



Estudio de casos



Optimización estructural para pinza mecánica de 2, 3 y 4 dedos mediante el método de elementos finitos

Structural optimization for 2, 3 and 4 fingers mechanical gripper using the finite element method

Elva Lilia Reynoso Jardón , José Miguel Ventura Jiménez , Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro ,
Yahir de Jesús Mariaca Beltrán , Oscar Tenango , José Alfredo Ramírez Monares , Quirino
Estrada Barbosa 

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Manuel Díaz H. No. 518-B Zona Pronaf Condominio, 32315,
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Autor de correspondencia: Elva Lilia Reynoso Jardón, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Manuel Díaz H. No. 518-B Zona Pronaf Condominio, 32315, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. ORCID: 0000-0002-0729-2822. Correo electrónico: elva.reynoso@uacj.mx.

Recibido: 11 de Noviembre del 2024

Aceptado: 7 de Septiembre del 2025

Publicado: 24 de Septiembre del 2025

Resumen. – En la industria, las aplicaciones de escoger y colocar son comunes en muchos procesos. Sin embargo, las pinzas juegan un papel primordial para la correcta sujeción y el soporte del material a manejar. En este artículo se presenta la optimización topológica para pinzas mecánicas de 2, 3 y 4 dedos con las mismas especificaciones de uso. El objetivo es presentar un análisis estructural, la cantidad de material y el factor de seguridad. El trabajo consiste en desarrollar un modelo físico de las pinzas, definir el tipo de mallado y definir las condiciones de frontera. Posteriormente, un análisis de elemento finito y la optimización topológica son desarrollados para la obtención de resultados de deformación, esfuerzo y factor de seguridad. Los resultados muestran que en la sección de la falange 1 para los tres casos presentan deformación, sobre todo en la pinza de dos dedos con valor de 2.4205 mm. Los valores con menor esfuerzo se presentan en la pinza de 4 dedos con valores de 29.25 MPa. Y el factor de seguridad se encuentra por arriba de 2 en todos los casos. Por último, la optimización de material de las pinzas de 2, 3 y 4 dedos donde la máxima pérdida de material ocurre en la pinza de 4 dedos con valores del 20% en las zonas con menores valores de estrés como en el soporte de base y en la falange 1.

Palabras clave: Optimización; Pinzas de sujeción; Estructural; Elemento finito.

Abstract. In industry, pick-and-place applications are common across many processes. However, grippers play a key role in ensuring proper gripping and support of the materials being handled. This article presents a topological optimization study of mechanical grippers with two, three, and four fingers, all designed under identical usage specifications. The objective is to analyze structural behavior, material usage, and safety factors. The work involves developing physical models of the grippers, defining mesh types, and boundary conditions. Subsequently, finite element analysis and topological optimization are performed to obtain results for deformation, stress, and safety factor. The results show deformation in phalanx 1 across all three cases, with the two-finger gripper exhibiting the highest value at 2.4205 mm. The lowest stress values are observed in the four-finger gripper, reaching 29.25 MPa. In all cases, the safety factor exceeds the value of 2. Finally, material optimization reveals that the greatest reduction, up to 20% occurs in the four-finger gripper, specifically in low-stress regions such as the base support and phalanx 1.

Keywords: Optimization; Gripper; Structural; Finite element.



1.- Introducción

La pinza de sujeción es un dispositivo mecánico fundamental en el área de la automatización industrial y la robótica [1]. El objetivo de las pinzas de sujeción ha sido sustituir a las manos humanas en tareas complejas. También, están diseñados para trabajos pesados y repetitivos, así como tareas peligrosas y aburridas para el ser humano [2, 3]. Las pinzas de sujeción se pueden clasificar en varias categorías, entre ellas las mecánicas.

Algunas pinzas de sujeción cuentan con múltiples dedos articulados que les permiten manipular objetos de diversas formas y tamaños con mayor destreza y precisión [4, 5]. Por ejemplo, la pinza de sujeción de 3 dedos se adapta a diferentes formas, ofreciendo versatilidad en aplicaciones industriales y de investigación. Las pinzas de sujeción de dedos de vacío o succión incluyen pinzas de vacío y pinzas magnéticas. Las pinzas de sujeción de vacío toman objetos aplicando una diferencia de presión y son especialmente útiles en la industria alimentaria y de empaquetado, donde la delicadeza es clave para evitar daños en productos frágiles o de forma irregular [6-8].

También, las pinzas de sujeción se diferencian entre convencionales rígidas y aquellas que son blandas según la rigidez del material. Las pinzas de sujeción rígidas se diseñan a partir de partes rígidas del cuerpo [9, 10]. Las pinzas sujetan los objetos mediante el principio del mecanismo. A diferencia de las pinzas rígidas tradicionales, las pinzas blandas tienen un cuerpo inherentemente flexible y están compuestas de material extensible o blando [11, 12]. Algunas de las pinzas de sujeción blandas proporcionan mayor flexibilidad, la capacidad de sujetar superficies curvas complicadas y de mover objetos delicados o bien para condiciones operativas, sin embargo, su técnica de preparación es compleja y su fabricación es laboriosa [13, 14].

Actualmente, para satisfacer las crecientes demandas de automatización, las investigaciones abarcan múltiples disciplinas, incluidas la ingeniería mecánica, los sistemas de control, la robótica y la inteligencia artificial [15, 16]. La industria de la automatización es una de las áreas destacadas centradas en el desarrollo y la mejora de los manipuladores robóticos, en particular las pinzas de sujeción que interactúan directamente con los objetos [17].

Dentro de la disciplina de ingeniería mecánica, el uso de análisis por elementos finitos (FEA) proporciona resultados sobre la estructura de la pinza de sujeción [18]. El FEA permite simular y analizar las tensiones, deformaciones y otras propiedades físicas en estructuras complejas con un alto grado de detalle. La precisión conlleva un costo en términos de tiempo y recursos computacionales. El proceso de modelado y simulación puede ser considerablemente más largo que otros métodos analíticos o aproximados [19, 20].

De acuerdo con [21] el FEA se ha utilizado en la industria para evaluar la fuerza de agarre y el perfil de flexión de la pinza de sujeción al interactuar con objetos de diferentes formas. Mediante FEA ha sido posible diseñar la pinza de sujeción que son capaces de adaptarse a diferentes formas. Además, la simulación de elementos finitos permite diseñar piezas con materiales blandos y duros, capaces de hacer la operación deseada [22, 23].

También en las pinzas de sujeción se incluye en el diseño su peso, rigidez del cuerpo, naturaleza del material, geometría, dimensiones, estado, posición, orientación, superficies de contacto y fuerzas que actúan sobre el objeto que sostienen [24-26]. La elección de la cantidad de dedos en las pinzas de sujeción constituye un elemento clave en el análisis y la etapa de diseño [27, 28]. La correcta elección de material y cantidad de dedos es directamente proporcional a la



efectividad en el desarrollo de la operación deseada. Por otro lado, de acuerdo con [29] el diseño de las pinzas de sujeción considera solo el peso y fuerza, sin embargo, en este estudio se centró en la distribución de los dedos y el material, así como las cantidades mínimas de material sin perder la función de tomar objetos. En [30] demostró que la cantidad de material es importante sin embargo dentro de la consideración de fabricación existen altas probabilidad de desperfectos con respecto a geometrías complejas. Además, en [19] se establece un estudio detallado del diseño de una pinza de sujeción mediante el desarrollo de un modelo geométrico para determinar la relación de coordenadas de la articulación. El objetivo de este trabajo es analizar estructuralmente una pinza de sujeción variando la cantidad de dedos de 2, 3 y 4 para determinar la estructura final y optimización del material.

2. Metodología

2.1 Modelo físico

En las Figuras 1 a), b) y c) se presentan las geometrías que representan al modelo físico de una pinza de sujeción el cual fue tomado del diseño hecho por [31] y [32]. El mecanismo es basado en la forma de los dedos humanos. La forma permite asimilar que cada sección de la pinza de sujeción se representa por falanges, los cuales cumplen con el agarre y traslado de objetos. Las variaciones de la pinza de sujeción que se consideraron en los distintos análisis fueron el número de dedos, el cual varió de 2 a 4. En todas las configuraciones de la pinza de sujeción se utilizaron las siguientes medidas: 16.7 cm de altura y 15.63 cm de ancho. El material utilizado para los 3 tipos de la pinza de sujeción fue ácido poli (láctico) (PLC) cuyas propiedades se observan en la Tabla 1.

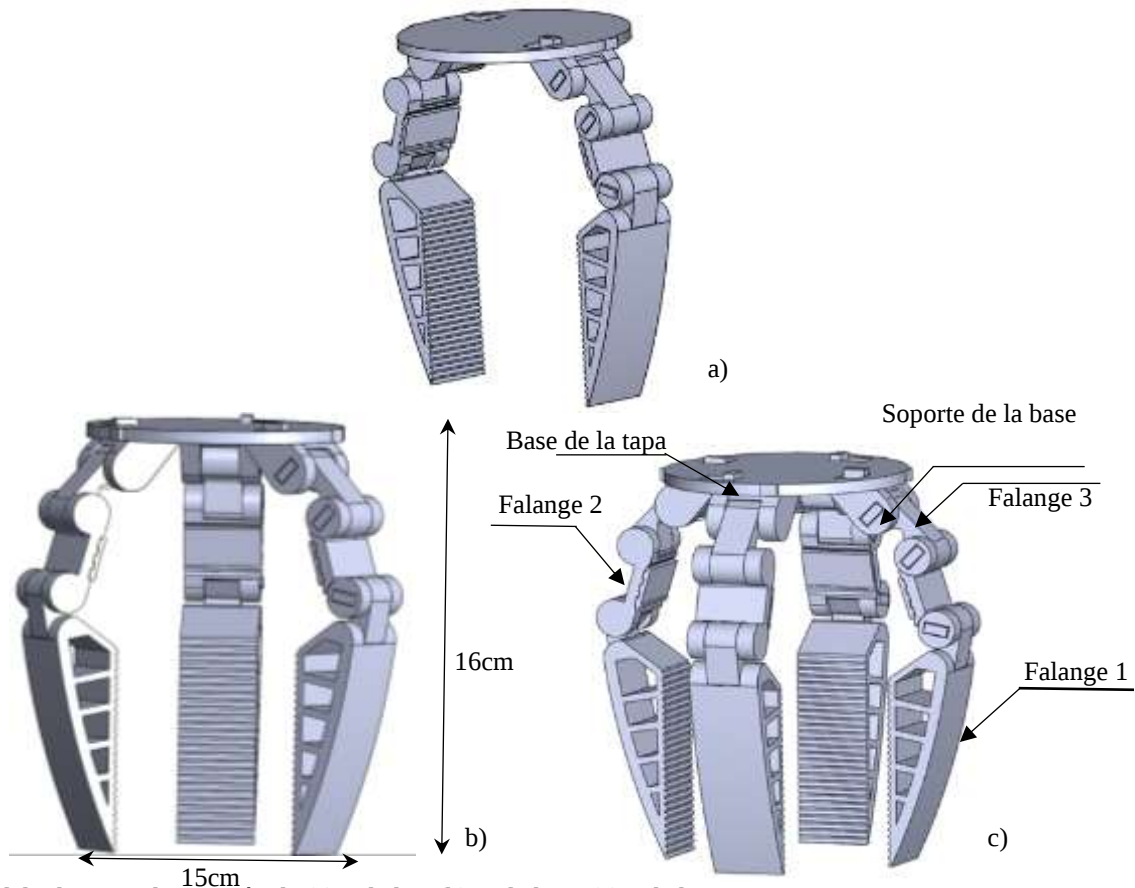


Figura 1. Modelo de pinza de sujeción de (a) 2 dedos, (b) 3, dedos y (c) 4 dedos.



Tabla 1. Propiedades del material PLA.

Propiedad	Valor
Densidad	1.25 g/cm ³
Módulo de Yong	2.93 GPa
Poisson	0.4
Resistencia a la fluencia	60 MPa

2.2 Mallado

El elemento debe tener un tamaño lo suficientemente pequeño para garantizar la precisión de la solución. Sin embargo, el tiempo de solución aumenta con los elementos de menor tamaño [33]. El tamaño del elemento promedio de la pinza de sujeción representado en las Figuras 2 a), b) y c) fue de 0.0274 mm, los componentes tridimensionales se construyeron

con elementos hexaédricos [34, 35]. El mallado de la pinza de sujeción de dos, tres y cuatro dedos se generó mediante un parámetro permitido dentro de la limitante de licencia estudiantil del ANSYS 2024 R1. La cantidad de elementos totales para la generación de la malla de 2 dedos fue de 56936, mientras que para la de 3 dedos fue de 55450 elementos y la de 4 dedos fue de 60803 elementos. La forma del mallado se puede apreciar en las Figuras 2 a) - c).

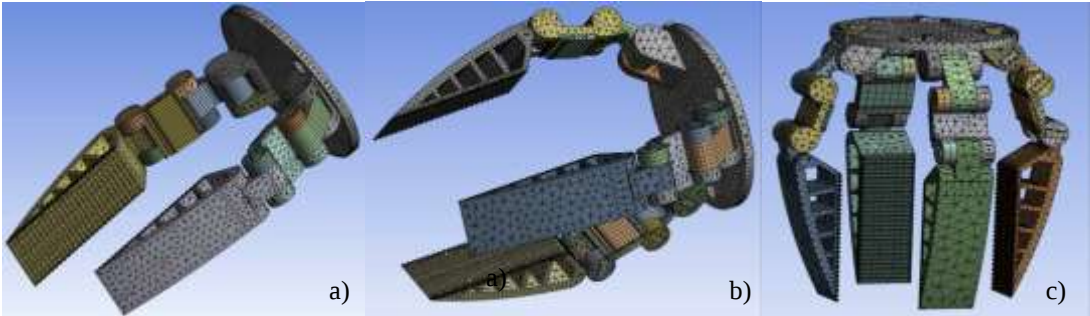


Figura 2. Mallado de la pinza de sujeción de a) 2 dedos, b) 3 dedos y c) 4 dedos.

2.3 Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera en la pinza de sujeción para dos, tres y cuatro dedos se muestran en las Figuras 3 a), 3 b) y 3 c). La región fija está localizada en la parte superior denominada base de la tapa de la pinza de sujeción, mientras que las fuerzas aplicadas se encuentran a lo largo de los dedos o falanges. Los valores de fuerza de sujeción fueron tomados de [36]. Los valores de fuerza fueron de 18.75, 25 y 37.5 N para la pinza de sujeción de 4, 3 y 2 dedos, respectivamente.

Mientras que los valores de las fuerzas de fricción para 4, 3 y 2 dedos fueron de 3 N, 4 N y 6N, respectivamente. Y los valores para las falanges fueron de 0.125 N para 4 dedos, 0.17 N para 3 dedos y 0.25 N para 2 dedos.

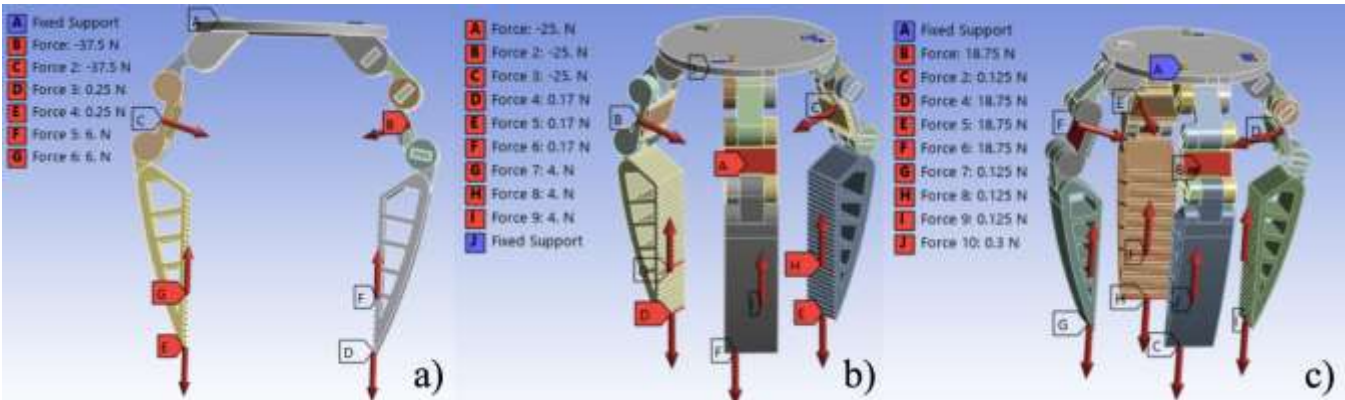


Figura 3. Condiciones de trabajo para la pinza de sujeción de a) 2 dedos, b) 3 dedos y c) 4 dedos.

3. Resultados

3.1 Deformación

Se generó el análisis estático estructural considerando solo las fuerzas mencionadas en condiciones de trabajo para la pinza de sujeción de 4, 3 y 2 dedos. El análisis estático reveló los resultados de deformación total y el esfuerzo equivalente. Como se puede observar en la Figura 4 a), para la pinza de sujeción de 2 dedos

la deformación máxima se presenta en el extremo de la falange 1 con un valor de 2.4205 mm, mientras que la deformación mínima se presenta en la zona de la tapa de la pinza de sujeción. Los casos de 3 y 4 dedos presentan la pinza de sujeción en las deformaciones mínimas en el mismo lugar. Los valores de deformación máxima fueron de 1.6675 mm para la pinza de sujeción de 3 dedos y 0.34421 mm para el de 4 dedos como se aprecia en las Figuras 4 b) y 4 c).

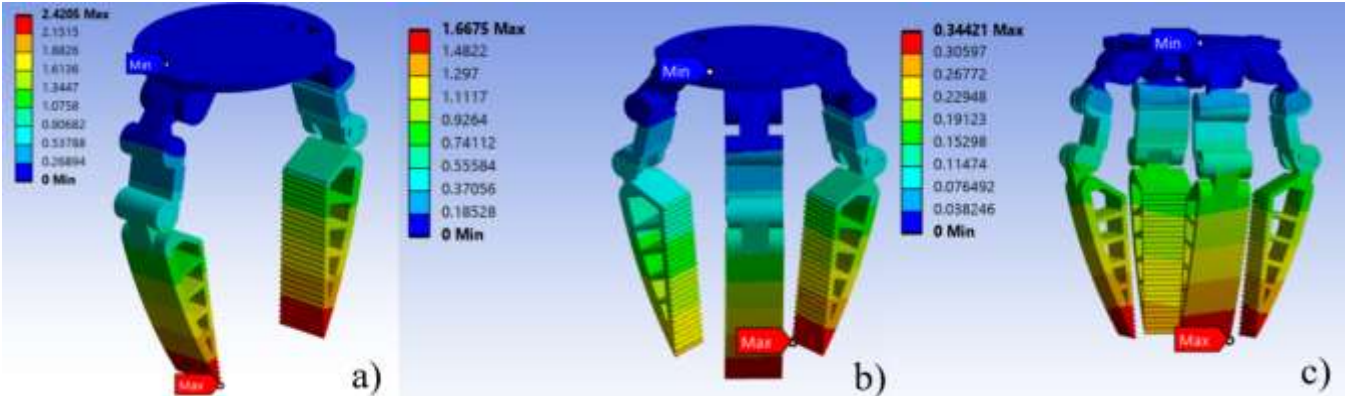


Figura 4. Deformación total para la pinza de sujeción de (a) 2 dedos, (b) 3 dedos y (c) 4 dedos.

Los valores de la deformación elástica se presentan en la falange 2, que presenta la mayor deformación elástica en la pinza de sujeción de 2 y 3 dedos con valores de 0.013 mm y 0.0103 mm como se puede apreciar en las Figuras 5 a) y 5b). Mientras que la pinza de sujeción de 4 dedos

presenta la deformación elástica máxima en la falange 3, como se muestra en Figura 5 c). Por otro lado, la deformación elástica mínima se presenta en la falange 1 en los tres casos como se aprecia en las Figuras 5 a) - c).

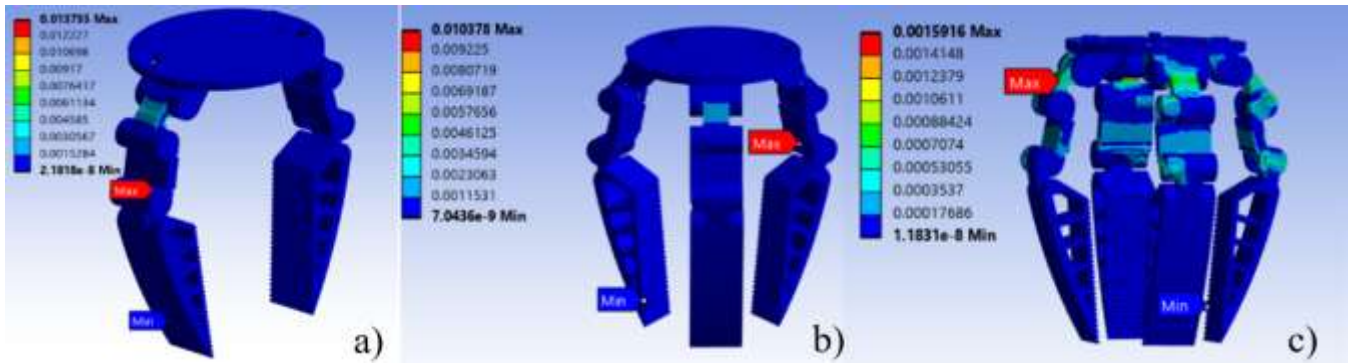


Figura 5. Deformación elástica para la pinza de sujeción de (a) 2 dedos, (b) 3 dedos y (c) 4 dedos.

Para el factor de seguridad se tomó el valor de resistencia a la fluencia de 60 MPa establecida en el material PLA. La pinza de sujeción de 2 dedos presenta un valor de esfuerzo en la geometría de 29.25 MPa por lo que el valor de factor de seguridad en la geometría es de 2.05 como se observa en la Figura 6 a). Para la pinza de sujeción de 3 dedos se tiene un valor de

esfuerzo de Von-Mises de 20.71 MPa y un factor de seguridad de 2.89 de acuerdo con resultados mostrados en la Figura 6b). La pinza de sujeción de 4 dedos presentó menos valor de esfuerzo de Von-Mises en la geometría de 4.58 MPa y el factor de seguridad 13.07 indicando una mayor resistencia a la falla presentada en la Figura 6 c).

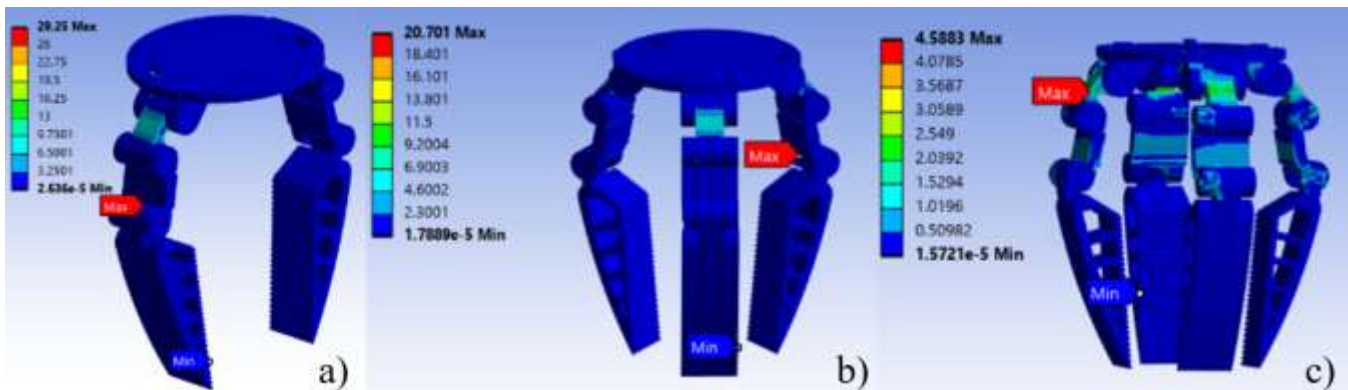


Figura 6. Esfuerzo de Von-Mises equivalente en la pinza de sujeción de a) 2 dedos, b) 3 dedos y c) 4 dedos.

3.2 Optimización Topológica

La optimización topológica consiste en eliminar la mayor cantidad de material y aligerar el mecanismo, dependiendo de las regiones donde se presenten los menores valores de esfuerzo, porque se consideran algunas piezas algo más pesadas o voluminosas [35][36].

Se observa en la Figura 7 a) la pinza de sujeción de dos dedos que sufre una mayor disminución de material en regiones de la base de la tapa y la falange 1. En la Figura 7 b) se presentan los resultados de los porcentajes de la pérdida de material de 12 % equivalente a una pérdida de material de 0.14 kg.

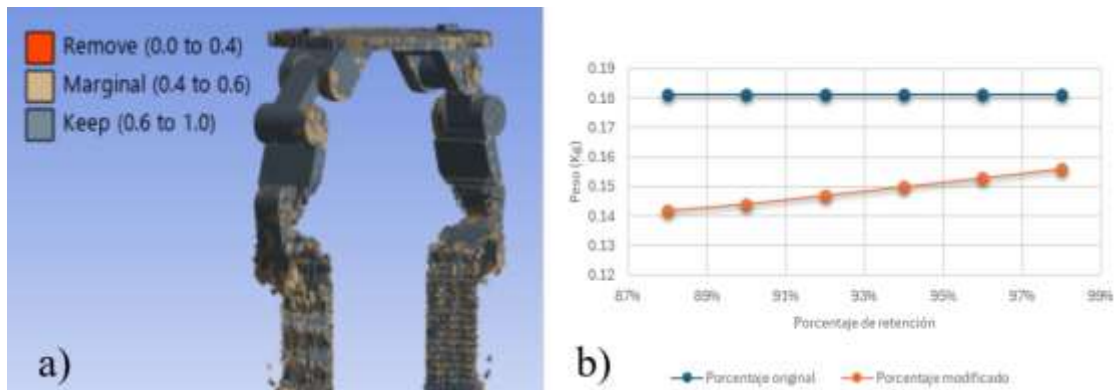


Figura 7. Retención de material para la pinza de sujeción de dos dedos.

En la Figura 8 (a) la garra mecánica de tres dedos presenta una pérdida de masa de hasta 0.17549567 kg.

La pérdida de material corresponde a un 15%, se puede apreciar las zonas con mayor pérdida en la Figura 8(b).

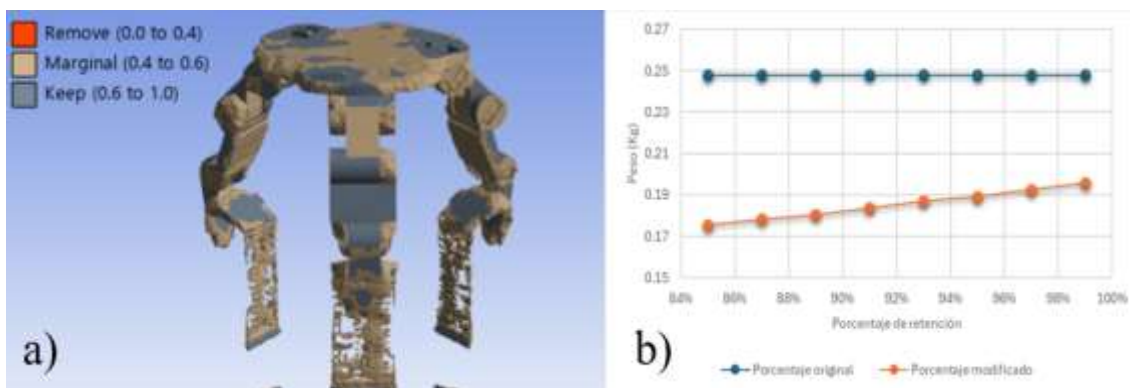


Figura 8. Retención de material para la pinza de sujeción de tres dedos.

Para la garra mecánica de cuatro dedos se determinó que la mayor pérdida de masa corresponde a 0.19644729 kg generando la capacidad máxima de disminución de masa correspondiente a 20%, los valores se pueden apreciar en la Figura 9 b).

Mientras que en la Figura 9 a) las zonas con mayor pérdida se presentan en la base de la tapa.

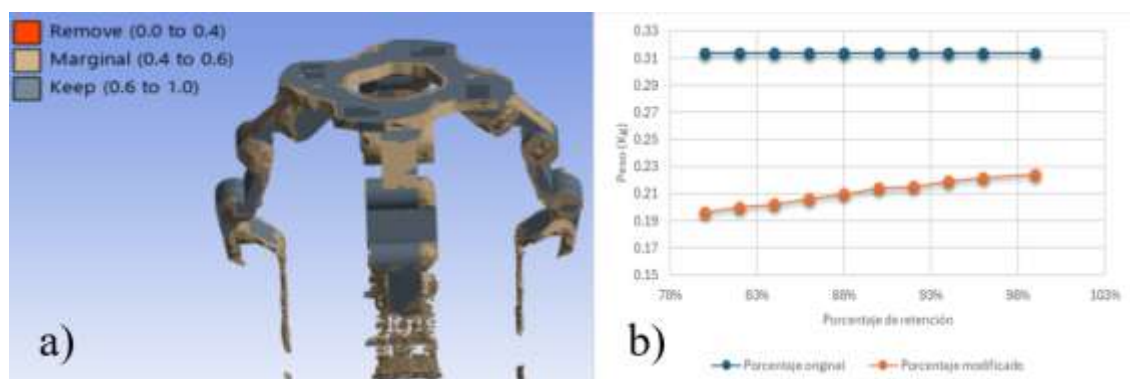


Figura 9. Retención de material para la pinza de sujeción de cuatro dedos.



4.- Discusiones

En el estudio se obtuvo el análisis de la estructura de una pinza de sujeción variando la cantidad de dedos para determinar una estructura que sujete objetos sin presentar deformación, esfuerzos totales que comprometan la estructura y manteniendo un factor de seguridad de 2. La pinza de sujeción presentó mayores esfuerzos en la zona de las falanges coincidiendo con el trabajo de [37] donde evalúa la rigidez de la pinza de dos dedos y la optimización de la masa. Sin embargo, el análisis estructural de 3 y 4 dedos y el análisis numérico muestran ventajas significativas como la distribución de esfuerzos entre los dedos y la deformación elástica mínima.

Por otro lado, la cantidad de dedos en las pinzas manipuladoras reduce la manipulabilidad debido a que pueden presentar un gran peso y volumen. Por lo tanto, la evaluación de la reducción de la cantidad de material en cada uno de los diferentes diseños de 2, 3 y 4 dedos presentaron pérdidas de material sin cambiar su forma; donde, la evaluación mostró que la masa se redujo hasta el 20% al igual que en los trabajos [27] y [28]. Además, se debe considerar que la topología de optimización del material no debe sobrepasar más del 25 % de la pérdida de su masa para que la rigidez tienda a ser estable. En cambio, el trabajo presentado por [29] sugiere que al disminuir la cantidad de masa puede presentar una alta probabilidad de defectos en el proceso de manufactura.

5.- Conclusiones

En el presente artículo se desarrolló un análisis numérico utilizando el método de elementos finitos para evaluar el comportamiento mecánico y la optimización de material de para la pinza de sujeción de 2, 3 y 4 dedos. De los resultados puede concluir lo siguiente:

1. Se logró una reducción hasta el 20% de material en zonas de bajo estrés (soporte de base y falange 1), optimizando la distribución sin comprometer la funcionalidad de sujeción de objetos.
2. Con respecto a la deformación elástica, la pinza de sujeción de 4 dedos presentó la menor deformación con valores de 0.34421 mm localizada en la falange 3. Mientras que en la pinza de sujeción de 2 y 3 dedos mostraron deformación máxima en la falange 2.
3. De acuerdo con los esfuerzos de Von-Mises, la pinza de sujeción de 2 dedos registró el mayor esfuerzo de 29.25 MPa en la falange 2, mientras que el de 4 dedos tuvo el menor valor de 4.58 MPa en la falange 3, evidenciando mejor distribución de cargas.

6.- Agradecimientos de autoría

Elva Lilia Reynoso Jardón: Conceptualización; Recursos; Ideas; Metodología; *José Miguel Ventura Jiménez:* Análisis formal; Investigación, conceptualización; *Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro:* Conceptualización; Recursos; Ideas; Metodología; *Yahir de Jesús Mariaca Beltrán:* Ideas; Investigación; *Oscar Tenango Pirin:* Análisis de datos; Escritura. *José Alfredo Ramírez Monares:* Conceptualización; Ideas; Metodología; *Quirino Estrada Barbosa:* Escritura; Borrador original; Revisión y edición

Referencias

- [1] O. Agirregoikoa López, “Desarrollo de una garra flexible en impresión 3d,” 2019. <https://addi.ehu.es/handle/10810/36850>
- [2] T. Sánchez Montoya, J. M. Gandarias, F. Pastor, A. J. Muñoz-Ramírez, A. García-Cerezo, y J. M. Gómez de Gabriel, “Diseño de una pinza subactuada híbrida soft-rigid con sensores hápticos para interacción física robot-humano”, en XL Jornadas de Automática: libro de actas (Ferrol, 4-6 de septiembre de 2019), 2020, pp.



795–801.

<https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497169>

[3] I. G. Aparicio, “Diseño cinemático de una garra robótica con dos grados de libertad y un único actuador”, universidad de Cantabria, Cantabria, España, 2018.

<http://hdl.handle.net/10902/14169>

[4] R. González, F. Rodríguez, y J. L. Guzmán, “Robots Móviles con Orugas Historia, Modelado, Localización y Control”, *Rev. Iberoam. Autom. Inform. Ind. RIAI*, vol. 12, núm. 1, pp. 3–12, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.11.001>

[5] Y. Ye, Y. Han, C. Kang, S. Zhao, J. Scharff, R.B. N. Wang, J. Du, Dongdong, “Development of a novel variable-curvature soft gripper used for orientating broccoli in the trimming line”, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 225, núm. 109267, p. 109267, 2024.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109267>

[6] I. B. Chelpanov y S. N. Kolpashnikov, “Problems with the mechanics of industrial robot grippers”, *Mech. Mach. Theory*, vol. 18, núm. 4, pp. 295–299, 1983.

[https://doi.org/10.1016/0094-114X\(83\)90122-2](https://doi.org/10.1016/0094-114X(83)90122-2)

[7] S. D’Avella, P. Tripicchio, y C. A. Avizzano, “A study on picking objects in cluttered environments: Exploiting depth features for a custom low-cost universal jamming gripper”, *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 63, núm. 101888, p. 101888, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101888>

[8] E. Navas, R. Fernández, D. Sepúlveda, M. Armada, y P. Gonzalez-de-Santos, “Soft grippers for automatic crop harvesting: A review”, *Sensors (Basel)*, vol. 21, núm. 8, p. 2689, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21082689>

[9] T. Sun, Y. Chen, T. Han, C. Jiao, B. Lian, y Y. Song, “A soft gripper with variable stiffness inspired by pangolin scales, toothed pneumatic actuator and autonomous controller”, *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 61, núm. 101848, p. 101848, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101848>

[10] L. Birglen y T. Schlicht, “A statistical review of industrial robotic grippers”, *Robot.*

Comput. Integr. Manuf., vol. 49, pp. 88–97, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.05.007>

[11] J. X. León-Medina and E. A. Torres-Barahona, “Herramienta para el diseño de sistemas de posicionamiento tridimensional usados en fabricación digital,” *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, vol. 6, no. 2, pp. 155–167, 2016.

<https://doi.org/10.19053/20278306.4603>

[12] A. H. Memar, N. Mastronarde, y E. T. Esfahani, “Design of a novel variable stiffness gripper using permanent magnets”, en *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017.

<https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989328>

[13] K. Sun y Y. Tian, “Numerical investigation of a bioinspired multi-segment soft pneumatic actuator for grasping applications”, *Mater. Today Commun.*, vol. 31, núm. 103449, p. 103449, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103449>

[14] U. Gupta, L. Qin, Y. Wang, H. Godaba, y J. Zhu, “Soft robots based on dielectric elastomer actuators: a review”, *Smart Mater. Struct.*, vol. 28, núm. 10, p. 103002, 2019.

<https://doi.org/10.1088/1361-665X/ab3a77>

[15] A. Hassan y M. Abomoharam, “Modeling and design optimization of a robot gripper mechanism”, *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 46, pp. 94–103, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2016.12.012>

[16] C. R. Vidal, *Diseño mecánico con SolidWorks 2015*. Ra-Ma Editorial, 2016.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=c6e6EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Dise%C3%B1o+mec%C3%A1nico+con+SolidWorks+2015&ots=oCRK1ui8b_&sig=aZ6iqjTpltD-akPXaf1npTXooqw

[17] L. Nogales Jiménez, “Diseño y análisis de una pinza de agarre con sistema retráctil,” B.S. thesis, 2013. <https://hdl.handle.net/10016/19699>

[18] O. G. Woge, C. O. G. Morán, and A. L. Chau, “Introducción al método del elemento finito: SolidWorks y Matlab,” *Ideas en Ciencias de la Ingeniería*, vol. 1, no. 1, pp. 27–47, 2020.

<https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989328>



- [19] M. Shim y J.-H. Kim, “Design and optimization of a robotic gripper for the FEM assembly process of vehicles”, *Mech. Mach. Theory*, vol. 129, pp. 1–16, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.07.006>
- [20] M. Ceccarelli, J. Cuadrado, y D. Dopico, “An optimum synthesis for gripping mechanisms by using natural coordinates”, *Proc Inst Mech Eng Part C*, vol. 216, núm. 6, pp. 643–653, 2002. <https://doi.org/10.1243/095440602320192292>
- [21] O. Yusti and X. Harrys, Evaluación del comportamiento mecánico de un modelo de implante metacarpofalángico propuesto para el dedo índice usando el método de elementos finitos. PhD tesis. <http://hdl.handle.net/10872/18199>
- [22] R. A. G. Leon, E. F. Solano, M. A. A. Pérez, “Análisis estructural de una máquina prensadora para producción de ladrillo macizo para las pequeñas industrias artesanales de materiales cerámicos en Ocaña norte de Santander y en la región,” revista colombiana de tecnologías de avanzada (RCTA), vol. 1, no. 25, pp. 104–109, 2015. <https://doi.org/10.24054/rcta.v1i25.428>
- [23] A. M. Dollar, R. D. Howe, “The highly adaptive sdm hand: Design and performance evaluation,” *The international journal of robotics research*, vol. 29, no. 5, pp. 585–597, 2010. <https://doi.org/10.1177/0278364909360852>
- [24] S. Marrero-Osorio and J. Martínez-Escanaverino, “Diseño paramétrico de pinzas de fricción,” *Ingeniería Mecánica*, vol. 12, no. 1, pp. 37–49, 2009. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225114975005>
- [25] T. Nuchkrua, T. Leephakpreeda, and T. Mekarporn, “Development of robot hand with pneumatic artificial muscle for rehabilitation application,” in *The 7th IEEE International Conference on nano/Molecular Medicine and engineering*, pp. 55–58, IEEE, 2013. <https://doi.org/10.1109/NANOMED.2013.6766315>
- [26] D. C. Catalán, “Diseño y evaluación de garras mecánicas”, Universidad Jaume I, 2017. <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/180370>
- [27] K. Telegenov, Y. Tlegenov, y A. Shintemirov, “A low-cost open-source 3-D-printed three-finger gripper platform for research and educational purposes”, *IEEE Access*, vol. 3, pp. 638–647, 2015. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2433937>
- [28] A. Sharma, S. Thapa, B. Goel, R. Kumar, y T. Singh, “Structural analysis and optimization of machine structure for the measurement of cutting force for wood”, *Alex. Eng. J.*, vol. 64, pp. 833–846, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.09.030>
- [29] M. Bayat, O. Zinovieva, F. Ferrari, C. Ayas, M. Langelaar, J. Spangenberg, R. Salajeghe, K. Poulis, S. Mohanty, O. Sigmund y J. Hattel, “Holistic computational design within additive manufacturing through topology optimization combined with multiphysics multi-scale materials and process modelling”, *Progress in Materials Science*, vol. 138, pp. 101129, 2023, ISSN 0079-6425. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2023.101129>
- [30] A. B. Díaz Morcillo, L. N. Fernández, “Método de mallado y algoritmos adaptativos de dos y tres dimensiones para la resolución de problemas electromagnéticos cerrados mediante el método de los elementos finitos,” 2009. <https://doi.org/10.31428/10317/772>
- [31] M. P. Rossow y J. E. Taylor, “A finite element method for the optimal design of variable thickness sheets”, *AIAA J.*, vol. 11, núm. 11, pp. 1566–1569, 1973. <https://doi.org/10.2514/3.50631>
- [32] H. Yang, R. Zhao, W. Li, C. Yang, y L. Zhen, “Static and dynamic characteristics modeling for CK61125 CNC lathe bed basing on FEM”, *Procedia Eng.*, vol. 174, pp. 489–496, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.171>
- [33] *Smcpneumatics.com*. Disponible en: <https://www.smcpneumatics.com> [Consultado: 22-sep-2024].



- [34] M. Shim, J.-H. Kim, “Design and optimization of a robotic gripper for the fem assembly process of vehicles,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 129, pp. 1–16, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.07.006>
- [35] A. Carranza Pose, “Análisis cinemático y dinámico de pinza de robot para espacios aislados,” B.S. thesis, 2015. <https://hdl.handle.net/10016/23130>
- [36] S. Liu *et al.*, “A survey of topology optimization methods considering manufacturable structural feature constraints for additive manufacturing structures”, *Additive Manufacturing Frontiers*, vol. 3, núm. 2, p. 200143, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.amf.2024.200143>
- [37] R. Ai, M. Pilapil, R. Shi, J. Badugas, y S. Cheng, «Computer-Aided Design & Applications, 20(1), 2023, 44-55 © 2023 CAD Solutions, LLC, <http://www.cad-journal.net> 44 Design and optimization of an adaptive robotic gripper using finite element analysis and generative design», *Computer-Aided Design And Applications*, pp. 44-5. [doi: 10.14733/cadaps.2023.44-55](https://doi.org/10.14733/cadaps.2023.44-55).

Derechos de Autor (c) 2025 Elva Lilia Reynoso Jardón, José Miguel Ventura Jiménez, Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro, Yahir de Jesús Mariaca Beltrán, Oscar Tenango, José Alfredo Ramírez Monares, Quirino Estrada Barbosa



Este texto está protegido por una licencia Creative Commons 4.0.

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)