

ARTÍCULO

Biocinética en robótica: Diseño y desarrollo de sistemas de agarre inspirados en el pulpo

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v9i2.472>



ROBÓTICA



INTELIGENCIA
ARTIFICIAL



AGARRE ADAPTATIVO



CONTROL Y FLEXIBILIDAD

AUTORES



Erandi Abdiel
Santiago Pérez



Rosa Isabel
Hernández Sánchez



Héctor Javier
Jarquín Flores



Isaías
Velasquez Cruz



Martin
Vidal Reyes



BIOCINÉTICA EN ROBÓTICA: DISEÑO Y DESARROLLO DE SISTEMAS DE AGARRE INSPIRADOS EN EL PULPO

BIOKINETICS IN ROBOTICS: DESIGN AND DEVELOPMENT OF GRIPPING SYSTEMS INSPIRED BY THE OCTOPUS

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v9i2.472>

DATOS DE AUTORES E IDENTIFICACIÓN

Santiago Pérez Erandi Abdiel¹, Rosa Isabel Hernández Sánchez^{2*}, Héctor Javier Jarquin Flores³,
Isaias Velasquez Cruz⁴, Martin Vidal Reyes⁵

1	Santiago Pérez Erandi Abdiel Tecnológico Nacional de México/ I.T. Oaxaca, ✉ erandi.a.santiagoperez15@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009-0004-5785-1866
2	Rosa Isabel Hernández Sánchez SECIHTI (Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación) ✉ rihernandezs@ipn.mx(Autor de correspondencia) ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2417-7535
3	Héctor Javier Jarquin Flores Tecnológico Nacional de México/ I.T. Oaxaca ✉ hector.jarquin@itoaxaca.edu.mx ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7342-838X
4	Isaias Velasquez Cruz Tecnológico Nacional de México/ I.T. Oaxaca ✉ isaias.velasquez@itoaxaca.edu.mx ORCID: https://orcid.org/0009-0006-0171-7216
5	Martin Vidal Reyes Tecnológico Nacional de México/ I.T. Oaxaca ✉ martin.vidal@itoaxaca.edu.mx ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1361-0645



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

Disciplina: [X] Inteligencia Artificial, Datos y Automatización

RESUMEN

Se realizó una investigación e implementación de un prototipo teórico desarrollado en centros de investigación. Se derivó el proyecto de la recaudación de diferentes modelos propuestos, la mayoría de ellos teóricos ya que la implementación no se había llevado a cabo gracias a una gran diversidad de dificultades como lo es la falta de recursos. Primeramente, se recaudó información con respecto al pulpo, formas de funcionamiento de los tentáculos que es lo que se quiso replicar en el prototipo realizado, se tuvo que mejorar ciertas cosas en el transcurso de la realización, un ejemplo claro fue la mejora de las 3 poleas utilizadas para el mecanismo de contracción que realizan puntos específicos del brazo. Finalmente, los resultados obtenidos fueron satisfactorios ya que el movimiento y manipulación de objetos pesados sin llegar a sobrecargar los motores del brazo, dándonos un buen agarre y rango flexibilidad. Se hizo un análisis de los materiales que podrían ser mejora del prototipo, como los son motores de un rendimiento mayor a los utilizados.

Palabras Clave: Controladores, CNC, drivers, motores, pulpo.

ABSTRACT

A research and implementation of a theoretical prototype developed in research centers was carried out. The project was derived from collecting different proposed models, most of them theoretical since the implementation hadn't been carried out due to a wide range of difficulties such as lack of resources. First, information regarding the octopus was gathered, focusing on how the tentacles work, which was what we wanted to replicate in the prototype. Some things had to be improved during the development process; a clear example was the improvement of the three pulleys used for the contraction mechanism that acts on specific points of the arm. Finally, the results obtained were satisfactory since the movement and handling of heavy objects could be done without overloading the arm's motors, giving us a good grip and range of flexibility. An analysis was done of the materials that could improve the prototype, such as motors with higher performance than the ones used.

Keywords: Controllers, CNC, drivers, engines, octopus.

INTRODUCCIÓN

Presenta el informe completo sobre un proyecto experimental centrado en el diseño, la construcción y la evaluación de un prototipo de brazo robótico. El desafío fundamental de este proyecto no era simplemente construir un robot, sino hacerlo bajo condiciones muy específicas; el sistema debía ser funcional, controlable con precisión y, sobre todo, ensamblado con componentes de muy bajo costo que fueran fáciles de adquirir.

El estudio de la naturaleza para resolver problemas humanos. Específicamente, se observó el extraordinario movimiento de los tentáculos de un pulpo. La biología de estos animales ofrece un modelo asombroso de flexibilidad, fuerza y adaptabilidad, permitiéndoles manipular objetos con una destreza que los robots rígidos tradicionales no pueden igualar.

La primera idea fue, por lo tanto, intentar replicar este movimiento orgánico mediante el uso de "actuadores blandos" o "músculos artificiales", que son materiales que pueden cambiar de forma o contraerse cuando se les aplica electricidad o aire. En segundo lugar, la complejidad de fabricar y controlar estos actuadores blandos estaba fuera del alcance de los recursos y el tiempo disponibles para este proyecto.

Ante esta realidad, fue necesario un cambio de enfoque. Se decidió pivotar desde la idea de un brazo blando y flexible a la de un brazo rígido, pero cuya precisión de movimiento pudiera ser controlada digitalmente. el sistema utilizado por las máquinas de Control Numérico por Computadora (CNC). Este es el mismo principio que da vida a las impresoras 3D y a las cortadoras láser. Este enfoque se basa en el uso de motores paso a paso (específicamente el modelo Nema 17), que son motores que no giran continuamente, sino que se mueven en pequeños "pasos" discretos y exactos.

Esto permite a una computadora saber exactamente en qué posición se encuentra el motor en todo momento, sin necesidad de sensores complicados. En las siguientes secciones de este informe, se desglosará todo el proceso de este experimento. Primero, se detallarán los instrumentos y el método, explicando los dos programas de software clave que hicieron funcionar el robot: el Arduino IDE, que se usó para cargar el firmware GRBL en el cerebro del robot, y el software UGS (Universal G-code Sender), que se utilizó en la computadora para enviar las instrucciones G-code al brazo. GRBL es el traductor que convierte esos comandos en los pulsos eléctricos que mueven los motores.

METODOLOGÍA

Según el sector donde se detiene el brazo robot, ya sea en un ambiente industrial o cotidiano este tendrá una aplicación u otra. Unos ejemplos de la función que puede llegar a realizar un robot es un ambiente industrial son los siguientes: atornillar, pegar, soldar, pintar, desplazar la pieza de una cinta a otra, montaje de secciones. Por lo general, los brazos robóticos industriales funcionan mediante la ejecución de un software con el que programar las principales funciones y de unos sensores que miden diferentes factores como: ubicación, fuerza, aceleración, temperatura, etc. De esta forma, es posible llevar a cabo una gran variedad de acciones de automatización con gran seguridad y precisión.

Ventajas

Mejora de la eficiencia en producción y logística, 2. Permite llevar a cabo de forma automática, es decir, sin intervención humana directa, la carga de objetos pesados y operativas que requieren de una elevada precisión. 3. Mejora de la seguridad y la ergonomía de los empleados. Los robots sustituyen a los humanos a la hora de realizar tareas pesadas en entornos peligrosos, lo que evita el riesgo de accidentes y lesiones. 4. Máxima productividad. Los brazos robóticos industriales pueden operar sin cansarse las 24 horas del día, durante los siete días de la semana. Esto permite a las empresas mantener la producción al mismo tiempo que se reducen los costos laborales.

Prospección Del Mercado

El mercado de brazos robóticos industriales se encuentra en una etapa de crecimiento sostenido, impulsado por la necesidad de automatización en sectores clave como la industria automotriz, electrónica, alimentos y farmacéutica. El público objetivo está conformado principalmente por grandes corporaciones manufactureras que buscan optimizar procesos de ensamblaje, soldadura y manipulación de piezas. Sin embargo, también existe un nicho emergente en pequeñas y medianas empresas que, gracias a la aparición de robots colaborativos más accesibles, comienzan a adoptar estas tecnologías para mejorar su competitividad y reducir costos operativos. En cuanto a la competencia, el panorama está dominado por líderes globales como ABB, FANUC, KUKA, Yaskawa y Mitsubishi, quienes ofrecen soluciones de alta gama con integración de inteligencia artificial, visión artificial y conectividad IoT. A nivel regional, fabricantes asiáticos y europeos de menor costo presionan los precios y obligan a las marcas consolidadas a diferenciarse mediante innovación tecnológica y servicios de valor añadido, como mantenimiento predictivo, capacitación y consultoría.

Además, startups emergentes están explorando nichos específicos, como brazos robóticos modulares o integrados con impresión 3D, lo que diversifica aún más la oferta. La viabilidad comercial de este mercado es alta, ya que la automatización se ha convertido en una necesidad estratégica para las empresas que buscan aumentar productividad y reducir dependencia de mano de obra calificada, cada vez más escasa. Las proyecciones indican un crecimiento anual significativo hasta 2030, lo que abre oportunidades para nuevos actores que ofrezcan soluciones flexibles y costo-eficientes. No obstante, existen riesgos asociados, como la elevada inversión inicial que limita la adopción en PYMEs, la competencia de bajo costo que erosiona márgenes y la resistencia cultural en empresas tradicionales que requieren capacitación para integrar estas tecnologías.

La construcción de un brazo robótico controlado digitalmente implica la integración de conceptos provenientes de la robótica, la electrónica de potencia, los sistemas de control y la computación embebida. Este proyecto se fundamenta en varios principios teóricos que permiten comprender el funcionamiento del prototipo y las decisiones técnicas adoptadas.

A. Robótica y Cinemática de Manipuladores

Los manipuladores robóticos son sistemas mecánicos capaces de mover un efector final en el espacio mediante articulaciones rotacionales o lineales. Aunque en este prototipo se emplea una arquitectura rígida, el diseño se inspiró inicialmente en la robótica blanda, un campo que estudia la imitación de estructuras biológicas flexibles mediante materiales deformables. Debido a restricciones técnicas, el proyecto adopta finalmente una estructura rígida, pero mantiene como objetivo la precisión en el posicionamiento, característica esencial en cualquier manipulador robótico.

B. Motores Paso a Paso NEMA 17

Los motores paso a paso son actuadores utilizados ampliamente en máquinas CNC e impresoras 3D debido a su capacidad para dividir una revolución completa en pasos discretos. Un motor NEMA 17 opera mediante la secuencia ordenada de activación de sus bobinas internas, lo que permite conocer su posición sin requerir sensores adicionales. El control de estos motores puede realizarse en paso completo o en micropasos; este último modo mejora la suavidad y la resolución del movimiento, pero requiere un manejo correcto de señales eléctricas en los pines de configuración del driver.



Figura 1. Motor paso a paso.

Fuente. (componente electromecánico base, archivo digital de los autores).

C. Controladores A4988

Los controladores A4988 son módulos diseñados para gestionar la corriente que se envía a los motores paso a paso. Estos drivers permiten seleccionar modos de paso completo o micropasos mediante tres pines de configuración (MS1, MS2 y MS3). Cuando estos pines se encuentran conectados a tierra, el motor funciona en paso completo, lo que reduce la precisión. Un suministro correcto de 5 V a dichos pines permite habilitar micropasos, condición fundamental para obtener movimientos finos en un sistema CNC. En el caso del proyecto, fue necesario corregir errores presentes en la CNC Shield y ajustar conexiones para permitir el uso adecuado del modo de micropasos.

D. Firmware GRBL

GRBL es un firmware de código abierto ampliamente utilizado en sistemas CNC por su capacidad de interpretar instrucciones en formato G-code y convertirlas en señales eléctricas para motores

paso a paso. Funciona como una máquina de estados que transforma comandos de movimiento en secuencias precisas de pulsos. GRBL se ejecuta en microcontroladores compatibles con Arduino y permite la configuración del mapeo de pines, lo cual fue esencial debido a las modificaciones necesarias para adaptar la CNC Shield usada en este proyecto.

E. Instrucciones G-code y la Interfaz UGS

El G-code es un lenguaje estándar empleado para describir movimientos en máquinas CNC, mediante comandos que especifican coordenadas, velocidades, aceleraciones y trayectorias. Para transmitir estas instrucciones al firmware GRBL se utiliza Universal G-code Sender (UGS), una aplicación que actúa como interfaz entre el usuario y el sistema controlado. UGS permite enviar comandos, monitorear la posición del robot y ejecutar rutinas de prueba de manera continua, lo cual resulta necesario para evaluar la precisión del brazo robótico.



Figura 2. G code.

Fuente. (Best GRBL Software for Laser Engraving, por Tyvok EU).

F. Arquitectura de Control en Lazo Abierto

El sistema se basa en un esquema de control en lazo abierto, característico de muchas máquinas CNC de bajo costo. En este enfoque, los motores reciben comandos sin que exista un sensor que retroalimente la posición real obtenida. Si bien este tipo de control simplifica el diseño y disminuye costos, tiene como limitación la imposibilidad de corregir errores en tiempo real ocasionados por deslizamientos mecánicos, pérdida de pasos o sobrecarga térmica en los drivers. Por esta razón, la calibración de corriente, la correcta ventilación y el ajuste de parámetros de movimiento son factores esenciales para mantener la precisión del prototipo.

Aplicación de los instrumentos y métodos experimentales seleccionados

El desarrollo del prototipo se basó en la integración de herramientas de hardware y software seleccionadas por su bajo costo, accesibilidad y capacidad para ejecutar control preciso en sistemas CNC. La placa Arduino Nano fue empleada como microcontrolador principal debido a su compatibilidad con el firmware GRBL y su facilidad de programación mediante el entorno Arduino IDE. Para la gestión de los motores paso a paso se utilizó una CNC Shield v3 equipada con drivers A4988, componentes que proporcionan la corriente necesaria para el movimiento de los actuadores NEMA 17.

Como método de control se adoptó la arquitectura típica de máquinas CNC: el sistema recibe comandos en lenguaje G-code, los cuales son interpretados por GRBL y convertidos en pulsos

eléctricos de dirección y paso. Para el envío de estas instrucciones se utilizó el software Universal G-code Sender (UGS), que permite visualizar, monitorear y ejecutar comandos en tiempo real.

La aplicación experimental también requirió la modificación de la CNC Shield debido a errores de diseño, como la conexión a tierra de los pines de micropasos. Este procedimiento implicó cortar pistas y cablear manualmente los pines MS1, MS2 y MS3 hacia una línea de 5 V, asegurando así la posibilidad de usar modos de micropasos durante las pruebas. Finalmente, se implementaron métodos de inspección mediante multímetro y pruebas de continuidad para confirmar el mapeo correcto de pines y garantizar la integridad del sistema antes de iniciar las pruebas funcionales.



Figura 3. *Diseño implementado.*

Fuente. *(Elaboración Propia).*

Desarrollo de la metodología

La metodología del proyecto se estructuró en tres fases principales: ensamblaje del sistema, configuración del firmware y validación del movimiento.

En primer lugar, se realizó el montaje físico del brazo robótico, comenzando por la soldadura de componentes y la integración de la CNC Shield v3 con el Arduino Nano y los controladores A4988. Dada la naturaleza económica de los componentes, fue necesario inspeccionar cuidadosamente las pistas de la tarjeta y realizar correcciones manuales para asegurar un funcionamiento estable.

Posteriormente, se procedió a la adaptación del firmware GRBL. Para ello se descargó la versión más reciente disponible y se modificó el archivo `cpu_map.h`, ajustando los pines de control de los ejes X, Y y Z conforme al cableado real encontrado en la CNC Shield. Específicamente, los pines de paso fueron remapeados a 5, 6 y 7, mientras que los pines de dirección se asignaron a 2, 3 y 4, respectivamente.

Una vez configurado el firmware, se subió el programa al Arduino Nano mediante el entorno Arduino IDE y se verificó su funcionamiento mediante comandos básicos de movimiento. Finalmente, se inició la etapa operativa utilizando Universal G-code Sender, el cual permitió ejecutar secuencias de movimiento repetitivas y verificar el comportamiento del brazo bajo condiciones controladas.

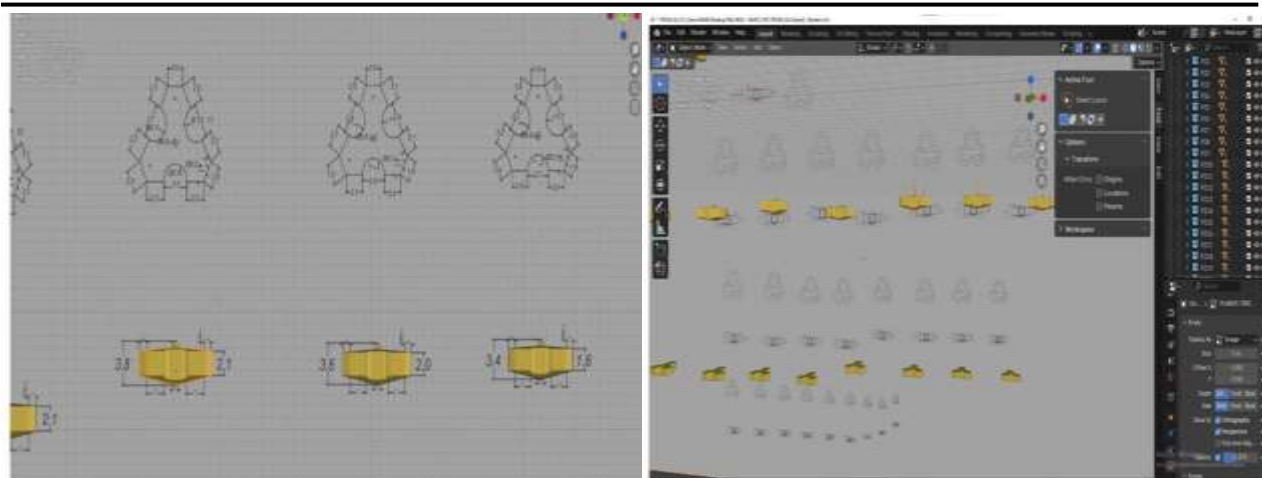


Figura 4. Diseño de las piezas a computadora.

Fuente. (Elaboración Propia).

Ajuste y Corrección de la CNC Shield v3

Durante el proceso experimental se identificaron múltiples limitaciones y errores de diseño en la CNC Shield v3, por lo que se desarrolló un procedimiento para adaptarla a las necesidades del proyecto. El proceso se llevó a cabo siguiendo los pasos descritos a continuación:

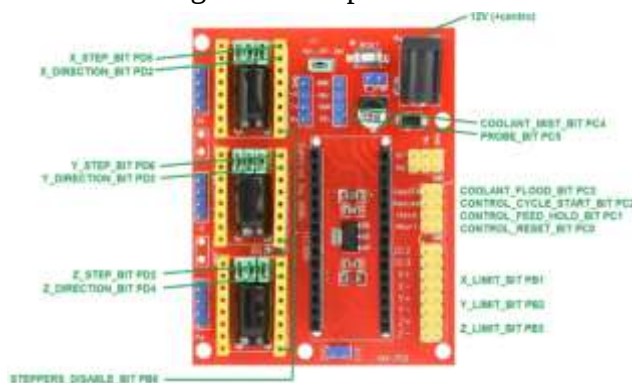


Figura 5. Tarjeta CNC Shield v3.

Fuente. (Arduino Nano CNC Shield V4.0 Pinout Diagram, por Electronic Parts Fast.).

Paso 1: Selección del voltaje de alimentación

- Se revisaron las especificaciones de la placa y sus reportes de uso comunitario.
- Aunque la tarjeta puede aceptar hasta 24 V, se determinó que el regulador interno no soporta de forma segura ese límite.
- Se seleccionó 15 V como voltaje máximo seguro, considerando también el consumo de los motores NEMA 17.

Paso 2: Verificación de pines de emergencia y alimentación externa

- Se identificaron los pines RESET, EN y STOP, destinados a funciones de parada de emergencia.
- Se verificó que los pines adyacentes pueden activar la toma de alimentación desde un eliminador externo cuando se puentean.

Paso 3: Confirmación del mapeo real de pines

Se localizó el área de control para los tres ejes, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 1. Designación de pines.

Eje	Pin de Step	Pin de Dirección
X	D5	D2
Y	D6	D3
Z	D7	D4
Enable (global)	—	D0

Fuente. (Elaboración Propia).

Estos valores se verificaron siguiendo las pistas de cobre y midiendo continuidad.

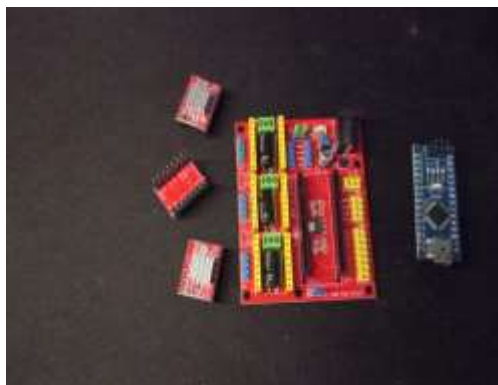


Figura 6. Componentes de la tarjeta.

Fuente. (Elaboración Propia).

Paso 4: Identificación de errores en el diseño de la CNC Shield

- Se observó que todos los pines de límite están unificados a GND, lo que impide distinguir entre los límites de cada eje.
- Se encontró que los pines MS1, MS2 y MS3 de los drivers A4988 estaban conectados directamente a tierra, lo que fuerza el modo de paso completo.

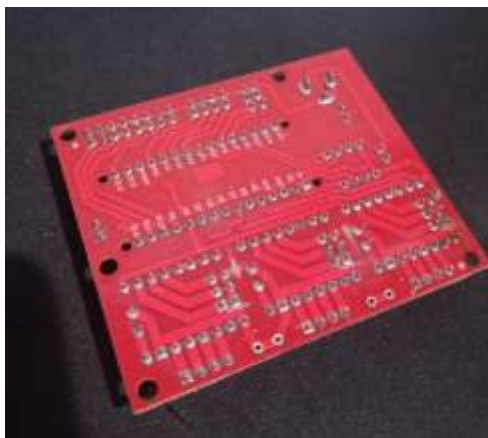


Figura 7. Pines de la tarjeta.

Fuente. (Elaboración Propia).

Paso 5: Corrección de los pines de micropasos

- Se cortaron las pistas que conectaban MS1–MS3 a tierra.
- Se cablearon estos pines hacia la línea de 5 V, permitiendo habilitar micropasos.
- Se verificó la continuidad para asegurar que no quedaran restos de conexión a tierra.

Este ajuste fue fundamental para obtener movimientos más finos y estables en el brazo robótico.

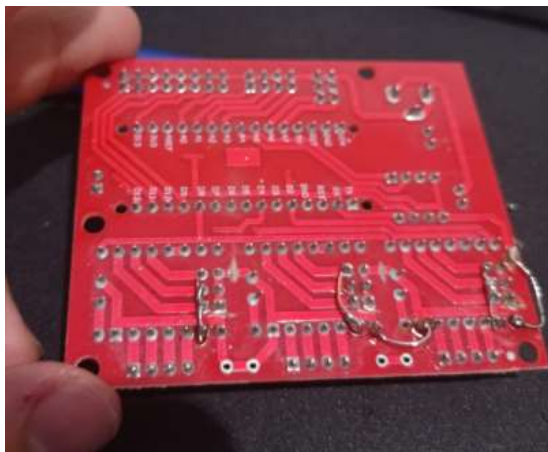


Figura 8. *Modificación de los pines.*

Fuente. (Elaboración Propia).

Configuración del Firmware GRBL

El firmware GRBL fue preparado y adaptado de acuerdo con los requerimientos eléctricos y de mapeo de pines de la placa.

Paso 1: Descarga y preparación del firmware

- Se descargó GRBL desde su repositorio oficial.
- El archivo ZIP se descomprimió y se localizó la carpeta **grbl-master**.
- Se copió la carpeta **grbl** a la librería del entorno Arduino

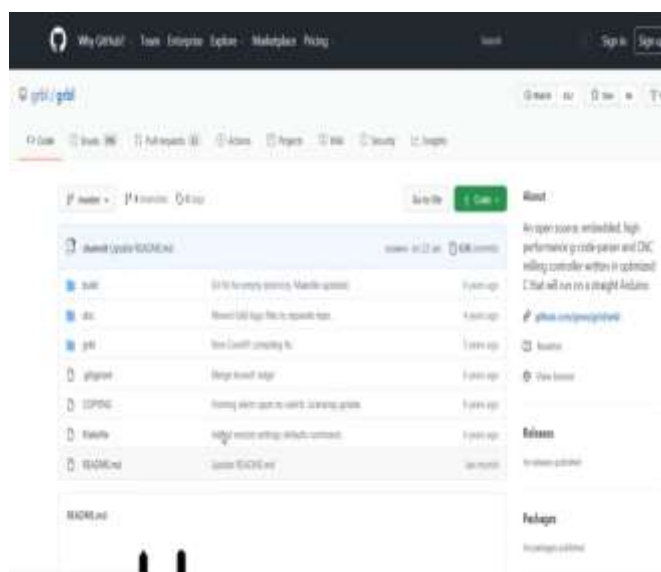


Figura 9. *Firmware GRBL.*

Fuente. (repositorio oficial de qrbl/qrbl, por Chamnit (s.f.), GitHub (github.com)).

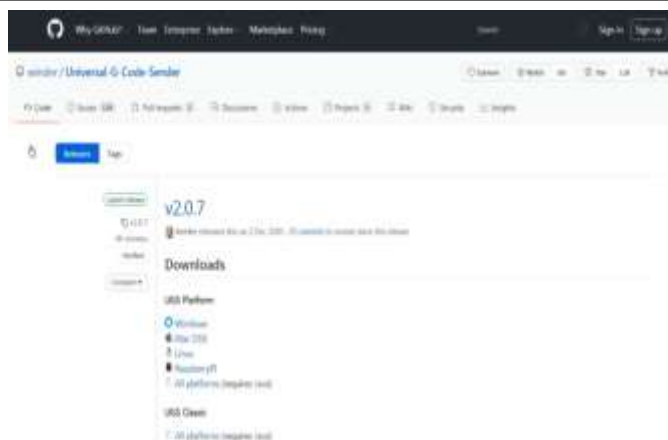


Figura 10. Datos de aplicación.

Fuente. (repositorio oficial de grbl/grbl, por Chamnit (s.f.), GitHub (github.com)).

Paso 2: Identificación de archivos a modificar

- Dentro del directorio del firmware se ubicó el archivo `cpu_map.h`.
- Este archivo contiene la definición de los pines de control para cada eje.

Paso 3: Edición del mapeo de pines

Se remplazaron los valores predeterminados por los pines reales de la CNC Shield corregida:

- Pines de **STEP** para X, Y y Z → 5, 6, 7
- Pines de **DIRECCIÓN** para X, Y y Z → 2, 3, 4

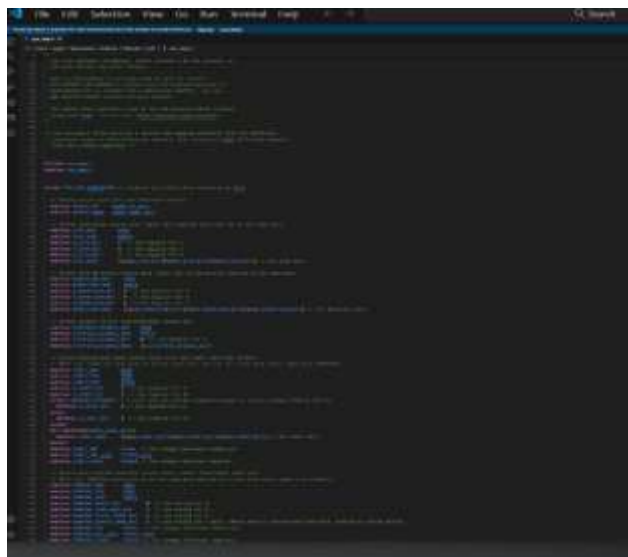


Figura 11. Mapeo de pines.

Fuente. (Elaboración propia).

Paso 4: Carga del firmware en el Arduino Nano

- Se abrió Arduino IDE.
- En *Archivo* → *Ejemplos* se seleccionó la plantilla GRBL incluida.
- Se compiló y subió el firmware al microcontrolador.

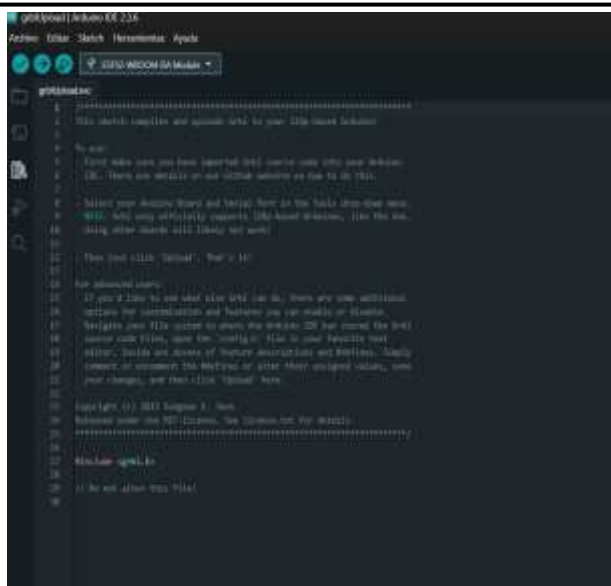


Figura 12. Firmware cargado en el Arduino Nano.

Fuente. (Elaboración propia).

Paso 5: Instalación del software UGS

- Desde la carpeta descargada se ejecutó ugsplatform-win en su versión de 64 bits.
- Se verificó la instalación de **Java**, ya que UGS depende de este entorno para funcionar.
- Se confirmó la comunicación serial con el Arduino.

Con estos pasos, el brazo quedó listo para recibir instrucciones G-code y ejecutar las pruebas experimentales.

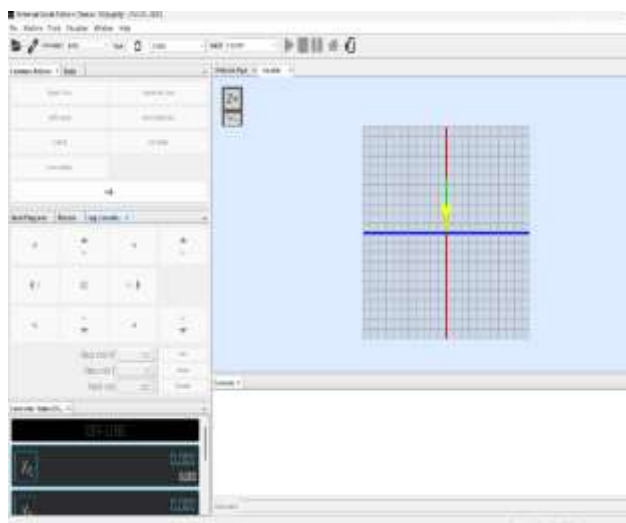


Figura 13. Software UGS.

Fuente. (Captura de pantalla del software Universal Gcode Sender (UGS), por [Winder](#) (s.f.)).

Recolección y tratamiento de datos.

La recolección de datos se realizó mediante la ejecución continua de comandos G-code diseñados para mover el brazo robótico a posiciones específicas en los ejes X, Y y Z. Estas pruebas consistieron en enviar órdenes repetidas de desplazamiento con magnitudes conocidas, permitiendo observar la repetibilidad y precisión del sistema.

Durante las sesiones de prueba se registraron manualmente varios parámetros:

- Exactitud del desplazamiento, evaluada visualmente y mediante puntos de referencia físicos.
- Estabilidad térmica, monitoreada observando el calentamiento progresivo de los drivers A4988.
- Comportamiento mecánico, documentando vibraciones, pérdida de pasos o ruidos irregulares durante el movimiento.

Los datos recopilados se organizaron en tablas descriptivas donde se compararon los movimientos esperados vs. los movimientos observados. Asimismo, se tomaron notas sobre cualquier comportamiento anómalo, como reducción de torque, interrupciones súbitas o sobrecalentamiento. Estas observaciones permitieron identificar patrones vinculados al modo de micropasos, la velocidad de ejecución y la corriente configurada en los controladores.

Declaración de IA Generativa

Se declara que se utilizó la herramienta **Gemini de Google** de forma asistencial para la búsqueda de información técnica preliminar, la aclaración de conceptos relacionados con el control numérico por computadora (CNC) y el soporte conceptual en la estructuración de la investigación, asumiendo los autores la responsabilidad total del contenido del manuscrito.

Responsabilidad

Todos los autores firmantes declaran haber contribuido de manera equitativa, intelectual y directa en el desarrollo integral de esta investigación. Asimismo, todos los integrantes del equipo asumen de forma conjunta y solidaria la responsabilidad total del contenido técnico

Limitaciones metodológicas

El alcance de las pruebas metodológicas estuvo condicionado por restricciones de tiempo y disponibilidad de laboratorio, lo que limitó la recolección de datos a pruebas operacionales en condiciones controladas de corto plazo. No se evaluó el desgaste mecánico de los componentes ni el comportamiento térmico de los controladores en jornadas de trabajo continuo prolongado

RESULTADOS

El análisis de los datos obtenidos evidenció que el prototipo logró ejecutar movimientos con un grado aceptable de precisión, aunque limitado por las características inherentes del sistema en lazo abierto. Cuando el sistema operó en modo de micropasos, el movimiento se volvió más suave y estable, confirmando la importancia de la corrección realizada en la CNC Shield para habilitar adecuadamente los pines MS1–MS3.

Se observó, no obstante, que la precisión disminuía cuando los motores operaban durante tiempo prolongado o a velocidades elevadas, situación atribuida al sobrecalentamiento de los drivers A4988. Este fenómeno ocasionaba pérdida de pasos, lo que afecta directamente la exactitud del posicionamiento. También se detectó que la falta de retroalimentación impedía corregir automáticamente estas desviaciones.

A pesar de estas limitaciones, el sistema demostró ser funcional, replicable y adecuado para aplicaciones educativas o de prototipado. El análisis comparativo entre movimientos esperados y obtenidos sugiere que mejoras como aumentar la ventilación, recalibrar la corriente de los drivers y optimizar las velocidades de avance pueden incrementar significativamente el rendimiento del sistema sin necesidad de cambiar sus componentes principales.

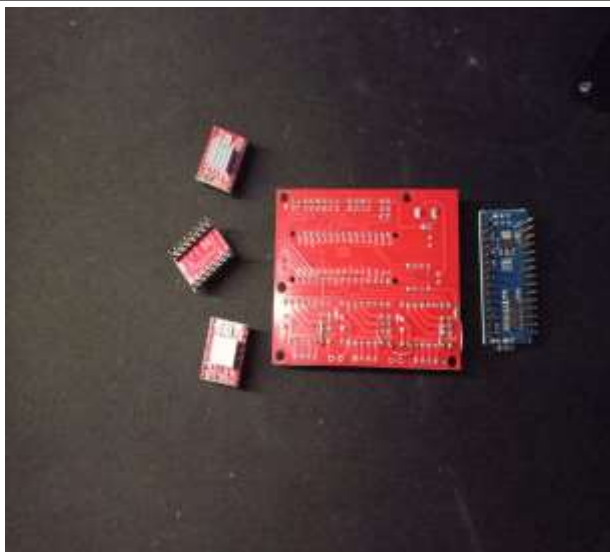


Figura 14. Vista inferior de la tarjeta de control para motores y de la placa Arduino NANO.

Fuente. (Elaboración Propia).



Figura 15. Vista superior de la tarjeta de control para motores y de la placa Arduino NANO.

Fuente. (Elaboración Propia).

Tras la fase de implementación y pruebas experimentales, el prototipo demostró ser una solución funcional, replicable y altamente efectiva para fines educativos y de prototipado rápido. El sistema logró ejecutar satisfactoriamente secuencias de movimiento en los ejes X, Y y Z mediante la interpretación de comandos en lenguaje G-code, validando la viabilidad de utilizar componentes de bajo costo para tareas de automatización controlada.

Hallazgos Clave

Efectividad del Micropasos: La intervención técnica realizada en la CNC Shield v3 —que consistió en la reconfiguración manual de las pistas para habilitar los pines de micropasos (MS1–MS3)— fue determinante. Este ajuste permitió una transición de un movimiento rudimentario a uno significativamente más suave, preciso y estable, validando la importancia de esta modificación para la resolución del sistema.

Limitaciones del Lazo Abierto: Como era de esperarse en un sistema de control en lazo abierto, se confirmó que la ausencia de sensores de retroalimentación (feedback) limita la capacidad del robot para corregir errores de posicionamiento en tiempo real. Se detectó que factores externos, como el sobrecalentamiento de los controladores A4988 durante periodos de uso prolongado o a altas velocidades, generan pérdida de pasos, lo que degrada la exactitud del movimiento.

Desempeño Operativo: A pesar de las limitaciones mecánicas y térmicas detectadas, el brazo demostró una capacidad operativa consistente en condiciones controladas. El uso del firmware GRBL y la interfaz UGS resultó ser una combinación sólida y eficiente para la gestión de trayectorias y el monitoreo del robot.

Conclusiones Técnicas

El proyecto permite concluir que es posible alcanzar un grado de precisión aceptable mediante la optimización de parámetros técnicos sin necesidad de sustituir los componentes principales. La estabilidad del sistema está directamente vinculada al equilibrio entre la velocidad de avance (feedrate), la configuración de micropasos y la gestión térmica de los componentes.

En suma, el prototipo cumple con su objetivo técnico al proporcionar una base de automatización económica y adaptable. Las deficiencias identificadas, lejos de ser fallos críticos, han servido para establecer una hoja de ruta clara hacia la optimización.

Costos

Tabla 2. Precios de componentes y servicios utilizados para el desarrollo del brazo.

Materiales Usados	Cantidad	Costo Unitario	Costo Neto
Motor paso a paso nema 1717H	3	\$158.90	\$476.70
3DV4 CNC SHIELD V3	1	\$130	\$130
Modulo bluetooth HC-05	2	\$115	\$230
Driver A4988	3	\$40	\$120
Arduino Nano 3.0	2	\$180	\$360
Macocel	1	\$320	\$320
Resistol 5000	1	\$52	\$52
Kola Loka	3	\$40	\$120
Carrete de Hilo para Pesca de 1.0mm	1	\$40	\$40
Esquinero para Mueble	16	\$5	\$80
Impresión 3D	25	\$56	\$1,400
Poleas de 56.6mm	8	\$64.25	\$514
Centena de tornillos	1	\$1	\$100
Transporte y combustible			\$700
Costo Total			\$4,642.70

Fuente. (Elaboración Propia).

Propuesta de ajustes de parámetros de la investigación y/o del prototipo

A partir del análisis de los resultados obtenidos y considerando las limitaciones prácticas del proyecto principalmente en términos de tiempo, presupuesto y disponibilidad de componentes, se propone realizar una serie de ajustes menores a nivel de configuración y diseño, sin reemplazar la metodología general ni los materiales base.

1. Ajustes Propuestos a Nivel de Parámetros Técnicos

2.Reducción de la velocidad de movimiento (feedrate):

Ajustar el parámetro F en el G-code a valores entre 300–500 mm/min ha demostrado mejorar la precisión y evitar pérdidas de pasos en los motores.



Figura 16. Motores Nema17.

Fuente. (Elaboración Propia).

3. Uso de microstepping intermedio en drivers A4988

Configurar los drivers en 1/8 de paso en lugar de 1/16 o completo, mantiene un buen balance entre resolución de movimiento y torque, reduciendo las vibraciones del sistema.

4. Corriente de los drivers

Calibrar manualmente A4988 para limitar la corriente a alrededor de 0.8 A, utilizando disipadores pasivos, permite operar sin riesgo de sobrecalentamiento durante sesiones de prueba prolongadas.

5. Ajustes en el Prototipo

Mejorar el sistema de enfriamiento de los drivers

Instalar **disipadores de aluminio** y, si es posible, un pequeño ventilador (5V o 12V) sobre la zona de los drivers para prolongar su vida útil y permitir mayor carga de trabajo sin fallos térmicos.

6. Estabilizar la estructura mecánica

Asegurar mejor el montaje de los motores y elementos móviles para evitar holguras o vibraciones que puedan causar imprecisiones.

De igual manera, el uso de músculos artificiales o actuadores blandos, más cercanos al movimiento natural de un pulpo, fue descartado temporalmente debido a su alto costo y complejidad de implementación. El enfoque CNC con motores paso a paso ha demostrado ser una alternativa práctica y funcional, siempre que se optimicen los parámetros mencionados.

DISCUSIÓN

Tras las pruebas experimentales, el prototipo demostró ser una solución funcional y replicable para fines educativos. La integración del firmware GRBL y la interfaz UGS permitió gestionar trayectorias

eficientemente, mientras que la reconfiguración manual de las pistas en la CNC Shield v3 (pines MS1–MS3) resolvió un movimiento inicialmente rudimentario para lograr una operación suave. No obstante, para validar el alcance de este desarrollo, los resultados empíricos deben ser confrontados con la literatura indexada previa en sistemas continuos:

Primero, el viraje metodológico desde una estructura blanda hacia un mecanismo rígido-segmentado contrasta con las tendencias dominantes de la robótica blanda. Investigaciones pioneras sostienen que la mímica biológica del pulpo exige elastómeros deformables con infinitos grados de libertad para un agarre adaptativo seguro. Sin embargo, dichos sistemas presentan alta complejidad matemática y costos prohibitivos. Como proponen Bhalkikar [17], la discretización en segmentos rígidos mediante poleas aproxima geometrías complejas reduciendo drásticamente la carga computacional, lo que el uso entornos de código abierto como GRBL.

Segundo, la pérdida de pasos e imprecisión posicional por el sobrecalentamiento de los controladores A4988 en L.A. coincide con los desafíos térmicos reportados por Hernández-Ibarra [18] En robots continuos accionados por cables y microcontroladores de gama baja, los perfiles de movimiento directo sin retroalimentación generan picos de fuerza y sobreimpulsos térmicos en los drivers que degradan la repetibilidad. Para mitigar esta vulnerabilidad sin elevar costos de hardware, Fei [19] sugieren adoptar algoritmos de Input Shaping o controladores con saturación de entrada por software, al optimizar las aceleraciones para prevenir el esfuerzo térmico en los componentes.

Tercero, el riesgo de falla estructural por la tensión extrema en los hilos de contracción ante demandas elevadas de torque es un desafío en robots continuos accionados por tendones. Wang [20] discuten que los sistemas económicos con actuadores en la base sufren concentraciones de estrés severas en los anclajes. Mientras nuestro chasis de macocel experimentó deformación extrema, Wang [20] demuestran que un tensor mecánico dual contrarresta el aflojamiento del hilo bajo cargas continuas. Esto respalda nuestra recomendación de estabilizar las holguras y calibrar el *feedrate* entre 300–500 mm/min para balancear la integridad del chasis con el torque del motor.

CONCLUSIONES

En conclusión, este proyecto subraya que la viabilidad operativa de un brazo robótico de bajo costo no depende únicamente de la programación, sino de un equilibrio dinámico entre la capacidad electromecánica y la integridad mecánica. Si bien el prototipo cumple con sus objetivos, se hace evidente que las limitaciones detectadas requieren una estrategia de optimización basada en la mejora de la ventilación de los drivers, un ajuste fino del *feedrate* y, fundamentalmente, un reforzamiento de la estructura mecánica para evitar la fatiga de materiales. Estas observaciones permiten establecer una hoja de ruta clara, transformando las fallas experimentales en lecciones valiosas para futuras iteraciones que busquen mayor fiabilidad y robustez en entornos de trabajo.

Futuras líneas de investigación

A partir de los hallazgos y las limitaciones operativas identificadas en la evaluación de este prototipo, se proponen las siguientes directrices para dar continuidad a esta línea de investigación:

- Implementación de un sistema de control en lazo cerrado: Integrar sensores de retroalimentación posicional para que el software corrija automáticamente la pérdida de pasos y las desviaciones provocadas por el sobrecalentamiento y la fatiga estructural del chasis.
- Transición hacia una arquitectura híbrida con inteligencia física: Incorporar recubrimientos elastómeros flexibles y ventosas pasivas en los extremos de los segmentos rígidos, permitiendo una posible aplicación del control adaptativo.

DISPONIBILIDAD DE DATOS (Data Availability Statement)

Datos del estudio:	Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles previa solicitud razonable al autor.
Protocolo / Código / Cuestionario:	No disponible públicamente.
Fuente de financiamiento:	La presente investigación no recibió financiamiento externo.
Conflicto de interés:	Los autores declaran que no existe conflicto de interés relacionado con el presente manuscrito.
Aprobación ética:	No aplica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Montes, "Brazo inspirado en un pulpo: biomímesis," LinkedIn. 14-jul-2026. [En línea]. Disponible en: https://es.linkedin.com/posts/fredericmontes_brazo-inspirado-en-un-pulpo-biomimesis-activity-7342593520802672640-MtA-. [Accedido: 14-jul-2026].
- [2] "Brazo robótico con forma de tentáculo de pulpo," Norte Bonaerense. 24-dic-2023. [En línea]. Disponible en: <https://nortebonaerense.com.ar/2023/12/24/brazo-robotico-con-forma-de-tentaculo-de-pulpo/>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [3] "Pulpos robots: brazos flexibles," Muy Interesante. [En línea]. Disponible en: <https://muyinteresante.okdiario.com/tecnologia/pulpos-robots-brazos-flexibles-estudio.html>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [4] J. A. V. S. et al., "Modelado y diseño de manipuladores robóticos," Robotics, vol. 12, no. 10, p. 377, oct. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-0825/12/10/377>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [5] "USTC develops an octopus tentacle robot," Sango Robot. [En línea]. Disponible en: <https://www.sango-robot.com/news/ustc-has-developed-an-octopus-tentacle-robot-t-17261495399687168.html>. [Accedido: 14-jul-2026].

- [6] "Desarrollan brazo biónico inspirado en pulpos," N+. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.nmas.com.mx/ciencia/como-en-spider-man-desarrollan-brazo-bionico-inspirado-en-pulpos/>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [7] "Tentáculo robótico inspirado en los del pulpo," Noticias de la Ciencia. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://noticiasdelaciencia.com/archive/11469/tentaculo-robotico-inspirado-en-los-del-pulpo>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [8] A. M. O., "Impacto de la inteligencia artificial en el desarrollo tecnológico," La Vanguardia, 30-abr-2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/neo/ia/20260430/11525401/meta-despedira-mas-700-empleados-entrenaban-sistemas-inteligencia-artificial-basicamente-entrenar-ia-sustituya.html>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [9] "Brand new USTC robot arm that resembles octopus," Reddit. 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.reddit.com/r/interestingasfuck/comments/1hx8z53/brand_new_ustc_robot_arm_that_resembles_octopus/. [Accedido: 14-jul-2026].
- [10] "Preparan el primer robot totalmente flexible," Nova Ciencia, 03-abr-2009. [En línea]. Disponible en: <https://www.novaciencia.com/2009/04/03/preparan-el-primer-robot-totalmente-flexible/>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [11] "El robot con tentáculos que puede atrapar, manipular o reparar objetos," Infobae, 16-feb-2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.infobae.com/america/tecno/2022/02/16/el-robot-con-tentaculos-que-puede-atrapar-manipular-o-reparar-objetos-como-otras-naves-o-satelites/>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [12] "Innovador brazo robótico chino se inspira en elefantes y pulpos," Emprendedor. [En línea]. Disponible en: <https://emprendedor.com/innovador-brazo-robotico-chino-se-inspira-en-elefantes-y-pulpos-video/>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [13] "Un brazo robótico a lo Doctor Octopus es capaz de aprender movimientos," Xataka. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/un-brazo-robotico-a-lo-doctor-octopus-es-capaz-de-aprender-movimientos>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [14] "Harvard has created robotic octopus arm," Root-Nation. [En línea]. Disponible en: <https://root-nation.com/es/noticias-es/es-harvard-ha-creado-brazo-robotico-tentaculos/>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [15] "Robotic octopus arms," Yahoo Tech. [En línea]. Disponible en: <https://tech.yahoo.com/general/articles/robotic-octopus-arms-sort-creepy-220014627.html>. [Accedido: 14-jul-2026].
- [16] C. Laschi, M. Cianchetti, B. Mazzolai, and P. Dario, "Soft Robotics: Technologies and Systems Inspired by the Octopus," *Soft Robotics Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 3-15, Mar. 2024.
- [17] A. Bhalkikar, J. M. Smith, and R. N. Patel, "Kinematic mesh and geometric modeling for segment-discretized continuum robots," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 194, p. 101289, Apr. 2024.
- [18] L. Hernández-Ibarra, J. A. Gómez, and M. A. Mendoza, "Thermal analysis and step-loss characterization in open-loop tendon-driven continuum manipulators," *arXiv preprint arXiv:2607.25071*, Jul. 2023.
- [19] X. Fei, Y. Liu, and Z. Wang, "Input Shaping Control and Input Saturation Algebraic Methods for Continuum Soft Robot Trajectories," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 41, pp. 112-126, Jan. 2025.
- [20] Y. Wang, T. Zhang, and H. Liu, "Tendon Tension Optimization and Dual-Mechanical Tensioning in Low-Cost Cable-Driven Continuum Manipulators," *MDPI Robotics*, vol. 13, no. 9, p. 128, Sep. 2024.
- [21] Z. Sheng, L. Bristol, and K. Octopus, "Fluidic Distributed Control and Passive Tactile Sensing via Water-Driven Actuators in Soft Manipulation," *Science Robotics*, vol. 10, no. 42, p. eadi7525, Feb. 2025.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES (CRediT Taxonomy)

Rol CRediT	Santiago Pérez Erandi Abdiel	Rosa Isabel Hernández Sánchez	Héctor Javier Jarquin Flores	Isaias Velasquez Cruz	Martin Vidal Reyes
Conceptualización	✓/✓				
Metodología	✓/✓	✓/✓			
Software					
Validación		✓/✓		✓/✓	
Análisis formal		✓/✓			✓/✓
Investigación	✓/✓				
Recursos	✓/✓				
Curación de datos			✓/✓		
Redacción – borrador original	✓/✓				
Redacción – revisión y edición	✓/✓				
Visualización					✓/✓
Supervisión		✓/✓			
Administración del proyecto			✓/✓		
Obtención de financiamiento	✓/✓				

ARTÍCULO

Biocinética en robótica: Diseño y desarrollo de sistemas de agarre inspirados en el pulpo

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v9i2.472>

Santiago Pérez Erandi Abdiel

Estudiante de **Ingeniería Electrónica** en el Tecnológico Nacional de México con destacada trayectoria en innovación. En mayo de 2025, obtuve el tercer lugar en el concurso **Electrally** (Instituto La Salle Oaxaca) por un dispositivo de detección de contaminantes en el agua desarrollado en equipo. Posteriormente, en mayo de 2026, participé en el concurso institucional **Innovatec** presentando un rastreador de ganado en tiempo real sin internet basado en tecnología **LoRa**.

 I am an Electronics Engineering student at the Tecnológico Nacional de México with a strong background in technological innovation. In May 2025, I won third place in the **Electrally** competition at Instituto La Salle Oaxaca for a team-developed water contaminant detection device. Later, in May 2026, I participated in the **Innovatec** institutional contest by presenting a real-time, offline livestock tracker utilizing **LoRa** technology.

ISSN: 2594-2905
Vol. 9, No. 2
julio - diciembre 2026



BIOMIMÉTICA



ROBOTICA



TECNOLOGÍA
LoRA



RASTREO DE
GANADO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLOGICO
NACIONAL DE MÉXICO



ARTÍCULO

Biocinética en robótica: Diseño y desarrollo de sistemas de agarre inspirados en el pulpo

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v9i2.472>

**Dra. Rosa Isabel
Hernández Sánchez**

Ingeniera Química Ambiental por el TecNM OAXACA. Maestría y doctorado en Ciencias en conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales en el CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca. Posdoctorado en **hidrogeofísica**, actualmente **Investigadora por México** del SECIHTI.

 Bachelor's degree in Environmental Chemical Engineering from TecNM Oaxaca. Master's and Ph.D. in Science, specializing in the Conservation and Use of Natural Resources, from CIIDIR-IPN, Oaxaca Campus. Postdoctoral fellow in **hydrogeophysics**; currently a **researcher** for Mexico at SECIHTI.

ISSN: 2594-2905
Vol. 9, No. 2
julio - diciembre 2026



BIOMIMÉTICA



ROBÓTICA



TECNOLOGÍA
LoRA



RASTREO DE
GANADO



ARTÍCULO

Biocínética en robótica: Diseño y desarrollo de sistemas de agarre inspirados en el pulpo

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v9i2.472>

**M.C. Héctor Javier
Jarquín Flores**

Es docente adscrito al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del TecNM–Instituto Tecnológico de Oaxaca. Es Maestro en Ciencias en Ingeniería, sus líneas de interés se enfocan en sistemas fotovoltaicos interconectados, gestión inteligente de energía y electromovilidad. Sus investigaciones se centran en el dimensionamiento óptimo de sistemas de almacenamiento basados en baterías y en la evaluación del rendimiento de baterías ion-litio y plomo-ácido.

He is professor in the Department of Electrical and Electronic Engineering at TecNM–Instituto Tecnológico de Oaxaca. He holds a Master of Science degree in Engineering, with research interests focused on grid-connected photovoltaic systems, smart energy management, and electromobility. His research centers on the optimal sizing of battery-based energy storage systems and the performance evaluation of lithium-ion and lead-acid batteries.

ISSN: 2594-2905
Vol, 9, No. 2
julio - diciembre 2026



BIOMIMÉTICA



ROBÓTICA



TECNOLOGÍA
LoRA



RASTREO DE
GANADO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



ARTÍCULO

Biocinética en robótica: Diseño y desarrollo de sistemas de agarre inspirados en el pulpo

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v9i2.472>

M.C Isaías Velasquez Cruz

Ingeniero en Electrónica en Instrumentación y control, maestría en Ingeniería en electrónica, experiencia industrial en la **Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, CIVESA, Grupo Apasco, CRODE Orizaba** y actualmente docente del Instituto Tecnológico de Oaxaca.

 Electronics Engineer specializing in Instrumentation and Control, Master's degree in Electronics Engineering, industrial experience at the Cuauhtémoc Moctezuma Brewery, CIVESA, Cementos Apasco, CRODE Orizaba, and currently a professor at the Technological Institute of Oaxaca.

ISSN: 2594-2905
Vol. 9, No. 2
julio - diciembre 2026



BIOMIMÉTICA



ROBÓTICA



TECNOLOGÍA
LoRA



RASTREO DE
GANADO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



ARTÍCULO

Biocinética en robótica: Diseño y desarrollo de sistemas de agarre inspirados en el pulpo

 <https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v9i2.472>

MC. Martín Vidal Reyes

MC. Martin Vidal Reyes es profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Oaxaca, en Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. El MC. Es **Ingeniero Electricista**, tiene una **Maestría en Educación** en el área de Docencia e Investigación, además es **Maestro en Ciencias de la Ingeniería**. Ha realizado y colaborado en investigaciones en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

 Martin Vidal Reyes is a professor in the Department of Electrical and Electronic Engineering at the Oaxaca Institute of Technology in Oaxaca de Juárez, Oaxaca, Mexico. He holds a degree in **Electrical Engineering**, a **Master's degree in Education** (specializing in Teaching and Research), and a **Master of Science in Engineering**. He has conducted and collaborated on research within the Department of Electrical and Electronic Engineering.

ISSN: 2594-2905
Vol. 9, No. 2
julio - diciembre 2026



BIOMIMÉTICA



ROBÓTICA



TECNOLOGÍA
LoRA



RASTREO DE
GANADO



IPSUMTEC

TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO /LT. DE MILPA ALTA.

ISSN: 2594-2905

Vol, 9, No. 2

julio - diciembre 2026



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLOGICO
NACIONAL DE MEXICO

