

Diseño y desarrollo de un prototipo de pinza antropomórfica para un robot manipulador con aplicaciones educativas

Design and development of an anthropomorphic gripper prototype for a robotic manipulator with educational applications.

Vianney Yarely Guerra Gutiérrez¹, Saul Jerónimo Aviña Neri², Felipe Trujillo Romero³

¹ Ingeniería Mecánica, DICIS

² Ingeniería Mecatrónica, DICIS

³ Departamento de Ingeniería Electrónica

vy.guerragutierrez@ugto.mx, sj.avinaneri@ugto.mx, fdj.trujillo@ugto.mx

Resumen

En el presente artículo se muestra la metodología que se llevó a cabo para la realización de un prototipo de pinza antropomórfica, el cual debe cumplir con ciertas características como que sea capaz de sostener objetos pequeños con la ayuda de servomotores. El prototipo cuenta con cuatro dedos, lo que le permite adaptarse a diversas formas de objetos para un agarre y manipulación eficaces. Dicho diseño se realizó basándose en el estudio de pinzas robóticas ya existentes, de los cuales se recaudó las características más importantes para cumplir con nuestro objetivo, el diseño fue realizado en Inventor y posteriormente impreso en 3D para la obtención de un prototipo funcional. Se prevé su integración en materias de mecatrónica y mecánica, sirviendo como una herramienta práctica para demostrar y validar conceptos relacionados con el diseño de mecanismos, sistemas de control y manipulación de objetos en entornos educativos.

Palabras clave: Pinza antropomórfica; Manipulador robótico; Diseño de pinza; Robótica educativa; Manipulación de objetos.

Introducción

El diseño de manos robóticas busca emular la destreza de la mano humana, un campo desafiante debido a la complejidad biomecánica del modelo biológico. A menudo, la replicación directa de la mano humana en robots introduce desafíos significativos en diseño, fabricación y control, lo que puede paradójicamente limitar la destreza funcional. Esto sugiere que la mano robótica óptima no es la que más se parece a una mano humana, sino la que mejor realiza las tareas requeridas, posiblemente a través de principios mecánicos alternativos y más sencillos. Por lo que el campo del diseño de manos robóticas se enfrenta al desafío de replicar la intrincada destreza de la mano humana para diversas aplicaciones. Sin embargo, se ha observado que la replicación directa de la mano humana, aunque fascinante, a menudo introduce complejidades en el diseño, fabricación y control que pueden limitar su destreza funcional. Esto ha llevado a la exploración de dos filosofías de diseño principales: la biomimética y la no antropomórfica.

Diseño biomimético

Los diseños de pinzas robóticas biomiméticas se inspiran directamente en el sistema musculoesquelético humano para lograr capacidades avanzadas de manipulación (Deimel & Brock, 2016; Grebenstein *et al.*, 2012). Estos diseños buscan replicar la biomecánica de la mano humana, que tiene 27 huesos, cuatro dedos (con tres falanges cada uno) y un pulgar oponible (con dos falanges). La replicación detallada incluye el uso de tecnologías avanzadas como la impresión 3D de huesos artificiales basados en escaneos láser de esqueletos, y la imitación de tejidos blandos como el uso de cápsulas articulares, ligamentos, o capuchas extensoras y de tendones implementados con poleas elásticas y/o cuerdas de alta resistencia. La actuación se logra a menudo con servomotores que simulan músculos, a veces usando transmisiones de polea diferencial. Las ventajas que presenta este tipo de diseño son, entre otras (Hughes *et al.*, 2016; Grebenstein *et al.*, 2012):

- Lograr alta movilidad activa y adaptabilidad pasiva para tareas de manipulación diestra, como tocar el piano, agarrar con fuerza y pinza.
- Permitir configuraciones similares a las humanas, una salida de fuerza variable e interacciones conformes gracias a la interacción entre rigidez y flexibilidad.
- Preferibles para aplicaciones como prótesis, operación en entornos de teleoperación, donde los operadores pueden transferir directamente su destreza.
- Sirven como herramientas valiosas en la investigación médica y biológica, pudiendo preservar datos biomecánicos y servir como andamios 3D para la investigación de prótesis.

A pesar de las ventajas, lograr una alta movilidad y adaptabilidad comparable a las manos humanas sigue siendo un desafío. Principalmente por la complejidad inherente a la replicación de mecanismos puede aumentar la complejidad del diseño, la fabricación y el control, limitando la adaptabilidad (Deimel & Brock, 2016). Además de que muchas pinzas altamente antropomórficas pueden tener amplias limitaciones funcionales y poca destreza a pesar de su semejanza, como el control acoplado de los dedos, mecanismos subactuados que conducen a posturas desconocidas y la falta de retroalimentación de fuerza (Hughes *et al.*, 2016).

Diseño no antropomórficos

Estos diseños se centran en la funcionalidad, robustez y simplicidad por encima de la estricta semejanza humana, reconociendo que muchas aplicaciones se benefician de esta priorización humano (Amend *et al.*, 2012; Shintake *et al.*, 2018). En su enfoque a menudo eluden los desafíos asociados con grippers con dedos al basarse en mecanismos de deformación morfológica o adhesión, lo que simplifica el agarre de objetos diversos sin necesidad de conocimiento detallado de la geometría. Se alinean con un "enfoque de diseño minimalista", que, combinado con la robótica blanda, influye en la estructura física, el tipo de actuadores y la coordinación del movimiento. Las principales ventajas que presentan las pinzas robóticas diseñadas bajo esta filosofía no antropomórficas son humano (Amend *et al.*, 2012; Calli *et al.*, 2015; Shintake *et al.*, 2018):

- La robustez, simplicidad y rentabilidad.
- El uso de materiales conformes para lograr adaptabilidad inherente, alta flexibilidad y resiliencia.
- Reducción de la complejidad estructural y de control, permitiendo interacciones seguras.
- Pueden recoger una gran variedad de objetos con control mínimo.
- Los mecanismos subactuados ofrecen un agarre robusto de objetos con formas desconocidas o irregulares, siendo más compactos, menos costosos y consumiendo menos energía.
- La "adaptabilidad incorporada" directamente en la estructura física y propiedades de los materiales es una tendencia clave, lo que significa que el gripper mismo "calcula" la deformación necesaria para un agarre estable, simplificando el control.

Sin embargo, este tipo de pinzas no antropomórficas, tienen capacidades operativas inherentemente limitadas debido a la destreza restringida en la manipulación y el reposicionamiento de objetos. También la mayoría de las pinzas blandas suelen exhibir solo unos pocos grados de libertad, lo que restringe su espacio de trabajo y flexibilidad. Además de que su funcionalidad puede verse afectada por modos de agarre únicos (envolvente o de pinza), limitando aplicaciones y fiabilidad para objetos pequeños.

En esencia, la elección entre un diseño biomimético y uno no antropomórfico se reduce a una compensación estratégica. Si bien los diseños biomiméticos buscan replicar la complejidad y versatilidad de la mano humana para aplicaciones de interacción hombre-robot y investigación, a menudo lo hacen a expensas de la complejidad y el costo. Por otro lado, los diseños no antropomórficos priorizan la funcionalidad y la eficiencia para tareas específicas, aprovechando la simplicidad y la "inteligencia mecánica" inherente a los materiales y mecanismos para lograr un rendimiento robusto y rentable.

Estado del arte

En los últimos años, el diseño y aplicación de pinzas robóticas ha experimentado un notable avance impulsado por la integración de tecnologías emergentes como la visión artificial, el aprendizaje profundo, la impresión 3D, y el desarrollo de sensores táctiles especializados. La revisión sistemática presentada por Hernandez *et al.* (2023) proporciona una visión comprensiva de las configuraciones actuales de grippers, destacando su clasificación según el método de actuación, geometría adaptativa y grado de autonomía, lo que permite contextualizar el estado actual frente a diseños antropomórficos de nueva generación.

La incorporación de sistemas de visión se ha convertido en un componente clave en la evolución de las pinzas. Investigaciones como las de Al-Kaff *et al.* (2018) y Kim *et al.* (2019) demuestran cómo la integración de cámaras y algoritmos de clasificación mejora significativamente el rendimiento en tareas de manipulación autónoma. Asimismo, Apicoo Robotics (2024) y Dorna Robotics (2024) presentan análisis comerciales sobre los distintos tipos de grippers utilizados en manufactura, enfatizando la necesidad de soluciones versátiles adaptadas a objetos de diversas dimensiones y materiales.

Desde el enfoque educativo, Heinemann & Suárez-Ruiz (2021) destacan el potencial de la impresión 3D como herramienta pedagógica para el diseño de pinzas robóticas funcionales, facilitando el aprendizaje práctico de conceptos mecatrónicos. En paralelo, el uso de tecnologías táctiles en aplicaciones médicas y colaborativas ha ganado relevancia, como se observa en los trabajos de Tactile Robotics Group (2019) y Extrica (2022), quienes exploran sensores hápticos para entornos quirúrgicos y manipulación biológica.

Por otro lado, el desarrollo de mecanismos de control inteligente ha sido objeto de investigación intensiva. Newbury *et al.* (2023) y Kumagai & Yamada (2020) proponen estrategias basadas en aprendizaje profundo y fusión de sensores para generar agarres adaptativos, lo cual resulta fundamental para el diseño de grippers que operan bajo condiciones variables y sin supervisión directa.

Finalmente, estudios orientados a tareas de micromanipulación como el de MicroMechatronics Lab (2020), junto con el trabajo pionero de Saxena *et al.* (2018), subrayan los retos técnicos de operar con objetos de escala micro o desconocida, donde la precisión y capacidad de adaptación son prioritarias.

En conjunto, esta revisión evidencia una tendencia hacia el desarrollo de pinzas robóticas más inteligentes, personalizables y accesibles, con aplicaciones que van desde la manufactura industrial hasta la robótica médica y educativa. El prototipo planteado en este trabajo busca integrar varios de estos avances, ofreciendo una herramienta didáctica que alinea funcionalidad mecánica con innovación tecnológica.

Modelado e implementación

El proceso de modelado e implementación del prototipo de pinza antropomórfica se estructuró en diversas etapas que abarcan desde el diseño digital, la selección de materiales y componentes, hasta la fabricación y programación del sistema de control. Se buscó replicar, dentro de parámetros funcionales y pedagógicos, las características cinemáticas de una mano humana, asegurando tanto la versatilidad en la manipulación de objetos como la facilidad de integración en entornos educativos.

Luego de haber revisado y analizar los tipos de pinzas o grippers existentes, se decidió diseñar uno que fusionara diferentes tipos de estos. En cuyo diseño, se pudieran rescatar las características más importantes de cada uno de ellos, esto con la finalidad de analizar si se podía aumentar la eficiencia de nuestro prototipo. Por lo que el tipo de gripper principal con el que se trabajó fue uno de tipo multidedos también llamado general; otros de los diseños tomados como referencia que se utilizaron son los siguientes:

1. Enfoque híbrido rígido-blando, rescatando que integra componentes con módulos variados para emular huesos, músculos, ligamentos y tendones, facilitado por los avances en las tecnologías de fabricación 3D multimaterial.
2. Grippers adaptativos: la característica que llamó la atención de este es que son diseñados para adaptarse a la forma del objeto para un agarre sólido, ofreciendo control total sobre la posición, velocidad y fuerza.
3. Manos/Grippers subactuados: la característica que se tomó de este tipo es que utiliza la “inteligencia mecánica” a través de elementos pasivos y sistemas de transmisión para adaptar las formas de los dedos. Los ejemplos incluyen mecanismos accionados por eslabones, accionados por cables (tendón-polea) y basados en engranajes.

Partiendo de las características de los grippers antes mencionados, se comenzó a diseñar el gripper. Por lo que se planteó utilizar como pinza un diseño parecido al dedo humano, unidos a un eje que reposa en una base circular, por estética se utilizaron sólo 4 dedos. En la Figura 1, se muestra una imagen del diseño planteado.

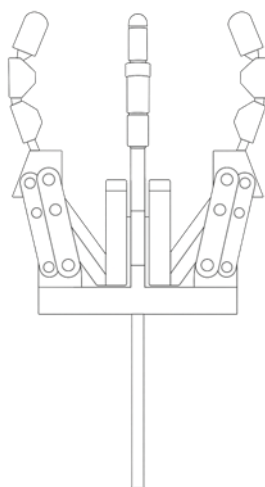


Figura 1. Boceto de diseño de gripper.

Para el modelado del prototipo se empleó el software Autodesk Inventor® (Autodesk Inc., 2025), que permitió desarrollar un diseño paramétrico de la estructura de la pinza. Se incorporaron cuatro dedos articulados con una geometría inspirada en falanges humanas, considerando proporciones anatómicas y grados de libertad funcionales. Cada dedo fue diseñado como una cadena cinemática compuesta por tres segmentos unidos por juntas rotacionales, permitiendo movimientos de flexión y extensión que simulan el comportamiento natural de una mano.

A continuación, se presentan las piezas realizadas, así como un plano de cada una de ellas para observar las dimensiones de estas. Es importante mencionar que las medidas están en milímetros.

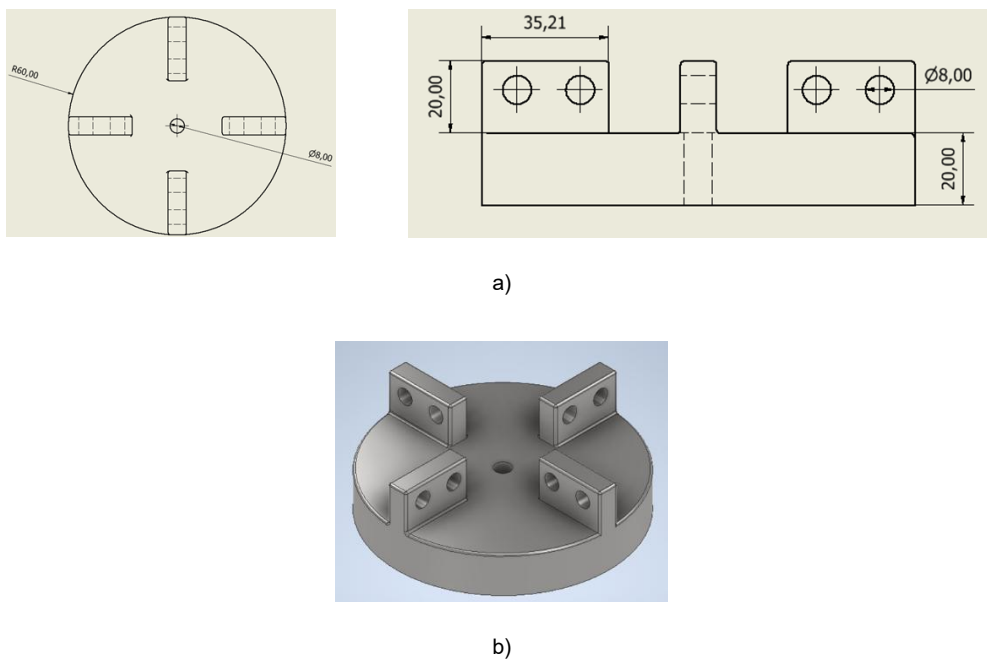
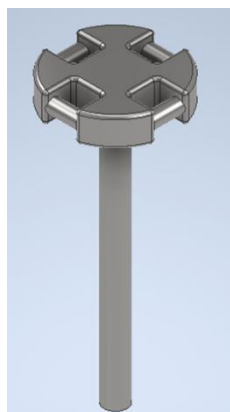
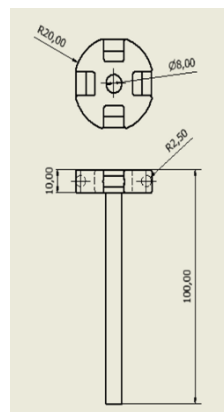


Figura 2. Base del gripper a) Plano, b) renderizado.

El plano técnico del diseño de la base de la pinza (Fig. 2a) detalla las dimensiones clave (35.21 mm) y orificios de montaje de la base estructural, mientras que el renderizado 3D (Fig. 2b) muestra su geometría circular y puntos de conexión para los dedos, diseñados para soportar cargas durante la manipulación.



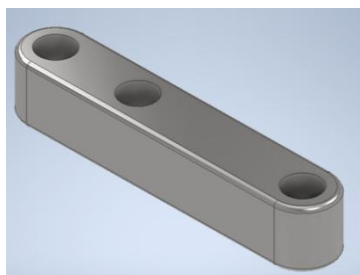
a)



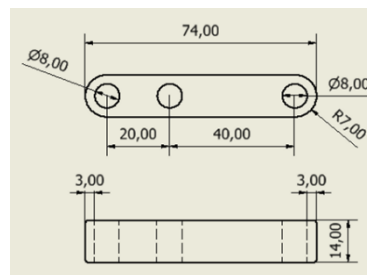
b)

Figura 3. Eje principal: a) renderizado, b) plano.

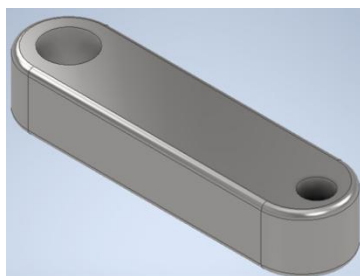
En la Fig. 3a, se muestra el renderizado del eje central de la pinza, el cual presenta acanaladuras para fijación mecánica, esto se puede apreciar de mejor manera en el plano técnico (ver Fig. 3b) que especifica sus 20.00 mm de longitud crítica y tolerancias de fabricación, esenciales para la articulación de la pinza.



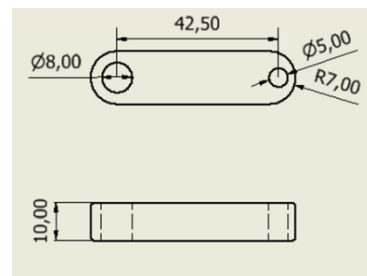
a)



b)



c)

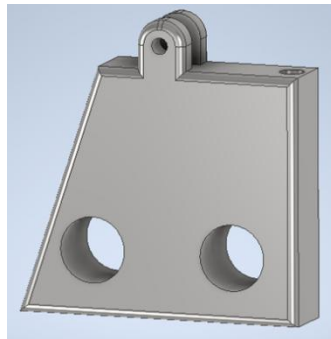


d)

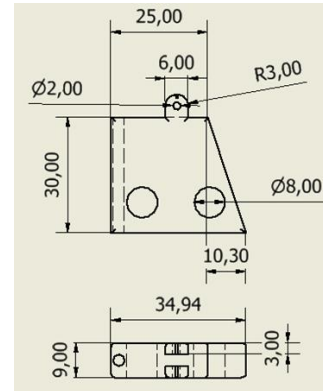
Figura 4. Eslabón 1a) Renderizado, b) plano, Eslabón 2: c) Renderizado, d) plano.

Por otro lado, los eslabones 1 y 2 que se renderizan en las Figs. 4a y 4c. Estas figuras muestran juntas rotacionales optimizadas para el movimiento de los dedos. Así mismo se presentan los planos técnicos en las Figs. 4b y 4d, que estandarizan sus dimensiones y orificios para tornillos y/o actuadores para asegurar la interoperabilidad del sistema.

La Fig. 5a muestra el renderizado del soporte estructural, cuya función es anclar los dedos al cuerpo principal durante el funcionamiento de la pinza. Mientras que el plano del soporte se puede observar en la Fig. 5b. En este plano se definen los patrones de perforación, así como los espesores para distribuir fuerzas durante el agarre.



a)



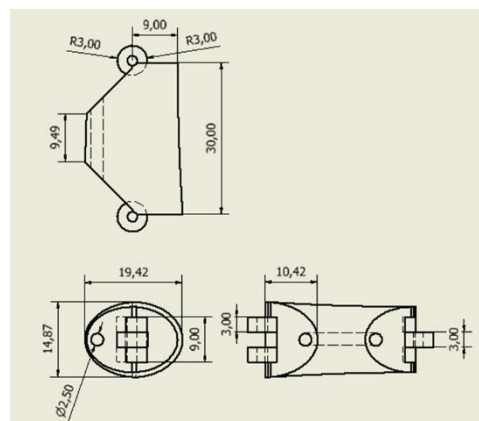
b)

Figura 5. Soporte: a) renderizado, b) Plano.

La estructura de la pinza se hizo con un diseño similar al de los dedos humanos, el cual se dividió en tres falanges, en nuestro caso se numeraron en Falange 1, Falange 2 y Falange 3, siendo la 1 la que está conectada al soporte y la 3, representa la yema del dedo. Las falanges 1 y 2, tienen las mismas medidas. Las falanges 1 y 2 (Figs. 6a-b) replican segmentos humanos idénticos, mientras la falange 3 (Figs. 6c-d), con diseño cónico y texturas adherentes, simula la yema del dedo para manipulación precisa.



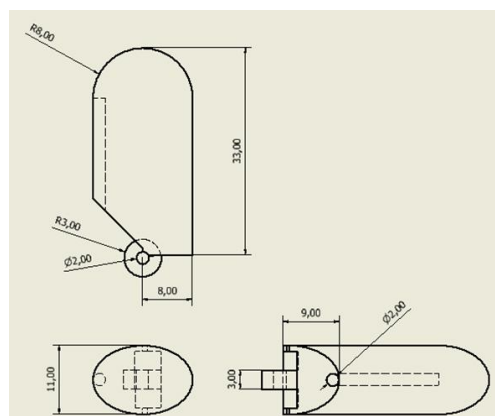
a)



b)



c)



d)

Figura 6. Falange 1 y 2: a) renderizado b) plano; Falange 3: c) renderizado d) plano.

Luego de tener todas las piezas necesarias se realizó un ensamble para comenzar a observar cómo se movían todas las piezas unidas y si era un diseño viable. El ensamble final del gripper antropomórfico (Figura 7) representa la culminación exitosa del proceso de diseño, integrando armónicamente todos los componentes en un sistema funcional.



Figura 7. Ensamble del gripper.

Este renderizado isométrico detallado muestra el prototipo en su configuración semi-flexionada, revelando las características clave del diseño:

1. El sistema de cuatro dedos articulados reproduce fielmente la anatomía humana, con una disposición radial que incluye tres falanges por dedo y un pulgar oponible. Cada articulación muestra un rango de movimiento de 0-90°, permitiendo movimientos naturales de flexión y extensión. Los mecanismos de transmisión, visibles en tonos grises oscuros, incluyen un sofisticado sistema de poleas y tendones artificiales que conectan los actuadores externos con las falanges.

2. Las proporciones anatómicas se mantienen meticulosamente, con relaciones dimensionales de 1:1:0.8 entre falanges proximal, media y distal respectivamente. El conjunto completo, con un diámetro aproximado de 150 mm en posición abierta y capacidad de agarre de 70 mm de profundidad, demuestra una escala óptima para manipulaciones precisas.
3. Este modelo virtual permitió realizar pruebas cinemáticas exhaustivas, identificando y corrigiendo posibles colisiones entre componentes antes de la fase de fabricación. La distribución de materiales simulados (aluminio para estructura y polímeros para partes articuladas) con un factor de seguridad de 1.5 en zonas críticas, garantiza tanto la funcionalidad como la durabilidad del diseño.
4. La imagen evidencia la cuidadosa planificación de espacios entre componentes móviles y puntos de contacto estratégicos, esenciales para un agarre estable y adaptable. Este ensamble computacional no solo valida la viabilidad mecánica del prototipo, sino que también sirve como guía detallada para su posterior fabricación y ensayo físico.

El enfoque de diseño y fabricación utilizado no solo busca construir un dispositivo funcional, sino también promover el aprendizaje activo en el aula. Al involucrar a estudiantes en cada etapa —desde el modelado digital y la programación hasta el ensamblaje físico— se fortalece la comprensión de principios mecatrónicos esenciales como la transmisión de movimiento, la electrónica embebida, y la interacción humano-robot.

Resultados

Una vez finalizado el proceso diseño y las pruebas al modelo realizado, se procedió a la impresión 3D de las piezas utilizando tecnología FDM (Modelado por Deposición Fundida) con filamento PLA. Este material se seleccionó por su rigidez suficiente para tareas educativas y su bajo costo. La impresión se realizó capa por capa con resolución de 0.2 mm, obteniendo piezas que luego se ensamblaron manualmente con tornillos métricos y adhesivos plásticos. La fabricación modular permite reemplazar elementos fácilmente, promoviendo actividades prácticas en clases de diseño mecánico.

El prototipo físico del gripper antropomórfico, visible en la Figura 8, muestra la estructura completa, la cual revela con precisión las características del diseño digital, donde cada uno de los cuatro dedos presenta sus tres segmentos articulados (falange proximal, media y distal) perfectamente ensamblados mediante tornillos metálicos de 2mm de diámetro que permiten un movimiento suave y sin holguras. Se aprecian detalles técnicos clave como los orificios de 1mm en las yemas de los dedos para el paso de los tendones sintéticos, así como la base de montaje con cuatro perforaciones roscadas M3 que facilitan la integración con plataformas robóticas. Las juntas de movimiento se lijaron cuidadosamente para, con ello, eliminar cualquier imperfección de la impresión que pudiera afectar la cinemática del sistema.

Es importante mencionar que conforme se iban imprimiendo las piezas se observaron algunos defectos en el diseño, por lo que se realizaron los cambios pertinentes a las piezas afectadas. Algunos de estos cambios fueron, por ejemplo, la forma del eje. El eje en un principio tenía forma circular, pero se cambió por una hexagonal para que pudiera moverse de mejor manera por el orificio de la base, también se realizaron algunos chaflanes en los bordes de las piezas para que tuvieran un mejor movimiento y no generaran algo de fricción que afectara la funcionalidad del prototipo.

La Figura 9 presenta el sistema completo en fase operativa, destacando la integración electrónica del gripper con componentes de control básicos pero efectivos. Para la gestión del movimiento se utilizó una placa Arduino NANO, conectada a los servomotores mediante señales PWM (modulación por ancho de pulso) (Arduino, 2024). Se desarrolló un script en lenguaje C++ mediante el entorno de Arduino IDE, que permite controlar la apertura y cierre del gripper.



Figura 8. Gripper impreso en 3D.

Así mismo, se definió un sistema de accionamiento basado en servomotores SG90 de tamaño compacto, seleccionados por su bajo costo, facilidad de programación y torque adecuado para sostener objetos pequeños. El diseño contempló cavidades y fijaciones específicas para alojar cada motor en la palma del prototipo, con cables de transmisión que conectan el eje de salida a las articulaciones digitales. Se utilizaron pequeños muelles de retorno para facilitar el movimiento pasivo de los dedos y mejorar el comportamiento mecánico.



Figura 9. Gripper implementado con Arduino Nano y servo SG90.

Finalmente, la Fig. 10 muestra el prototipo funcional del gripper antropomórfico ejecutando con éxito una tarea de manipulación, específicamente el agarre de una caja de dimensiones reducidas (aproximadamente 40x30x20 mm). Se observa cómo los cuatro dedos articulados se adaptan perfectamente a la geometría del objeto, aplicando presión uniforme en las caras laterales gracias a la configuración simétrica del diseño. Los segmentos de las falanges, claramente visibles en su posición flexionada, demuestran el rango de movimiento diseñado, con las yemas de los dedos (falanges distales) haciendo contacto completo con la superficie de la caja. El material de impresión 3D PLA muestra su resistencia estructural al mantener la posición sin deformaciones aparentes, mientras que los tendones de nailon permanecen tensos, pero sin sobrecargar el servo SG90.

La caja, de peso moderado (estimado en 50-100 gramos), es sostenida firmemente sin deslizamientos, validando la efectividad del patrón de agarre envolvente implementado. Esta imagen resulta particularmente significativa pues demuestra la transición exitosa desde el diseño teórico hasta una aplicación práctica concreta, donde el gripper antropomórfico muestra su capacidad para interactuar con objetos de uso cotidiano, cumpliendo así con los objetivos funcionales planteados inicialmente en el proyecto. La iluminación lateral utilizada en la fotografía resalta especialmente las zonas de contacto entre los dedos robóticos y el objeto, permitiendo apreciar la distribución de fuerzas en el agarre.



Figura 10. Gripper sosteniendo una caja pequeña.

Conclusiones y Trabajos Futuros

El desarrollo de un prototipo de pinza antropomórfica representa un avance significativo en la integración de herramientas didácticas para la enseñanza de ingeniería mecatrónica y mecánica. A través de su diseño inspirado en la mano humana y la incorporación de cuatro dedos accionados por servomotores, se logró una capacidad de adaptación superior para la manipulación eficaz de objetos pequeños y de diversas formas. Esto no solo demuestra la viabilidad técnica del prototipo, sino también su utilidad como recurso educativo para la validación de conceptos relacionados con diseño mecánico, control de sistemas y robótica.

La metodología aplicada, basada en el análisis comparativo de grippers existentes y el uso de software CAD (Inventor) para el modelado, seguida por la impresión 3D para la fabricación, permitió una aproximación estructurada y replicable al desarrollo del dispositivo. Esta estrategia demuestra cómo los procesos de diseño asistido por computadora y fabricación digital pueden ser integrados de forma efectiva en entornos académicos para fomentar el aprendizaje práctico y experimental.

Considerando los resultados alcanzados con el prototipo de pinza antropomórfica, se plantean varias líneas de investigación para ampliar sus aplicaciones. Una de las posibilidades más prometedoras es la incorporación de sensores táctiles y de fuerza, lo que permitiría mejorar la retroalimentación del sistema y optimizar la manipulación de objetos delicados. Asimismo, la implementación de algoritmos de control adaptativo, como la lógica difusa o el aprendizaje por refuerzo, podría aumentar la versatilidad de la pinza ante condiciones cambiantes. Otro enfoque interesante es la miniaturización del diseño, lo cual facilitaría su uso en ámbitos como la robótica médica o en tareas de micro-manipulación. Por otro lado, el desarrollo de una interfaz con sistemas de visión artificial fortalecería su autonomía al permitirle reconocer y adaptarse a diversos objetos en tiempo real. Finalmente, se contempla ampliar sus usos educativos mediante la creación de materiales didácticos y actividades prácticas que fortalezcan el aprendizaje en áreas como la robótica, el diseño mecánico y los sistemas mecatrónicos.

Bibliografía/Referencias

- Al-Kaff, A., Alonso, J., & García, F. (2018). Integration of computer vision and robotic grippers for autonomous grasping. *Sensors*, 18(9), 2973. <https://doi.org/10.3390/s18092973>
- Amend, J. R., Brown, E., Rodenberg, N., Jaeger, H. M., & Lipson, H. (2012). A positive pressure universal gripper based on the jamming of granular material. *IEEE Transactions on Robotics*, 28(2), 341-350. <https://doi.org/10.1109/TRO.2011.2171093>
- Apicoo Robotics. (2024). Exploring the different types of robotic grippers in manufacturing. Apicoo Insights. <https://apicoorobotics.com/exploring-the-different-types-of-robotic-grippers-in-manufacturing/>
- Arduino. (2024). Servo Motor Basics with Arduino. Arduino Docs. <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/servo-motors/>
- Assembly Magazine. (2018). Grippers for large parts. Assembly. <https://www.assemblymag.com/articles/94589-grippers-for-large-parts>
- Autodesk Inc. (2025). Autodesk Inventor (Versión 2025) [Software]. <https://www.autodesk.com/products/inventor/>
- Calli, B., Walsman, A., Singh, A., Srinivasa, S., Abbeel, P., & Dollar, A. M. (2015). Benchmarking in manipulation research: The YCB object and model set and benchmarking protocols. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 22(3), 36-52. <https://doi.org/10.1109/MRA.2015.2448951>
- Deimel, R., & Brock, O. (2016). A novel type of compliant and underactuated robotic hand for dexterous grasping. *The International Journal of Robotics Research*, 35(1-3), 161-185. <https://doi.org/10.1177/0278364915592961>
- Dorna Robotics. (2024). Types of grippers you can use for manufacturing. Dorna Blog. <https://dorna.ai/blog/robotic-grippers-for-manufacturing/>
- Extrica. (2022). Robotic micromanipulation: Grippers for biological objects. *Journal of Vibroengineering*, 24(3), 503-515. <https://www.extrica.com/article/22324>
- Grebenstein, M., Chalon, M., Hirzinger, G., & Siegwart, R. (2012). The DLR hand arm system. 2011 *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3175-3182. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2011.5980371>
- Heinemann, P., & Suárez-Ruiz, F. (2021). 3D printing technologies in robotics education: A hands-on approach to gripper design. *Journal of Engineering Education Transformation*, 34(3), 44-52. <https://doi.org/10.16920/jeet/2021/v34i3/157803>
- Hernandez, J., Sunny, M. S. H., Sanjuan, J., Rulik, I., Zarif, M. I. I., Ahamed, S. I., Ahmed, H. U., & Rahman, M. H. (2023). Current Designs of Robotic Arm Grippers: A Comprehensive Systematic Review. *Robotics*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.3390/robotics12010005>

- Hughes, J., Culha, U., Giardina, F., Guenther, F., Rosendo, A., & Iida, F. (2016). Soft manipulators and grippers: A review. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 69. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00069>
- Kim, S., Kim, D. J., & Lee, H. (2019). Vision-based object classification for robotic grasping. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 94(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10846-019-00977-7>
- Kumagai, T., & Yamada, A. (2020). Adaptive control for anthropomorphic grippers using sensor fusion. *Robotics and Autonomous Systems*, 133, 103657. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103657>
- MicroMechatronics Lab. (2020). Microgripper design and evaluation for automated μ -wire assembly. *Microsystem Technologies*, 26, 2967–2975. <https://doi.org/10.1007/s00542-019-04741-4>
- Newbury, R., Gu, M., Chumbley, L., et al. (2023). Deep learning approaches to grasp synthesis: A review. *IEEE Transactions on Robotics*. <https://arxiv.org/abs/2207.02556>
- Saxena, A., Driemeyer, J., & Ng, A. Y. (2018). Learning to grasp novel objects using vision. In *Experimental Robotics*, 14, 1–9. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28533-1_1
- Shintake, J., Cacucciolo, V., Floreano, D., & Shea, H. (2018). Soft robotic grippers. *Advanced Materials*, 30(29), 1707035. <https://doi.org/10.1002/adma.201707035>
- Tactile Robotics Group. (2019). Tactile sensing for surgical and collaborative robots and robotic grippers. *Industrial Robot: An International Journal*, 46(5), 673–680. <https://doi.org/10.1108/IR-12-2018-0255>