entorno práctico, seguro y replicable.

La implementación del sistema mediante Arduino UNO, servomotores MG995 y control por Bluetooth mediante una aplicación Android, demuestra que es posible desarrollar dispositivos de bajo costo y alta funcionalidad con materiales disponibles comercialmente y software de código abierto. El uso de SolidWorks como plataforma de modelado permitió optimizar el diseño mecánico del prototipo, mientras que la impresión 3D con PLA garantizó una fabricación precisa y económica.

El brazo robótico presenta un comportamiento estable, con buena respuesta a las instrucciones programadas y ejecutadas desde la interfaz móvil. Su estructura modular facilita su montaje, mantenimiento y escalabilidad. Durante su aplicación en el aula, el prototipo demostró ser una herramienta eficaz para promover el aprendizaje activo, el razonamiento técnico y el trabajo colaborativo entre los estudiantes.

Finalmente, este proyecto representa una contribución concreta a la incorporación de tecnologías emergentes en entornos de formación tecnológica, fomentando la autonomía, la creatividad y el desarrollo de competencias prácticas en los futuros ingenieros.

El prototipo ha demostrado ser una herramienta efectiva para el fortalecimiento del aprendizaje práctico en el área de ingeniería. Su aplicación en contextos educativos permite a los estudiantes interactuar directamente con conceptos de control, diseño mecánico, electrónica y programación, fomentando así el desarrollo de competencias técnicas. Además, el bajo costo y la facilidad de construcción lo hacen replicable en diversas instituciones educativas.

Como limitaciones, se identificó que el sistema no cuenta con retroalimentación sensorial ni control en lazo cerrado, lo cual restringe la precisión en tareas complejas. En futuras versiones, se propone incorporar sensores de posición, una interfaz de control con mayor resolución y algoritmos de control proporcional derivativo para mejorar la estabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, por brindar el respaldo institucional necesario para el desarrollo de este proyecto. Se

reconoce especialmente el apoyo del cuerpo docente del programa de Ingeniería Electromecánica, así como la participación de los estudiantes en la etapa de pruebas y validación del prototipo.

De igual forma, se agradece el acceso a los equipos de diseño e impresión 3D, sin los cuales no habría sido posible concretar la fabricación del brazo robótico. El uso de plataformas de código abierto como Arduino y MIT App Inventor fue fundamental para democratizar el proceso de desarrollo, y se reconoce la contribución de estas comunidades tecnológicas al ámbito educativo.

REFERENCIAS

- [1] K. S. Fu, R. C. González y C. S. G. Lee, *Robótica: Control, Visión e Inteligencia*, McGraw-Hill, 1988.
- [2] I. J. Henao, J. A. Giraldo, F. A. Meza, C. W. Sánchez y J. E. Ordoñez, "El brazo robótico como herramienta pedagógica en el aula de clase," *Lumen Gentium*, vol. 1, pp. 82–90, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unicatolica.edu.co/revista/index.php/LumGen/article/view/10/15>.
- [3] C. W. Sánchez y J. E. Ordoñez, "Implementación del brazo robótico RACSu como estrategia didáctica en asignaturas de ingeniería," *Dinámica Investigativa*, vol. VI, pp. 168–182, 2021.
- [4] Wordpress (2017), "¿Qué es Arduino?" [En línea]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/01/21/que-es-arduino-3/>.
- [5] Dassault Systèmes (2025), "Why SolidWorks," [En línea]. Disponible en: <https://www.solidworks.com/es>.
- [6] ULTIMAKER (2025), "Ultimaker 2+," [En línea]. Disponible en: <https://ultimaker.com/es/3d-printers/ultimaker-2-plus>.
- [7] A. A. Pérez Díaz, M. A. Macías Lazcano, E. Vázquez Chávez, y J. M. Nevé Brito, "Construcción de un prototipo de brazo robótico manipulado con Arduino Uno," *Expolbero*, Univ. Iberoamericana Puebla, 2017.
- [8] J. S. Rojas, S. Escrucería Del Pino, M. A. Suárez Ramírez, C. A. Peña Cortés, "Diseño e implementación de un brazo robótico de bajo costo para la automatización en el proceso de análisis bacteriológico," *Rev. INGE CUC*, vol. 8, no. 1, pp. 219–230, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/258>.
- [9] K. Morales, C. Hoyos y J. M. García, "Diseño y optimización de la estructura mecánica de un brazo robótico antropomórfico desarrollado con fines educativos," *Rev. UIS Ing.*, vol. 18, no. 4, pp. 193–208, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n4-2019017>.
- [10] M. J. Yarad Jacomé y O. W. Gómez Morales, "Brazo robótico didáctico de 6 GDL automatizado para clasificar objetos balísticos mediante visión artificial," *Rev. Ciencias de Seguridad y Defensa*, vol. 6, no. 1, pp. 55–68, 2021. Disponible en: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-seguridad-defensa/article/view/2172>.