

## Implementación de un gripper robótico: estudio cinemático y proceso de fabricación aditiva

### Implementation of a robotic gripper: kinematic study and additive manufacturing process

E. García-Trinidad <sup>a,\*</sup>, E. Arcos Hernández <sup>a</sup>, J.R. García Sánchez <sup>a</sup>,  
M. Peralta Gutiérrez <sup>a</sup>, C.F. Juárez Carrillo <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan, Tecnológico Nacional de México, 52773, Huixquilucan, Estado de México, México.

#### Resumen

Este artículo presenta la implementación de un gripper robótico, desde su diseño conceptual y análisis cinemático hasta su fabricación y ensamblaje mediante manufactura aditiva. Se detalla el modelado del gripper como un mecanismo de cuatro barras, su simulación numérica en Python y la validación en SolidWorks Motion. Un aspecto central es la demostración de que la impresión 3D de código abierto, utilizando filamento PLA en una impresora Creality Ender 5-Plus, ofrece una solución viable y de bajo costo. Esto permite superar las barreras económicas y logísticas que enfrentan los investigadores en países emergentes para el desarrollo robótico. El éxito del ensamblaje valida la solidez del diseño, promoviendo la innovación y la autosuficiencia tecnológica en el campo de la robótica.

#### Palabras Clave:

Gripper robótico, análisis cinemático, manufactura aditiva, robótica de bajo costo, impresión 3D.

#### Abstract

This article presents the implementation of a robotic gripper, from its conceptual design and kinematic analysis to its fabrication and assembly using additive manufacturing. The paper details the gripper's modeling as a four-bar mechanism, its numerical simulation in Python, and validation in SolidWorks Motion. A central aspect is demonstrating that open-source 3D printing, utilizing PLA filament on a Creality Ender 5-Plus printer, offers a viable and low-cost solution. This approach overcomes economic and logistical barriers faced by researchers in emerging countries for robotic development. The successful assembly validates the design's robustness, promoting innovation and technological self-sufficiency in robotics.

#### Keywords:

Robotic gripper, kinematic analysis, additive manufacturing, low-cost robotics, 3D-printing.

## 1. Introducción

Por décadas, han existido barreras significativas para los académicos e investigadores en países emergentes como México, para la construcción y puesta en marcha de robots. El alto costo de equipo especializado para la manufactura, junto con la importación de componentes a precios restrictivos, y los largos tiempos de fabricación, han limitado el llevar a la experimentación el diseño de componentes robóticos (Oke, *et al.*, 2023). Específicamente, en la robótica de manipuladores, la construcción de la mano del robot, comúnmente conocido como pinza o gripper, ha sido limitada debido a que tradicionalmente estos componentes se fabrican con técnicas CNC o de moldeo por inyección de plásticos. En un ambiente académico estas barreras se suman a los fondos limitados y a una infraestructura no apropiada.

Cuando se utiliza la tecnología de manufactura aditiva, especialmente si es de código libre, se ofrece una solución a los retos descritos anteriormente (Kuwahara, *et al.*, 2025). Esta tecnología permite acelerar el ciclo de innovación, disminuyendo la barrera económica y habilitando a los académicos e investigadores a no sólo experimentar con robots importados y actuar como consumidores de tecnología, sino de ser creadores activos y realizar una contribución real al campo de la robótica.

La impresión 3D ha revolucionado la construcción de grippers al disminuir drásticamente el costo de su producción en bajo volumen. Esto es crucial porque los grippers, al ser herramientas diseñadas para una tarea específica, a menudo requieren la fabricación de varios prototipos. En la investigación, el diseño inicial rara vez es el final, y la impresión 3D facilita esta iteración. De esta forma, en un ciclo tradicional donde se diseña, se envía al taller de maquinado, y se espera semanas para recibir el prototipo, en un ciclo con impresión 3D, se deja imprimiendo el diseño toda

\*Autor para la correspondencia: [enrique.g.t@huixquilucan.tecnm.mx](mailto:enrique.g.t@huixquilucan.tecnm.mx)

Correo electrónico: [enrique.g.t@huixquilucan.tecnm.mx](mailto:enrique.g.t@huixquilucan.tecnm.mx) (Enrique García-Trinidad), [emmanuel.a.h@huixquilucan.tecnm.mx](mailto:emmanuel.a.h@huixquilucan.tecnm.mx) (Emmanuel Arcos Hernández), [jose.g.s@huixquilucan.tecnm.mx](mailto:jose.g.s@huixquilucan.tecnm.mx) (José Rafael García Sánchez), [manuel.p.g@huixquilucan.tecnm.mx](mailto:manuel.p.g@huixquilucan.tecnm.mx) (Manuel Peralta Gutiérrez), [cesar.j.c@huixquilucan.tecnm.mx](mailto:cesar.j.c@huixquilucan.tecnm.mx) (César Felipe Juárez Carrillo).

la noche y se puede probar el prototipo a la mañana siguiente. Esta agilidad permite realizar múltiples pruebas y mejoras en la misma semana, acelerando el ciclo de diseño y construcción.

En este artículo, se aborda el diseño y la creación de un gripper robótico. Se describe el proceso completo: desde el análisis cinemático y la simulación numérica y gráfica, hasta el modelado 3D, la impresión y el ensamble. Este gripper es una herramienta esencial para un manipulador robótico que fue previamente fabricado con la misma tecnología de manufactura aditiva.

### 1.1. Estado del arte de los grippers robóticos

Los grippers robóticos se clasifican según sus aplicaciones en campos tan diversos como el ensamblaje a gran escala, la manipulación de objetos frágiles con retroalimentación de fuerza, los procedimientos quirúrgicos que requieren grippers de cuerpo blando, la manipulación de componentes diminutos con nano grippers y el manejo de textiles (Tai, *et al.*, 2016). No obstante, en este artículo, la clasificación se centra en el costo de los grippers.

El concepto de bajo costo en el ámbito de los grippers robóticos es relativo, ya que abarca una amplia gama de soluciones, desde componentes para aficionados hasta sistemas de grado industrial y de investigación. Por esta razón, es fundamental tener una comprensión completa de esta estructura de precios por niveles para poder realizar una comparación precisa. El costo económico de los grippers puede clasificarse según su rango de precio inicial en alto costo (>\$1000 USD), medio costo (\$100 USD - \$1000 USD) y bajo costo (<\$100 USD).

Los grippers de alto costo, están diseñados meticulosamente para aplicaciones industriales. Un ejemplo notable es el gripper DH AG-105-145, que se distingue por su configuración adaptable de dos dedos, su apertura extendida y su control preciso, lo que lo convierte en una herramienta versátil para aplicaciones de robótica colaborativa (DH-Robotics, 2024). Otros grippers comparables disponibles en el mercado son el Robotiq 2F-140 (Robotiq, 2025), el UFactory xArm Gripper (Ufactory, 2025) y el Weiss Robotics Gripper CR Easy (Weiss Robotics, 2025). Estos grippers, enfocados en ofrecer una alta relación calidad precio, se utilizan ampliamente en la robótica colaborativa y están diseñados específicamente para aplicaciones industriales.

Los grippers de medio costo ofrecen opciones neumáticas simplificadas que no requieren mantenimiento. Algunos ejemplos notables son el gripper neumático paralelo de dos dedos Dura Grip 2 (RI Manufacturing Co., 2025) y los grippers Robohand (Destaco, 2025), que se caracterizan por su fácil instalación, durabilidad y alta precisión. En el caso de los grippers que están destinados a fines educativos o de investigación, el SoftGripper es un ejemplo que integra la automatización industrial y aplicaciones de robótica con IA en espacios universitarios (SoftGripping, 2025). Estos grippers están fabricados con silicona y se consideran seguros para la interacción humana. Estos avances en la tecnología de los grippers no solo mejoran la eficiencia industrial, sino que también tienden un puente entre la industria y la educación, fomentando la innovación y el aprendizaje práctico en robótica y automatización.

Los grippers de bajo costo generalmente incluyen diseños mecánicos básicos y kits diseñados con fines educativos o aplicaciones sencillas para aficionados. Estos grippers suelen ser de marcas poco conocidas o fabricadas por pequeños productores. Ejemplos recientes, como el Kitronik Klaw MK2 Robotic Gripper Kit (Donnison, 2024), presentan un accionamiento por servomotor y un fácil ensamblaje, que sirve como una adición versátil para proyectos de robótica. De manera similar, el Lynxmotion Little Grip Kit (PTRobotics, 2025) ofrece soluciones que suelen ser de diseño simple, con accionamiento por

servomotor, y que requiere ensamblaje por parte del usuario final. Algunos grippers desarrollados con fines académicos incluyen una mano robótica controlada por Arduino Uno (Oza, *et al.*, 2018), la cual utiliza sensores de flexión y servomotores para imitar las capacidades de una mano humana; una pinza equipada con un sensor de fuerza diseñada para la recolección delicada de cultivos, emulando el toque suave de una mano humana para evitar magulladuras (Syafeeza, *et al.*, 2022); y una plataforma robótica de gripper de bajo costo y código abierto con tres dedos subactuados (Telegenov, *et al.*, 2015). Los componentes principales de este último gripper se fabrican utilizando una impresora 3D de bajo costo y un actuador de servomotor comercial, lo cual minimiza el costo y facilita la personalización y reparación. El diseño emplea una simple conexión mecánica y un sistema de tren de engranajes, asegurando que pueda sujetar objetos de diversas formas y tamaños. Estos grippers de bajo costo ejemplifican la creciente accesibilidad y versatilidad de la tecnología robótica, permitiendo que una amplia variedad de usuarios, desde estudiantes hasta aficionados, participen en el aprendizaje práctico y la experimentación con sistemas de manipulación robóticos.

La revisión del estado del arte ha demostrado que, si bien los grippers industriales de alto costo dominan el mercado, existe un creciente ecosistema de soluciones de bajo costo que democratizan el acceso a la robótica. Un hilo conductor en esta última categoría es el uso de la fabricación aditiva para reducir costos y complejidad de ensamblaje. La importancia de la impresión 3D ha trascendido su rol como simple herramienta de prototipado para convertirse en un método de producción viable para efectores finales.

### 1.2. Grippers robóticos impresos en 3D

La literatura reciente muestra una creciente adopción de la impresión 3D para el desarrollo de grippers de bajo costo, abarcando una amplia gama de diseños y aplicaciones, por ejemplo (Sadun, *et al.*, 2019) presenta un gripper de dos dedos impreso con Ácido Poliláctico (PLA). Un gripper de tres dedos impreso con Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) es fabricado por (Telegenov, *et al.*, 2015) y otro que es diseñado para la recolección agrícola es impreso a través de Modelado por Deposición Fundida (FDM) (Kurbah, *et al.*, 2022). Los tres grippers se basan en una estructura mecánica de simple actuación por servomotor operado como un mecanismo de cuatro barras. Algunos grippers más avanzados son fabricados con materiales flexibles como Poliuretano Termoplástico (TPU) o silicona y son ideales para manipular objetos delicados o de formas irregulares sin causar daños. Estos elementos terminales son llamados Soft Grippers y se utilizan en industrias como la alimentaria, médica y agrícola; algunos ejemplos son aquellos que generan un agarre robusto durante movimientos de alta velocidad y alta aceleración, especialmente en entornos industriales como la industria de alimentos y bebidas (Zhu, *et al.*, 2019). Otros dispositivos conocidos como Origami Gripper utilizan los principios del origami y sus técnicas de plegado para crear un mecanismo de sujeción que puede manipular objetos de diversas formas, tamaños, pesos y texturas, lo que ofrece adaptabilidad y versatilidad en el manejo de objetos. El gripper impreso con TPU y desarrollado por investigadores de la Universidad de Oxford (Liu, *et al.*, 2021) representa uno de los ejemplos más significativos en el desarrollo de grippers de tipo origami.

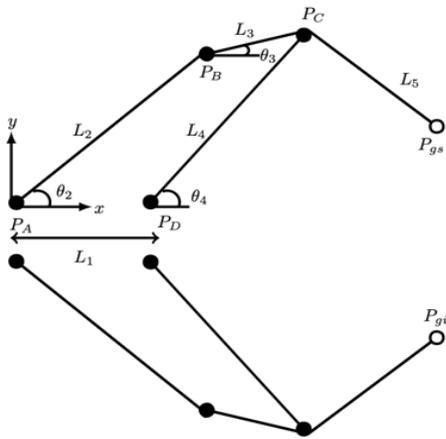
Si bien la investigación actual explora diseños avanzados como los Soft y Origami Grippers, la revisión de la literatura también confirma la viabilidad y efectividad de los mecanismos rígidos de simple actuación. Por ello, este proyecto abordará el diseño de un gripper de dos dedos utilizando el material PLA. La elección de

esta configuración se fundamenta en dos razones estratégicas: primero, minimizar la complejidad del diseño para facilitar su fabricación y ensamblaje; y segundo, asegurar un bajo costo de producción, haciendo de esta una solución práctica y replicable para aplicaciones que no requieren la manipulación de objetos delicados.

## 2. Desarrollo experimental

### 2.1. Análisis cinemático

La precisión y funcionalidad de un sistema robótico depende de un análisis profundo de su cinemática. En este contexto, el gripper opera como un mecanismo de cuatro barras (Angeles, *et al.*, 2022), impulsado por un servomotor. Para garantizar una precisión en el agarre y poder predecir el funcionamiento del mecanismo (Saha, *et al.*, 2014), es necesario realizar un análisis cinemático.



**Figura 1:** Diagrama esquemático del gripper.

La Figura 1 representa un diagrama esquemático del gripper, considerándolo planar, detallando los eslabones  $L_2, L_3, L_4$  y  $L_5$ . Las articulaciones  $P_A$  y  $P_D$  son fijas, y están separadas horizontalmente por la distancia  $L_1$ , mientras que  $P_B$  y  $P_C$  son móviles. El ángulo formado entre el eslabón  $L_4$  y  $L_5$ , corresponde a un ángulo recto. La posición del dedo superior es  $P_{gs}$  y la del dedo inferior es  $P_{gi}$ . El mecanismo de este dedo es un reflejo exacto de la observada en el dedo superior, garantizando un movimiento coordinado. El servomotor controla la rotación  $\theta_2$  del eslabón  $L_2$ , por lo que el análisis cinemático se basa en esta variable.

Para iniciar, se establece el origen del sistema coordenado  $(x, y)$  del gripper en el centro de la articulación A. La articulación D se encuentra alineado al eje  $x$ . Esto es, la posición de la articulación A es  $P_A = (0,0)$  y la posición de la articulación D es  $P_D = (L_1, 0)$ . La posición de la articulación B depende directamente de la longitud del eslabón y su ángulo, es decir  $P_B = (x_B, y_B) = (L_2 \cos \theta_2, L_2 \sin \theta_2)$ . Para la articulación C, esta puede ser obtenida de dos formas  $P_C = (x_C, y_C) = (x_B + L_3 \cos \theta_3, y_B + L_3 \sin \theta_3) = (L_1 + L_4 \cos \theta_4, 0 + L_4 \sin \theta_4)$ .

La solución de los ángulos desconocidos  $\theta_3$  y  $\theta_4$  con respecto al valor de  $\theta_2$ , se expresa como:

$$L_3 \cos \theta_3 = L_1 + L_4 \cos \theta_4 - L_2 \cos \theta_2 \quad (1)$$

$$L_3 \sin \theta_3 = L_4 \sin \theta_4 - L_2 \sin \theta_2 \quad (2)$$

Si se eleva al cuadrado y se suman (1) y (2) se puede eliminar  $\theta_3$ , esto es:

$$\begin{aligned} & (L_3 \cos \theta_3)^2 + (L_3 \sin \theta_3)^2 \\ &= (L_1 + L_4 \cos \theta_4 - L_2 \cos \theta_2)^2 + (L_4 \sin \theta_4 - L_2 \sin \theta_2)^2 \\ &= (L_1^2 + L_4^2 \cos^2 \theta_4 + L_2^2 \cos^2 \theta_2 + 2L_1 L_4 \cos \theta_4 - 2L_1 L_2 \cos \theta_2 - 2L_4 L_2 \cos \theta_4 \cos \theta_2) \\ &+ (L_4^2 \sin^2 \theta_4 + L_2^2 \sin^2 \theta_2 - 2L_4 L_2 \sin \theta_4 \sin \theta_2) \end{aligned}$$

Al simplificar se obtiene:

$$\begin{aligned} L_3^2 &= L_1^2 + L_4^2 (\cos^2 \theta_4 + \sin^2 \theta_4) + L_2^2 (\cos^2 \theta_2 + \sin^2 \theta_2) \\ &+ 2L_1 L_4 \cos \theta_4 - 2L_1 L_2 \cos \theta_2 \\ &- 2L_4 L_2 (\cos \theta_4 \cos \theta_2 + \sin \theta_4 \sin \theta_2) \end{aligned}$$

Aplicando la identidad trigonométrica  $\cos \theta_4 \cos \theta_2 + \sin \theta_4 \sin \theta_2 = \cos(\theta_4 - \theta_2)$ , se simplifica la expresión como

$L_3^2 = L_1^2 + L_4^2 + L_2^2 + 2L_1 L_4 \cos \theta_4 - 2L_1 L_2 \cos \theta_2 - 2L_4 L_2 \cos(\theta_4 - \theta_2)$ . Para conocer el valor del ángulo  $\theta_4$  en términos de  $\theta_2$  se utiliza la ecuación vectorial para un mecanismo de cuatro barras, esto es  $\vec{L}_2 + \vec{L}_3 = \vec{L}_1 + \vec{L}_4$ , que también se puede expresar en números complejos como  $L_2 e^{i\theta_2} + L_3 e^{i\theta_3} = L_1 + L_4 e^{i\theta_4}$ . Para encontrar a  $\theta_4$ , se reagrupan los términos como  $L_4 e^{i\theta_4} - L_3 e^{i\theta_3} = L_2 e^{i\theta_2} - L_1$ . Si  $Z_X = L_2 e^{i\theta_2} - L_1 = (L_2 \cos \theta_2 - L_1) + i(L_2 \sin \theta_2)$  el término original se reescribe como  $L_4 e^{i\theta_4} - L_3 e^{i\theta_3} = Z_X$ . De esta forma si se separan los términos reales e imaginarios  $(L_4 \cos \theta_4 - L_3 \cos \theta_3) + i(L_4 \sin \theta_4 - L_3 \sin \theta_3) = (L_2 \cos \theta_2 - L_1) + i(L_2 \sin \theta_2)$  y se igualan la parte real  $L_4 \cos \theta_4 - L_3 \cos \theta_3 = L_2 \cos \theta_2 - L_1$  y la imaginaria  $L_4 \sin \theta_4 - L_3 \sin \theta_3 = L_2 \sin \theta_2$ , entonces ambas expresiones pueden arreglarse como  $L_3 \cos \theta_3 = L_4 \cos \theta_4 - (L_2 \cos \theta_2 - L_1)$  y  $L_3 \sin \theta_3 = L_4 \sin \theta_4 - (L_2 \sin \theta_2)$  respectivamente. Si  $X = L_2 \cos \theta_2 - L_1$  y  $Y = L_2 \sin \theta_2$  entonces ambos términos se reescriben como:

$$L_3 \cos \theta_3 = L_4 \cos \theta_4 - X \quad (3)$$

$$L_3 \sin \theta_3 = L_4 \sin \theta_4 - Y \quad (4)$$

Si tanto (3) como (4) se elevan al cuadrado y se suman, se obtiene  $(L_3 \cos \theta_3)^2 + (L_3 \sin \theta_3)^2 = (L_4 \cos \theta_4 - X)^2 + (L_4 \sin \theta_4 - Y)^2$ . Arreglando términos  $L_3^2 = (L_4^2 \cos^2 \theta_4 - 2XL_4 \cos \theta_4 + X^2) + (L_4^2 \sin^2 \theta_4 - 2YL_4 \sin \theta_4 + Y^2) = L_4^2 (\cos^2 \theta_4 + \sin^2 \theta_4) + X^2 + Y^2 - 2XL_4 \cos \theta_4 - 2YL_4 \sin \theta_4 = L_4^2 + X^2 + Y^2 - 2XL_4 \cos \theta_4 - 2YL_4 \sin \theta_4$ . Estableciendo las variables de  $\theta_4$  a la izquierda:

$$(2XL_4) \cos \theta_4 + (2YL_4) \sin \theta_4 = L_4^2 + X^2 + Y^2 - L_3^2 \quad (5)$$

Si  $C_1 = 2XL_4 = 2L_4(L_2 \cos \theta_2 - L_1)$ ,  $C_2 = 2YL_4 = 2L_4(L_2 \sin \theta_2)$  y  $C_3 = L_4^2 + X^2 + Y^2 - L_3^2$ , se puede reescribir a (5) como:

$$C_1 \cos \theta_4 + C_2 \sin \theta_4 = C_3 \quad (6)$$

Usando la forma amplitud-fase  $R \cos(\theta_4 - \phi) = C_3$  en (7), siendo  $R = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$  y  $\phi = \text{atan2}(C_2, C_1)$ , donde  $\phi \in (-\pi, \pi]$ , se obtiene  $\cos(\theta_4 - \phi) = \frac{C_3}{R}$ . Despejando a  $\theta_4 - \phi$  se obtiene  $\theta_4 - \phi = \pm \arccos\left(\frac{C_3}{R}\right)$ . Finalmente,  $\theta_4$  esta dada por:

$$\theta_4 = \text{atan2}(C_2, C_1) \pm \arccos\left(\frac{C_3}{R}\right) \quad (7)$$

Para resolver el ángulo  $\theta_3$  en términos de  $\theta_2$ , (1) y (2) se reescriben como  $L_3 \cos \theta_3 = L_4 \cos \theta_4 - L_2 \cos \theta_2 + L_1$  y  $L_3 \sin \theta_3 = L_4 \sin \theta_4 - L_2 \sin \theta_2$  respectivamente, entonces:

$$\theta_3 = \text{atan2}((L_3 \sin \theta_3), (L_3 \cos \theta_3)) \quad (8)$$

Sustituyendo los valores de  $L_3 \sin \theta_3$  y  $L_3 \cos \theta_3$  en (8):

$$\theta_3 = \text{atan2}((L_4 \sin \theta_4 - L_2 \sin \theta_2), (L_4 \cos \theta_4 - L_2 \cos \theta_2 + L_1)) \quad (9)$$

Al final la posición de los dedos del gripper es, para el dedo superior:

$$P_{gs} = (x_c + L_5 \sin \theta_4, y_c - L_5 \sin \theta_4) \quad (10)$$

Para el dedo inferior, el punto  $P_{gi}$  es simétrico sobre el eje  $x$  al dedo superior.

### 2.2. Simulación numérica

En esta sección se introduce una simulación realizada en Python, mostrada en la Figura 2, diseñada para visualizar el análisis cinemático desarrollado en la sección anterior. Usando las librerías de Numpy y Matplotlib se construye la simulación (Sadeq, 2024), basada en un mecanismo de cuatro barras.

La simulación sirve como una herramienta para analizar las características del movimiento de cada uno de los eslabones y los dedos del gripper. Se realiza un seguimiento de la trayectoria de cada componente. Esta representación visual es crucial, pues permite la optimización de las dimensiones de los eslabones. De acuerdo con esta representación se considera las medidas de los eslabones como  $L_1 = 20\text{mm}$ ,  $L_2 = 52\text{mm}$ ,  $L_3 = 19\text{mm}$ ,  $L_4 = 48\text{mm}$  y  $L_5 = 30\text{mm}$ .

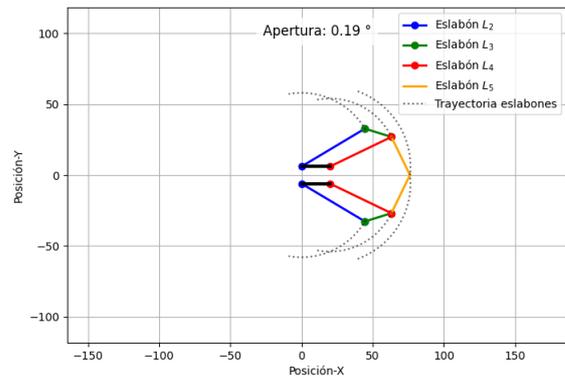
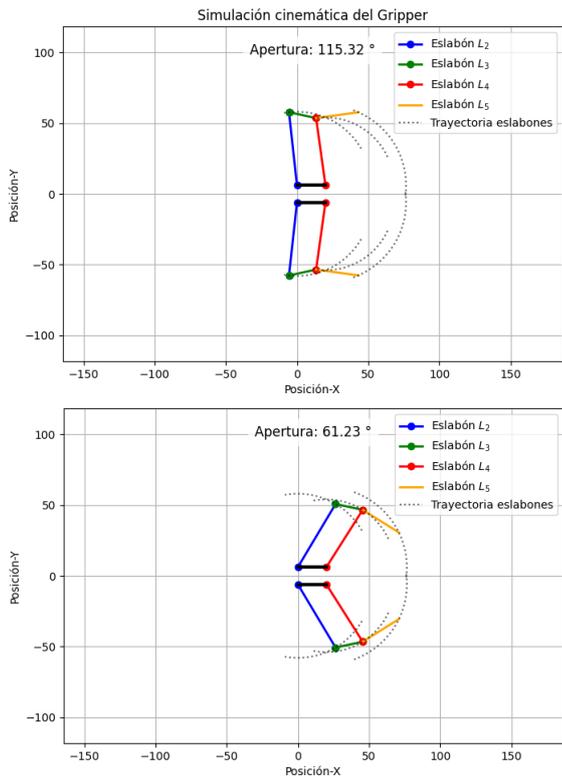


Figura 2: Simulación cinemática del gripper, mostrando diferentes estados de apertura y la trayectoria de los eslabones.

### 2.3. Diseño 3D

El modelado tridimensional del gripper se establece a partir de la técnica de modelado paramétrico, donde la geometría del dibujo es conducida por las dimensiones y relaciones entre las entidades tridimensionales del dibujo, permitiendo cambios automáticos cuando las dimensiones son modificadas. La naturaleza de modelado paramétrico de SolidWorks habilita un diseño y una visualización rápida que acelera los cambios en las dimensiones del gripper, sin tener que redibujar las piezas.

Se comienza con el diseño de las piezas considerando las dimensiones resultantes de la simulación 2D. El diseño mecánico tridimensional del gripper, representado mediante un modelo CAD y mostrado en la Figura 3, constituye la materialización física del modelo cinemático plano previamente analizado. La topología del mecanismo se fundamenta en la traducción a componentes mecánicos de los nodos de articulación ( $P_A, P_B, P_C, P_D$ ) y los eslabones ( $L_2, L_3, L_4, L_5$ ) mostrados en la Figura 1 que se convierten a cuerpos rígidos. Un servomotor (Servo) SG-90, cuyo movimiento rotacional es transmitido al eslabón de entrada  $L_2$  mediante un tren de engranes no solo provee la fuerza motriz, sino que también impone una restricción cinemática que garantiza el movimiento coordinado y opuesto de ambos dedos. De este modo, la rotación controlada del eje del servomotor se transforma eficientemente en una trayectoria compleja y predecible de los puntos de contacto finales  $P_{gs}$  y  $P_{gi}$ , permitiendo ejecutar la operación de agarre.

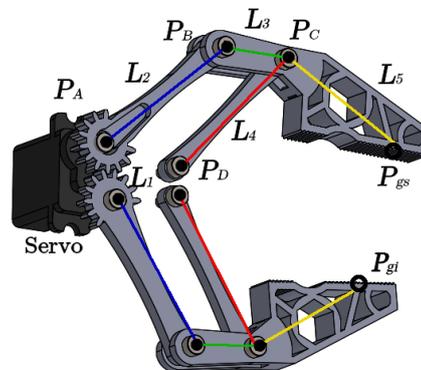
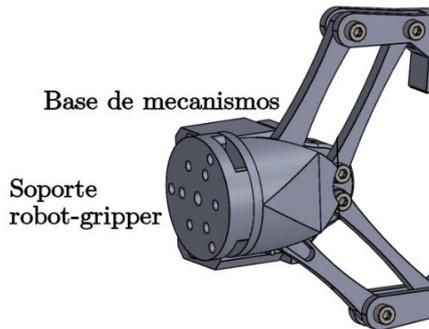


Figura 3: Diseño tridimensional del gripper.

Para la integración funcional del mecanismo, el ensamblaje se completa con una Base de mecanismos y un Soporte robot-

gripper, como se detalla en la Figura 4. La base actúa como el chasis principal del sistema, alojando el servomotor de accionamiento y proveyendo los puntos de anclaje fijos para las cadenas cinemáticas, garantizando así la integridad estructural y la alineación precisa del conjunto. De manera crucial, se ha diseñado un soporte de acoplamiento específico, el cual constituye la interfaz mecánica para su montaje en un robot manipulador. Este soporte está diseñado para fijarse a la brida de la muñeca de un robot manipulador de 6 grados de libertad (GDL), presentando un patrón de perforaciones normalizado que asegura una sujeción rígida. En conjunto, estos componentes consolidan el diseño del gripper modular y robusto, listo para su implementación en aplicaciones de manipulación automatizada.



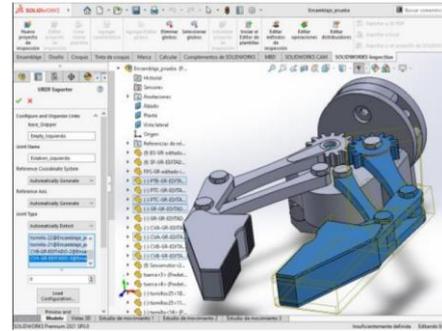
**Figura 4:** Componentes estructurales de la base del gripper.

En la Figura 5 se muestra el gripper en diferentes configuraciones de apertura y cierre, lo que evidencia la implementación exitosa de las relaciones geométricas y angulares definidas en el estudio cinemático. Las longitudes de los eslabones  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  y  $L_5$ , así como la distancia de separación  $L_1$  se han traducido a un diseño tridimensional preciso.



**Figura 5:** Diferentes poses del gripper.

Adicionalmente, la validación del análisis cinemático se realiza usando el módulo SolidWorks Motion (Kurowski, 2015). Este es un paso crucial para confirmar que el diseño tridimensional del gripper coincide con las predicciones de la cinemática (Bratovanov, 2019). Se simula el movimiento del servomotor que actúa como entrada y se observa que los movimientos de salida sean apropiados en relación con la apertura y el cierre del gripper. La interfaz de SolidWorks, como se muestra en la Figura 6, permite configurar el actuador y definir las interacciones entre los componentes, así como ejecutar el estudio de movimiento. Este es el proceso final, donde se verifica que el diseño tridimensional se comporta fiel al análisis cinemático.

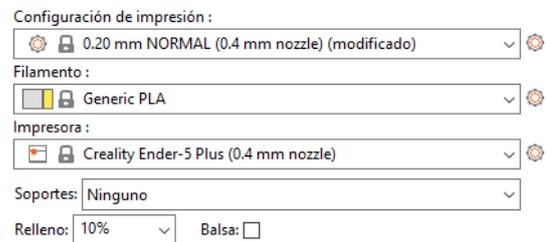


**Figura 6:** Visualización en SolidWorks.

Cabe destacar que en este análisis y diseño no se han considerado factores como la fricción, las propiedades del material de los dedos del gripper para el agarre, ni las fuerzas externas que actúan sobre estos. A futuro se espera realizar estos análisis para mejorar la precisión del gripper.

#### 2.4. Impresión 3D

En el ecosistema de la impresión 3D, PrusaSlicer es un software clave que permite imprimir diseños tridimensionales. El proceso comienza por convertir cada pieza individual del diseño del gripper en SolidWorks a un formato de archivo STL (Evjemo, *et al.*, 2024), el cual es el formato estándar para insertar directamente a la impresora Creality Ender 5-Plus. Dentro de PrusaSlicer se ajustan las configuraciones de impresión en la interfaz del software, definiendo la altura de capa (0.20mm), el relleno (10-15%), el material (PLA) y los soportes necesarios (Grasso, y otros, 2018), como se muestra en la Figura 7.



**Figura 7:** Configuración de impresión 3D.

Después de la configuración a nivel software, se realiza la preparación física del equipo. Primero, se nivela la cama de impresión, asegurando la distancia correcta con la boquilla mediante una hoja de papel. Luego, se calienta la boquilla a la temperatura recomendada (200°C) para cargar el filamento en el extrusor, como muestra la Figura 8. Una vez preparado el hardware, el archivo de código G, generado por PrusaSlicer se transfiere a la impresora usando una tarjeta MicroSD. El siguiente paso es la calibración fina, que incluye ajustar el flujo de filamento (pasos por milímetro) y configurar el firmware. Se realizan impresiones de prueba para detectar problemas y refinar los ajustes. Finalmente, se optimizan las temperaturas de la boquilla y la cama para el material específico y se regula la velocidad del ventilador de refrigeración.



de su diseño cinemático, optimiza el uso de material y refuerza el objetivo de bajo costo. Además, sus dimensiones reducidas lo hacen inherentemente adecuado para la manipulación de objetos pequeños y ligeros, alineando tanto la carga útil como la geometría con su nicho de aplicación previsto en entornos educativos y tareas de pick-and-place de baja exigencia. Es importante subrayar que esta cifra de carga es una extrapolación teórica, por lo que se propone la validación experimental mediante pruebas directas como una línea prioritaria de trabajo futuro.

La culminación de este proyecto, que integra el diseño, el análisis y la fabricación aditiva, se demuestra de manera concluyente en la implementación física del gripper robótico, como se visualiza en la Figura 12 donde se muestra el gripper ensamblado y acoplado a un manipulador, el éxito del proyecto radica en la materialización de la teoría en un sistema funcional capaz de manipular objetos. Este logro valida la metodología, confirmando que el análisis cinemático se tradujo fielmente a un diseño tridimensional que, a su vez, fue reproducido con éxito utilizando manufactura aditiva de bajo costo. La capacidad del gripper para operar y sujetar el objeto, como se demuestra en el sistema completo, subraya la viabilidad de la tecnología de impresión 3D para democratizar el desarrollo robótico y facilitar la experimentación práctica en entornos con recursos limitados.

#### 4. Conclusiones

Este trabajo ha demostrado con éxito la implementación de un gripper robótico, desde su diseño conceptual y análisis cinemático hasta su materialización física mediante manufactura aditiva. Se ha validado que el modelado del gripper como un mecanismo de cuatro barras, junto con su simulación numérica en Python y la validación en SolidWorks Motion, permite predecir y controlar con precisión su funcionamiento. Un logro fundamental de esta investigación es la confirmación de que la impresión 3D de código abierto, utilizando filamento PLA en una impresora Creality Ender 5-Plus, representa una solución viable y de bajo costo para superar las barreras significativas en el desarrollo de robótica en contextos de economías emergentes. El ensamblaje exitoso de los componentes impresos valida la solidez del diseño y la eficacia del proceso de fabricación, facilitando ciclos de innovación rápidos y la experimentación práctica.

La relevancia de este estudio radica en su potencial para democratizar el acceso a la tecnología robótica. Al ofrecer una metodología que reduce drásticamente los costos y los tiempos de producción, se empodera a investigadores y académicos en regiones con recursos limitados para que se conviertan en creadores activos y no solo en consumidores de tecnología importada. Esto fomenta la autosuficiencia tecnológica y acelera la capacidad de innovación local.

Como trabajo futuro, se planea profundizar en el análisis del gripper incorporando factores como la fricción en las articulaciones, las propiedades específicas del material de los dedos para optimizar el agarre y la influencia de fuerzas externas durante la manipulación. Además, se explorará la integración de sensores avanzados y sistemas de control más sofisticados para mejorar la precisión, la adaptabilidad y la robustez del gripper en una gama más amplia de tareas y entornos, abriendo así nuevas posibilidades para su aplicación en diversos sectores industriales y de investigación.

#### Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo ha sido posible gracias al valioso apoyo de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti). Agradecemos profundamente su respaldo, el

cual demuestra su compromiso con el fomento de la ciencia y la innovación.

#### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

#### Referencias

- Angeles, Jorge, and Shaoping Bai. 2022. *Kinematics of Mechanical Systems: Fundamentals, Analysis and Synthesis*. Springer Nature.
- Bratovanov, Nikolay. 2019. "Robot Modeling, Motion Simulation and Off-Line Programming Based on SolidWorks API." In 2019 Third IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC), 574–79. <https://doi.org/10.1109/IRC.2019.00117>.
- Destaco. 2025. "Robohand." <https://www.destaco.com/products-by-brand/robohand>.
- DH-Robotics. 2024. "AG Series Electric Adaptive Gripper." <https://en.dh-robotics.com/product/ag>.
- Donnison, Mark. 2024. "Getting to Grips with the Kitronik Klaw, BBC Micro:bit, and MakeCode!" Kitronik Ltd. <https://kitronik.co.uk/blogs/resources/getting-to-grips-with-the-kitronik-klaw-bbc-micro-bit-and-makecode-editor?srltid=AfmBOop9lf67kIITA71w0BixaBkMHYc4CQDaXoWEE MxyOO0PjCDFCcRQ>.
- Evjemo, Linn Danielsen, Trond Arne Hassel, Eirik B Njaastad, Salar Adel, Ingrid Fjordheim Onstein, Mathias Hauan Arbo, Vegard Brøtan, Andrej Cibicik, and Jan Tommy Gravdahl. 2024. "Possibilities and Challenges of Using Robot Manipulators in Additive Manufacturing (AM)." In *Digitalization and Sustainable Manufacturing*, 168–91. Routledge.
- Grasso, Marzio, Lyes Azzouz, Paula Ruiz-Hincapie, Mauro Zarrelli, and Guogang Ren. 2018. "Effect of Temperature on the Mechanical Properties of 3D-Printed PLA Tensile Specimens." *Rapid Prototyping Journal* 24 (8): 1337–46. <https://doi.org/10.1108/RPJ-04-2017-0055>.
- Habibi, Mahboobe, Giuseppe Sutera, Dario Calogero Guastella, and Giovanni Muscato. 2025. "Design and Experimental Validation of a 3D-Printed Two-Finger Gripper with a v-Shaped Profile for Lightweight Waste Collection." *Robotics* 14 (7). <https://doi.org/10.3390/robotics14070087>.
- Kurbah, Francis, Shemphang Marwein, Teiborlin Mamgar, and Bikash Kumar Sarkar. 2022. "Design and Development of the Pineapple Harvesting Robotic Gripper." In *Communication and Control for Robotic Systems*, edited by Jason Gu, Rajeeb Dey, and Nabanita Adhikary, 437–54. Singapore: Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-1777-5\\_28](https://doi.org/10.1007/978-981-16-1777-5_28).
- Kuroski, Paul. 2015. *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2015*. SDC publications.
- Kuwahara, Mikael, Yoshiki Hasukawa, Fernando Garcia-Escobar, Satoshi Maeda, Lauren Takahashi, and Keisuke Takahashi. 2025. "Development of an Open-Source 3D-Printed Material Synthesis Robot FLUID: Hardware and Software Blueprints for Accessible Automation in Materials Science." *ACS Applied Engineering Materials* 3 (4): 978–87. <https://doi.org/10.1021/acsaenm.5c00084>.
- Liu, Chenying, Perla Maiolino, and Zhong You. 2021. "A 3D-Printable Robotic Gripper Based on Thick Panel Origami." *Frontiers in Robotics and AI* Volume 8 - 2021. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.730227>.
- Oke, Ayodeji Emmanuel, John Aliu, Patricia Fadamiro, Paramjit Singh Jamir Singh, Mohamad Shaharudin Samsurijan, and Mahathir Yahaya. 2023. "Robotics and Automation for Sustainable Construction: Microscoping the

- Barriers to Implementation.” *Smart and Sustainable Built Environment* 13 (3): 625–43. <https://doi.org/10.1108/SASBE-12-2022-0275>.
- Oza, Vaibhav, and Pranav Mehta. 2018. “Arduino Robotic Hand: Survey Paper.” In *2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICSCET.2018.8537312>.
- PTRobotics. 2025. “Lynxmotion Little Grip Kit (No Servos).” <https://www.ptrobotics.com/braco-robotico/4035-lynxmotion-little-grip-kit-no-servos.html>.
- RI Manufacturing Co. 2025. *DURA-GRIP PH-SERIES Parallel Grippers*. RI Manufacturing Co. <https://www.rimfg.com/catalog/PH%20Catalog%20Pages.pdf>.
- Robotiq. 2025. “Adaptive Grippers.” <https://robotiq.com/products/adaptive-grippers>.
- Sadeq, Abdellatif M. 2024. “Python Programming for Mechanical Engineers.” Lulu Press, Inc.
- Sadun, Amirul Syafiq, Jamaludin Jalani, Siti Hana Nasir, Mohd Nazrul Roslan, Hairulazwan Hashim, and Syazwani Mohd Anuar. 2019. “Development of Two-Fingered Underactuated Robot Gripper Using 3D Printer.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 637 (1): 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/637/1/012001>.
- Saha, Deeptam Tudu, Subhajit Sanfui, Rajat Kabiraj, and Santanu Das. 2014. “Design and Implementation of a 4-Bar Linkage Gripper.” *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* 11 (5): 61–66.
- SoftGripping. 2025. “Educational Kit.” <https://www.soft-gripping.shop/en/educational-kit.html>.
- Syafeeza, A. R., Norihan Abdul Hamid, Man Ling Eng, Guan Wei Lee, Hui Jia Thai, and Azureen Naja Amsan. 2022. “Robotic Arm Gripper Using Force Sensor for Crop Picking Mechanism.” *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)* 14 (4): 11–15. <https://doi.org/10.54554/jtec.2022.14.04.002>.
- Tai, Kevin, Abdul-Rahman El-Sayed, Mohammadali Shahriari, Mohammad Biglarbegian, and Shohel Mahmud. 2016. “State of the Art Robotic Grippers and Applications.” *Robotics* 5 (2). <https://doi.org/10.3390/robotics5020011>.
- Telegenov, Kuat, Yedige Tlegenov, and Almas Shintemirov. 2015. “A Low-Cost Open-Source 3-d-Printed Three-Finger Gripper Platform for Research and Educational Purposes.” *IEEE Access* 3: 638–47. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2433937>.
- Ufactory. 2025. “xArm Bio Gripper.” <https://www.ufactory.us/product/bio-gripper>.
- Weiss Robotics. 2025. “GRIPKIT CR EASY.” <https://weiss-robotics.com/gripkit/easy/>.
- Zhu, Mingzhu, Yoshiki Mori, Tatsuhiro Wakayama, Akira Wada, and Sadao Kawamura. 2019. “A Fully Multi-Material Three-Dimensional Printed Soft Gripper with Variable Stiffness for Robust Grasping.” *Soft Robotics* 6 (4): 507–19. <https://doi.org/10.1089/soro.2018.0112>.