

**Diseño de prótesis ABS de mano mediante análisis de esfuerzos****Structural numerical analysis of an ABS material prosthetic hand**

COFRADIA-GARCIA, Gustavo†\*, VAZQUEZ-CHAVEZ, Alejandro, SAMANO-MUÑOZ, Pablo, MANJARREZ-MENDOZA, Javier

*Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra, Calle Manuel Gómez Morín 300, Janicho, 38933 Salvatierra, Gto*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Gustavo, Cofradia-Garcia* / ORC ID: 0000-0003-3774-8592, Researcher ID Thomson: X-2277-2018

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Alejandro, Vazquez-Chavez* / ORC ID: 0000-0003-1040-5311, Researcher ID Thomson: X-3268-2018

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Pablo, Samano-Muñoz* / ORC ID: 0000-0001-5110-9231, CVU CONACYT ID: 861652

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Javier, Manjarrez-Mendoza* / ORC ID: 0000-0001-8539-7147, Researcher ID Thomson: X-2986-2018, CVU CONACYT ID: 453399

DOI: 10.35429/JP.2019.8.3.9.13

Recibido 19 de Marzo, 2019; Aceptado 29 Junio, 2019

**Resumen**

El presente trabajo muestra el desarrollo de la propuesta para la manufacturación de una prótesis de mano. En su mayoría las aplicaciones de las prótesis se limitan a sujeciones básicas. Actualmente de forma libre existe un sinnúmero de diseños para la elaboración de prótesis para cubrir la funcionalidad desde la mano hasta el brazo casi en su totalidad. Debido al alcance y variedad de diseños es imprescindible hacer algunas validaciones de funcionalidad, resistencia biomecánica, apariencia, etc. El propósito de este artículo será la validación de la resistencia biomecánica de un diseño propuesto para cubrir las funcionalidades de la mano. Se utilizará el MEF (Método de elementos finitos) para sustentar los esfuerzos que se producen en la prótesis. Aquí se cubrirá la validación de una prótesis del nivel de amputación de antebrazo en nivel tercio distal por lo que etapas posteriores se trabajara el control electrónico. Como respaldo se tienen algunos avances y experiencia propios trabajando con la adquisición y filtrado de señales bioeléctricas de los músculos que gobiernan la mano. La contribución que nosotros estamos aportando es la continuidad de trabajos anteriores para el desarrollo de la prótesis por completo, y por otro lado la validación física mecánica de la prótesis a desarrollar.

**Manufactura aditiva MA, Protésis, MEF**

**Abstract**

The present work shows the development of the proposal for the manufacture of a hand prosthesis. For the most part, prosthetic applications are limited to just basic holding. Currently there are endless free designs for the preparation of prostheses to cover the functionality from the hand to the arm almost entirely. Due to the scope and variety of designs, it is essential to make some validations of functionality, biomechanical resistance, appearance, etc. In the present work, the purpose will be the validation of the biomechanical resistance of a proposed design to cover the functionalities of the hand. The FEM (Finite Element Method) will be used to support the efforts that occur in the prosthesis. In this work, the validation of a prosthesis of the level of forearm amputation in the distal third level will be covered. To support our work, we have some progress and experience working with the acquisition and filtering of bioelectrical signals of hand. The contribution that we are making is the continuity of previous works for the development of the prosthesis completely, and on the other hand the mechanical physical validation of the prosthesis to be developed.

**Additive Manufacturing, Prosthesis, FEM**

**Citación:** COFRADIA-GARCIA, Gustavo, VAZQUEZ-CHAVEZ, Alejandro, SAMANO-MUÑOZ, Pablo, MANJARREZ-MENDOZA, Javier. Diseño de prótesis ABS de mano mediante análisis de esfuerzos. Revista de Fisioterapia y Tecnología Médica. 2019. 3-8: 9-13

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Desde la antigüedad el hombre ha necesitado de la mano Anaxágoras decía que gracias a ella el humano se había convertido en la especie dominante de todos los seres vivos, en cambio Aristóteles pensaba que por ser más inteligente el hombre poseía las manos (I, 2007), la mano humana se compone de 27 huesos divididos en tres grupos: el carpo, los metacarpianos y los falanges, se conectan a la muñeca a través de la palma y está dotada de veinte GDL (grados de libertad) accionados por cerca de cuarenta músculos (G.L. Taylor, 1955). Desde un punto de vista práctico la mano es la prolongación del cerebro entendiendo de esta que no solamente realiza actividades básicas como la protección, alimentación y el combate (Manuel & González, 2004).

Según datos reportados por INEGI tan solo en México hay siete millones de personas que tienen algún tipo de discapacidad, de los cuales aproximadamente 700 mil personas no tienen una o más extremidades (INEGI, 2010). A nivel global la cifra aumenta y según la OMS (Organización Mundial de la Salud) hay una gran escasez de trabajadores en el ámbito de la tecnología de asistencia: más del 75% de los países de ingresos bajos carecen de programas de formación en prótesis y ortesis (OMS, 2018), esto representa un área de oportunidad bastante amplia para la investigación.

El desarrollo de prótesis en México afortunadamente viene repuntando en lo que va de los últimos 10 años. Hay empresas y organizaciones trabajando en el ámbito de la rehabilitación mediante el desarrollo de prótesis mediante tecnología de MA.

La impresión 3D o MA es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material. Existen al menos tres tipos de tecnología para la MA: FDM (Impresión por deposición fundida), SLA (Estereolitografía) y SLS (Sinterización selectiva por láser). De estas, las últimas dos funcionan por luz UV y láser respectivamente, características que le dan mayor precisión y por lo tanto mayor coste de fabricación. Mientras que el FDM es el más ampliamente utilizado y desarrollado hasta el momento, por lo que se hizo la elección por ser el equipo con que se dispone.

Como ya se mencionó anteriormente, existe un déficit de atención con prótesis a nivel mundial, aunque en México se han venido haciendo desarrollos, aun los avances requieren mejoras y desarrollo. Por lo que es importante hacer experimentación al respecto, tal es el caso de este trabajo. A continuación, principalmente se abordaran algunas consideraciones de diseño y criterios de falla utilizados en la simulación.

## Criterios de diseño

Los parámetros importantes de diseño en MA son tipo de material, tamaño de las piezas, tipos de soportes, tamaño o número de capas, tipo de relleno, etc.

Para elegir el material más adecuado se debe tomar en consideración costos, características físicas, apariencia, procesos de fabricación, disponibilidad, funcionalidad, etc.

Entre los materiales predilectos de la MA están el ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno), PLA (ácido poliláctico), ver propiedades en apartado 4 anexos. También existen otros para aplicaciones concretas resistentes al calor (HIPS, polímero termoplástico), con buena adherencia al ABS y PLA (PVA, alcohol polivinílico), piezas transparentes (PET, tereftalato de polietileno), etc.

## Simulación numérica

La simulación numérica es una herramienta predilecta para la reducción de costos en la experimentación. La aplicación de estos métodos numéricos implica en uso exhaustivo de la capacidad de procesamiento de una computadora, tal en el caso de MEF.

El MEF es un método numérico capaz de resolver sistemas de ingeniería muy complejos, con la ayuda de una computadora, conociendo la física y matemática del problema en sí, se pueden interpretar los resultados arrojados por la computadora. Con MEF se puede diseñar elementos sometidos a esfuerzos estáticos similares a los que está sometida la mano en función de agarre – soporte. Para esta parte se utiliza el criterio de von Mises como indicador de fallo.

## Metodología a desarrollar

### Criterios de diseño

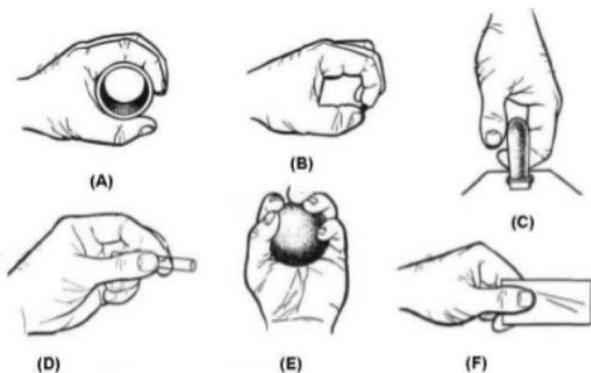
El ABS en aplicaciones de MA es más adecuado sobre otros materiales cuando se habla de resistencia al calor, rigidez y ductilidad (Bordignon, A. Iglesias, & Hann, 2018). El hecho de que el ABS sea un material dúctil nos da pauta para aplicar algunos criterios de falla en el momento de implementar la simulación numérica.

Por las razones anteriores el ABS se ha elegido como material a considerar en el estudio ya que (Claver & Mar, 2018) menciona en su trabajo que el ABS presenta mejor ductilidad que presenta este material sobre el PLA, y otros materiales. En la Tabla 1 se muestran algunas propiedades del ABS como material para su aplicación en MA.

Propiedades	Valor
Densidad	1024.000 Kg/m <sup>3</sup>
Coef. De Exp. Térmica	0.0001 /°C
Conductividad Térmica	0.002 KW/m*°C
Calor específico	0.000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	2275.270 Mpa
Coef. De Poisson	0.400
Esfuerzo a la tracción	43.437 MPa
Elongación a la rotura (%)	20%

**Tabla 1** Propiedades del ABS como material de construcción en MA

De los 6 tipos de agarre que se presentan en la Figura 1 vamos a tomar el agarre cilíndrico ya que por su funcionalidad, puede abarcar la mayoría de tareas para una persona amputada de dicha extremidad.



**Figura 1** Tipos de agarres prensiles humanos. (A) Cilíndrico, (B) de punta, (C) de gancho, (D) palmar, (E) esférico y (F) lateral. (Quinayás Burgos, 2010)

Como ya se mencionó anteriormente, existe un sinnúmero de modelos libres para la construcción de prótesis con MA. Se seleccionará el modelo a simular de la Figura 2, se eligió este debido a que con él se pueden realizar muchas de las tareas que realiza la mano.



**Figura 2** Modelo de mano con agarre cilíndrico a modelar y simular

A continuación se presentará algunas observaciones consideradas para la simulación.

### Simulación numérica

En esta primera fase se desarrollaron las piezas de la prótesis en el programa Solid Edge 2019 donde se le asignó a la prótesis un filamento de ABS con las características de la tabla 1 y se procedió a simular las condiciones de esfuerzo a las que puede estar sometida la prótesis en modo de agarre.

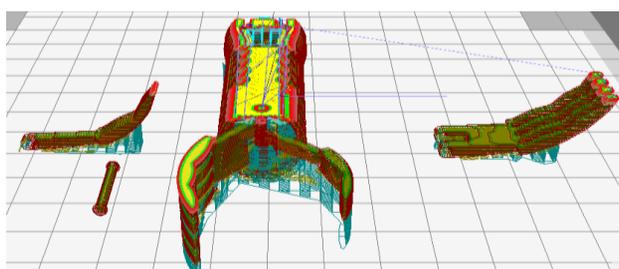
Se realizó un análisis con MEF mediante NX Nastran Solver de Solid Edge 2019. Los esfuerzos que se aplicarían para condiciones de apretar un objeto con la mano bajo una carga distribuida de 50N de forma normal a la superficie, hipotéticamente esta fuerza es extremista ya que corresponde a manipular objetos pesados (5 kg) para sujetar. Se tomó la tensión de Von Mises como criterio de falla debido a que la mayoría de los agarres presentan condiciones estructurales estáticas en su mayor parte de funcionalidad y no se someten grandes velocidades.

### Resultados

A continuación se abordan los resultados obtenidos tanto de la elección de parámetros de diseño como de la interpretación de los resultados obtenidos con el software.

## Criterios de diseño

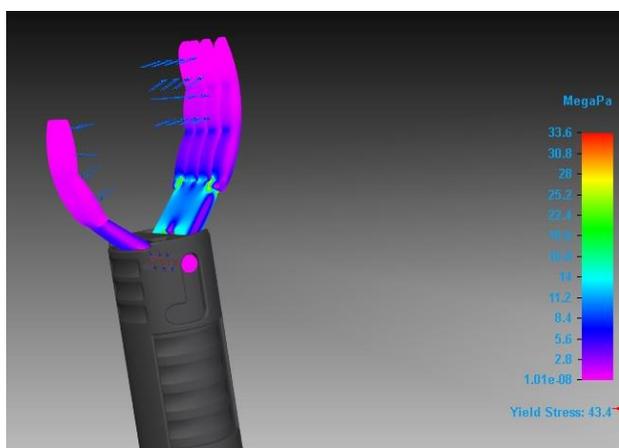
Debido a que las propiedades mecánicas de los materiales se incrementan aplicando un relleno hexagonal (Farbman & McCoy, 2017) y pequeños grosores de capa (Shubham, Sikidar, & Chand, 2016) en el proceso de MA hacen de la MA una alternativa a ser considerada contra una prótesis manufacturada por inyección. Se debe someter a simulación y de acuerdo al criterio de falla se procederá a la impresión 3D de la prótesis según los resultados sean favorables, en la Figura 3 se observa el modelo a imprimir con las consideraciones de parámetros de MA mencionados.



**Figura 3** Propuesta de impresión 3D de acuerdo a los criterios establecidos

## Simulación numérica

Los resultados que se obtuvieron al considerar el criterio de falla de la tensión de Von Mises indican que los esfuerzos máximos son de 33.6MPa en algunos puntos de la mano, como se observa en la Figura 4.



**Figura 4** Esfuerzos de tracción en modelo tomando criterio de von Mises

Se aplicaron al menos 4 iteraciones de modificaciones al diseño en las zonas con mayor esfuerzo con la finalidad de mejorar el factor de seguridad.

Debido a que el material ABS soporta esfuerzos de tracción 43.437MPa. Estos resultados nos ayudaron a obtener el factor de seguridad en las zonas de mayor esfuerzo cuyo valor es de 1.29, la Figura 5 muestra dicho valor.



**Figura 5** Factor de seguridad aplicando criterio de von Mises

Ahora este modelo analizado está listo para ser impreso en Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra donde se lleva a cabo el proceso de la impresión para su posterior instrumentación, adquisición de señales mioeléctricas y control.

## Anexos

A continuación se muestran datos comparativos y relevantes de 2 polímeros utilizados ampliamente en la manufactura aditiva.

**ABS:** es la sigla en inglés del acrilonitrilo butadieno estireno, un termoplástico derivado del petróleo muy común en todo tipo de productos, por ejemplo las piezas LEGO. Sus principales características son:

**Resistencia al calor:** comienza a fundirse a partir de 190°C. La temperatura de extrusión recomendada es de entre 220 y 250°C. Temperatura de cama: 100°C.

**Rigidez:** el ABS es resistente y fuerte, Aun así, tiene cierta flexibilidad, lo que permite un buen acabado y lo vuelve apropiado para realizar encastres.

**Colores y opacidad:** variedad de colores e incluso alternativas transparentes.

**Adecuado para:** productos o piezas que se someten a altas temperaturas o requieran tratamiento posterior (pintura, lijado pulido, etcétera).

La Tabla 2 muestra las propiedades del PLA y ABS como polímeros de uso en MA.

	ABS	PLA
Formula	$(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$	$(C_8H_8O_2)_n$
Ecologicament e amigable?	NO	SI
Degradable?	NO	SI
Temperatura derretido	205°C	175°C
Dureza Rockwell	R105 a R110	R70 a R90
Calidad superficial	Fina	Buena
Enfriamiento	Medio	Largo
Absorción de humedad	3% a 5%	Menor
Densidad	1.04 g/cm <sup>3</sup>	1.24g/cm <sup>3</sup>
Alargamiento a la ruptura	20%	3.8%
Resistencia a tensión	6500psi (45MPa)	8380psi (45MPa)
Resistencia a flexión	11000 psi (76MPa)	8020psi (55MPa)
Módulo de tracción	320000psi (2.21GPa)	478624psi (3.3GPa)
Módulo de flexión	330000psi (2.28GPa)	333586psi (2.3GPa)

**Tabla 2** Propiedades mecánicas de polímeros ABS y PLA

### Agradecimiento

Agradezco al Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra ITESS por haber depositado la confianza para que este proyecto se desarrollara. A la organización del CICA por abrir estos espacios del conocimiento.

### Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo se encontró información valiosa que sienta bases sólidas para la materialización de la prótesis. En este caso los esfuerzos mecánicos presentados que fueron favorables de acuerdo al material ABS seleccionado.

Como potencial mejora, se puede hacer algún cambio de diseño de geometría y selección de material flexible, con su implicación en elevación de costo.

### Referencias

Bordignon, F., A. Iglesias, A., & Hann, Á. (2018). *Diseño e impresión de objetos en 3d*. Buenos Aires, Argentina: UNIPE Editorial Universitaria.

Claver, J., & Mar, A. (2018). The Influence of Manufacturing Parameters on the Mechanical Behaviour of PLA and ABS Pieces Manufactured by FDM: A Comparative Analysis. <https://doi.org/10.3390/ma11081333>

Farbman, D., & Mccoy, C. (2017). Materials Testing of 3D Printed ABS and PLA Samples to Guide Mechanical MSEC2016-8668, (July). <https://doi.org/10.1115/MSEC2016-8668>

G.L. Taylor, R. J. S. (1955). The Anatomy and Mechanics of the Human Hand. *Artificial Limbs*, 2, 22–35.

I, R. J. M. G. (2007). La mano , origen , evolución y su papel en la sociedad La main : formation , évolution et rôle dans la société The hand , its origin , evolution and role in society. *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*, 21(ISSN 0864-215X), 1–5.

INEGI. (2010). Discapacidad en México. Retrieved from <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx?tema=P>

Manuel, J., & González, D. (2004). *ROBÓTICA Y PRÓTESIS INTELIGENTES*, 1(ISSN: 1067-6079), 1–15.

OMS. (2018). Tecnología de asistencia. Retrieved from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>

Quinayás Burgos, C. A. (2010). *Diseño y construcción de una prótesis robótica de mano funcional adaptada a varios agarres*. Universidad del Cauca.

Shubham, P., Sikidar, A., & Chand, T. (2016). The Influence of Layer Thickness on Mechanical Properties of the 3D Printed ABS Polymer by Fused Deposition Modeling The Influence of Layer Thickness on Mechanical Properties of the 3D Printed ABS Polymer by Fused Deposition Modeling, (August), 1–6. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KE M.706.63>