

# HUMANIDADES, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN PUEBLA

ACADEMIA JOURNALS



OPUS PRO SCIENTIA ET STUDIUM

ISSN 2644-0903 online

VOL. 2, NO. 1, 2020

[WWW.ACADEMIAJOURNALS.COM](http://WWW.ACADEMIAJOURNALS.COM)

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN AUSPICIADO POR EL CONVENIO CONCYTEP-ACADEMIA JOURNALS



GAHONA CASTILLEJOS LUZ ELISA

PROTOTÍPO DE PLATAFORMA PARA CALZADO ORTOPÉDICO PERSONALIZADO PARA  
POLIOMIELITIS

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

COORDINADOR: M.C APARICIO RAZO MANUEL

NÚMERO DE SECUENCIA 2-2



**Benemérita Universidad Autónoma  
de Puebla.**

*Facultad de Ciencias de la Electrónica.*

## Prototipo de plataforma para calzado ortopédico personalizado para poliomielitis.

**Autor: Gahona Castillejos Luz Elisa.  
Coordinador: M.C Aparicio Razo Manuel**

Fecha de aprobación: 30/10/2019

# Prototipo de plataforma para calzado ortopédico personalizado para poliomielitis.

Luz Elisa Gahona Castillejos<sup>1†</sup>, Emilio Francisco Alonso Hernández<sup>1†</sup>, Pablo Romano Carranza<sup>1†</sup>, Juan Carlos Rojas Bravo<sup>1</sup>, Miguel Angel Morales Carmona<sup>1</sup>, Manuel Aparicio Razo.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-Ciudad Universitaria, Blvd. Valsequillo y Esquina, Av. San Claudio s/n, Col. San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue, México.

## Resumen.

*Este trabajo presenta el diseño, la validación con elemento finito, la simulación del maquinado realizado con el software CAD SolidWorks® y el maquinado de una plataforma ortopédica de nylamid SL acoplable a un calzado de una persona con secuelas de poliomielitis.*

## PALABRAS CLAVE

*Poliomielitis, ortesis, análisis de elemento finito, maquinado, Nylamid SL.*

## ABSTRACT

*This work presents the design, the validation with finite element, the simulation of the machining carried out with the CAD SolidWorks® software and the machining of an orthopedic platform of nylamid SL that can be attached to a person's footwear with polio sequelae.*

## KEY WORDS

*Poliomyelitis, orthosis, finite element analysis, machining, Nylamid SL.*

## INTRODUCCIÓN

La poliomielitis es una enfermedad altamente contagiosa provocada por un virus que invade el sistema nervioso y puede causar parálisis en cuestión de horas. Esta se transmite de persona a persona por vía fecal-oral y a veces con menos frecuencia a través de un vehículo como el agua y los alimentos contaminados y se multiplica en el intestino (OMS, 2019). La poliomielitis tuvo su auge a finales del siglo XIX, entre los años 1880 a 1920, la expansión se dio entre los años 20's y 50's y su retirada fue a finales de los años 50's a 1988 con la aparición de las vacunas. Una de cada 200 infecciones produce una parálisis irreversible generalmente en las piernas, esta enfermedad afecta sobre todo a los niños menores de 5 años (OMS, 2019).

La poliomielitis ataca generalmente los miembros inferiores y los músculos, es decir, la tibial anterior, peroneos, tibial posterior, extensor común de los dedos del pie, cuádriceps, tríceps sural, glúteos, musculo del tronco, deltoides, músculos del brazo, ante brazo y mano (Rosa-Perez, 2000). Las secuelas permanentes son las que aparecen después de un año del episodio agudo, y son imposibles que presenten una recuperación debido a la parálisis. La fibra muscular de nervadas se atrofian y son sustituidas por tejido fibrocolageno y adiposo, Las fibras musculares indemnes al contrario pueden aumentar de volumen por hipertrofia compensatoria (Rosa-Perez, 2000). Debido a que la enfermedad ataca en la etapa infantil puede producir el acortamiento del miembro paralizado, gracias a la hipoplasia del esqueleto, esta debido a la inactividad del miembro que quedó paralizado (Berg, 1949).

Los casos provocados por poliovirus salvaje han disminuido en más de un 99%, de los 350,000 estimados en 1988 a los 33 notificados en 2018. (Aylward, 2000). Se han evitado más de 16 millones de casos de parálisis como resultado de los esfuerzos mundiales por erradicar la enfermedad (Bart, 1996). En México, el primer brote de poliomielitis se presentó en Veracruz en 1946 y el último fue registrado en el año 1990 en Jalisco. Según datos oficiales, en México se presentaron entre 1200 a 1300 casos de poliomielitis tipo poliovirus silvestre serotipos I y II solo entre los años 1986-1987. A partir del año posterior se generó una iniciativa para la erradicación a nivel mundial incluyendo nuestro país (Gonzales-Rubio, 2019 Abril).

Con los datos anteriores podemos analizar que los brotes de esta enfermedad en México se dieron entre los años 40's y 80's, lo que da como resultado que actualmente existan en la población personas con estas secuelas. Dicho de otra manera, el rango de edad de los afectados oscila entre 76-29 años, donde la mayoría se encuentra con una edad mayor de 39 años. Si consideramos que hoy en día la población económicamente activa en México se encuentra entre los 15 a los 75 años (Peralta, 2010) nos indica que estas personas son ciudadanos con un alto

potencial económico para la sociedad, lo que sugiere que deben contar con dispositivos ortopédicos de la más alta calidad que faciliten sus actividades diarias.

Una de las principales secuelas, como ya se abordó, es la atrofia muscular en las extremidades provocando el acortamiento de dicho miembro obligando al afectado a utilizar un aparato ortopédico que le permita caminar con mayor facilidad, las ortesis antiguas son muy pesadas y rígidas. Para las personas de mayor edad este tipo de aparatos les dificulta mucho el movimiento ya que al tener peso extra provoca un cansancio y otros problemas de salud (Gordedo Silva, 2015)

## METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la plataforma primero se eligió el material a utilizar, este necesitaba cumplir con unas buenas propiedades mecánicas y que sobretodo tuviera baja densidad y soportara el maquinado por lo cual se decidió trabajar con el Nylamid SL. El Nylamid es de la familia de las Poliamidas (PA) Nylon, algunas de sus características son:

- Gran resistencia térmica y al desgaste
- Maquinabilidad
- Baja densidad
- Buenas propiedades mecánicas y eléctricas

Existen diferentes tipos de Nylamid como el que es de color natural, gris marmoleado, color verde, color azul y el color negro (SL), este último fue el que se utilizó para el prototipo de la plataforma, está cargado con disulfuro de molibdeno. Podemos observar en la Tabla 1 que el Nylamid SL usado cuenta con una densidad más baja que el hule para la suela que se había estado usando sin contar que su esfuerzo a compresión es alto, asegurando que va aguantar el peso de la persona que lo utilizara. Se escogió este material por todas las propiedades que aporta, también por la presentación ya que al ser de color negro se ve elegante a diferencia de hule rígido que es con el material que se está comparado la mejora, ya que de este material están realizadas las anteriores plataformas que tenía la persona que fue afectada por la polio y a la cual se le hizo el prototipo de la plataforma.

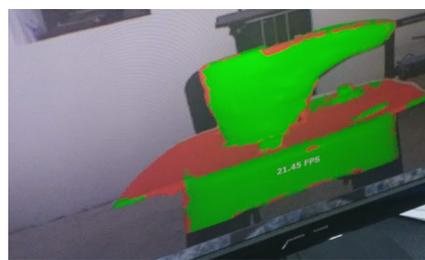
### *Diseño de plataforma ortopédica*

Para el diseño de la plataforma se realizó un proceso de ingeniería inversa, ya que contaba con una plataforma previa que se quería mejorar y el zapato al que se debía adaptar, entonces se procedió a escanear la suela del calzado para tener la curvatura adecuada, esto fue con ayuda de un programa llamado Skanect, este software es capaz de convertir una cámara especial en un escáner 3D.

Podemos observar en la Fig. 1 como se escaneo el zapato, en la Fig. 2 la imagen en 3d que se estaba formado y por último en la Fig. 3 el resultado final del escaneo.



*Fig1 Escaneado del zapato*



*Fig.2 Imagen que se genera con el escáner*



*Fig.3 resultado final arrojado por el software*

Después de realizar el escaneo de la suela del zapato, se efectuó el diseño de la plataforma por medio de programa CAD SolidWorks. Un reto importante en el diseño, fue obtener la plataforma a partir de la superficie compleja de la suela y optimizar el diseño de tal forma que fuera resistente, ligero y fácil de maquinado. Para lograr eso se realizó una serie de vaciado en la pieza como se muestra en la fig.4 y además se llevó a cabo una partición el modelo en dos piezas para que se pudiera acoplar el soporte metálico sin descuidar el proceso de maquinado rápido. En la fig. 5 y fig. 6 se pueden apreciar los detalles del diseño. Para lograr el acople de los elementos se decidió hacer uso de tornillo para garantizar un buen ajuste, para ellos se realizaron una serie de

barrenos. Otro fin de usar este tipo de unión es que brinda la posibilidad de desarmar los elementos de la plataforma si en algún momento dado el usuario decide cambiar el zapato o el soporte metálico.

Uno de los motivos por el cual se realizó este prototipo fue principalmente a que la persona que usará el zapato cuenta con edad avanzada y su fin era contar con un zapato ligero, resistente y que no presentará deformaciones por el uso. Por ello se optó en usar el material Nylamid que tiene propiedades similares al acero y aluminio, pero a una baja densidad. Después de asignar las propiedades de este material al diseño CAD, se logró que la plataforma tuviera un peso de 1055.18 gramos lo que es un logro, ya que se tiene ligereza y resistencia en un solo material.

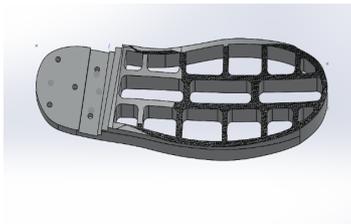


Fig. 4  
Plataforma

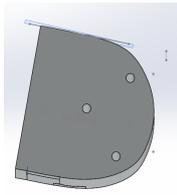


Fig. 5 tacón

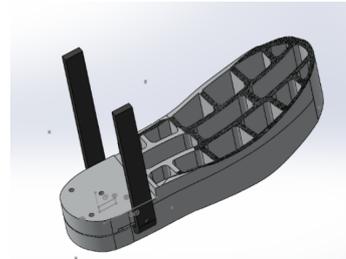


Fig. 6 Ensamble de la plataforma,  
tacón y solera.

#### Validación por elemento finito

El siguiente paso que se llevó a cabo fue la validación del diseño utilizando un análisis del elemento finito por medio del mismo software para saber si la plataforma soportaría la carga de trabajo. Como antecedente es importante mencionar que la plataforma fue realizada para una persona en específico y su peso está en el rango de los 100 y 120 kg, debido a eso, se utilizó una carga de 150 kg para asegurar que soporte el peso.

Cabe señalar que la distribución de peso en una persona normal es diferente a una con discapacidad, por ello se evaluó el peso total sobre la plataforma, para así garantizar que soporta la carga a la cual va a ser sometido (Boza, 2007).

Podemos observar en la Fig.7 el resultado del elemento finito de las tensiones de von-mises y en la Fig.8 se aprecia que todo el zapato tiene un factor de seguridad mayor a uno y esto asegura la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

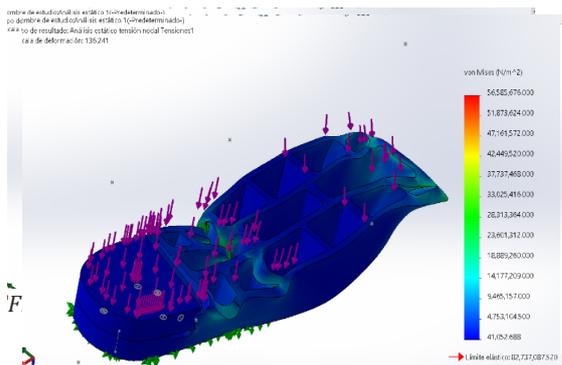


Fig. 7 Resultado de Von mises

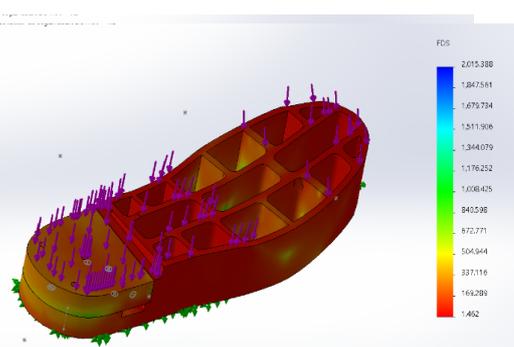


Fig. 8 Resultado del Factor de seguridad

#### Post procesado y maquinado de plataforma

Teniendo la certeza de que la pieza aguantaría las condiciones estáticas de carga, se procedió a realizar el post procesado en solidworks, para el maquinado, las velocidades se tomaron como si se estuviera maquinando aluminio partiendo de eso se realizó la simulación, la cual nos indica todos los pasos que realizara la fresa en este caso una VF-2ss Haas, también muestra el tiempo estimado que se llevara realizando todo el proceso y la trayectoria que seguirá la pieza y la herramienta.

El tiempo estimado que arroja el software que se llevaría en maquinarse el tacón que es la parte más pequeña fue de 27 minutos como observamos en la fig. 9 a), mientras que el tiempo estimado de la pieza principal que es la plataforma es de unas 14 horas, en la fig.9 b) podemos observar la simulación del maquinado de la plataforma. Después de llevar a cabo todas las simulaciones y el post procesado se procedió a realizar el maquinado, esto se desarrolló en diferentes partes, primero fue colocar el rectángulo de nylamid y asegurarlo para que durante el maquinado no se moviera, de ahí lo segundo fue sacar todos los cerros de la pieza, posteriormente a eso se cargó el programa que generó Solid Works y se prosiguió a correr el programa y con ello a maquinarse la pieza.

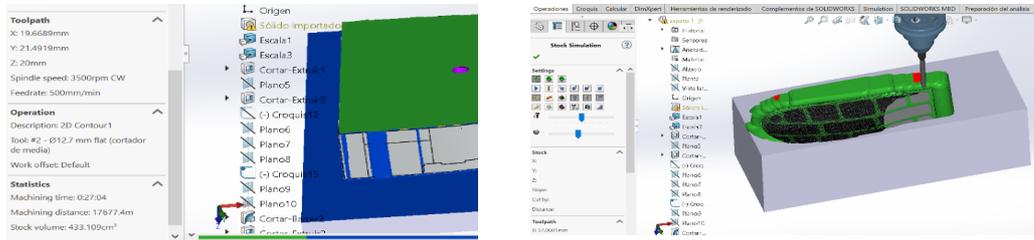


Fig. 9 a) tiempo estimado del maquinado tacón / b) simulación del maquinado de la parte

Podemos observar en las Fig. 10, 11 y 12 el proceso que realizó la máquina para realizar la plataforma comenzando primero con la altura y el contorno, prosiguiendo con la parte trasera, y la superior que va al calzado dejando como último los barrenos del tacón y el vaciado de la plataforma. En las Fig. 13 se puede observar la comparación entre el zapato que se mandó a imprimir en filamento en 3D para corroborar que la curva fuera la correcta para el calzado y el realizado con el Nylamid.



Fig. 10 Maquinado del contorno de la plataforma



Fig. 11 Maquinado de la parte cóncava de la plataforma



Fig. 12 Maquinado finalizado ya con el vaciado.



Fig. 13 Plataforma impresa en 3D / Plataforma maquinada

## RESULTADOS

Con la finalidad de comparar la plataforma del zapato diseñado y maquinado se comparó este con respecto a zapatos previamente usados por el mismo usuario. Se tuvo acceso a 2 zapatos realizados por zapateros, uno fue el zapato 1 cuya antigüedad es de 13 años y que fue usado por 9 años y el zapato 2 con antigüedad de 3 años y que fue usado por 3 años. En las Fig. 14-16, se aprecia que el peso del zapato 1 que es aproximadamente de 2.5 Kg, el zapato 2 “que es el que usaba más recientemente y sustituido por nuestro prototipo” tiene un peso de aproximado de 1.9 Kg y finalmente el zapato 3, nuestro prototipo, presenta un peso aproximado de 1.7 Kg.



Fig. 14 Zapato1/huele más rígido / con un peso aproximado a 2.5 kg

Es importante destacar según los relatos del usuario, que el zapato 1 lo dejó por el peso, ya que le resultaba muy cansado cargarlo cada pisada y también porque presento deformaciones sobre la suela dura de goma donde se localiza el soporte metálico que soporta el aparato ortopédico. En el caso del zapato 2, el usuario solicitó al zapatero que le elaborara otro zapato, pero más ligero, y de hecho lo fue, pero al medio año empezó a presentar deformaciones, ya que el material de la suela es más suave provocando deformaciones enormes que llegaron a modificar en su totalidad la plataforma.



Fig. 16 Zapato 3 / Nylamid SL/ con un peso de 1.697 Kg.

En el caso de zapato 1 y 2 se presentó repetidamente que la barra metálica deformará y rompió el hule provocando holgura mecánica entre el soporte y la suela, provocando una lesión en la rodilla con deformación ósea de la pierna.



Fig. 15 Zapato 2 / material menos denso / con un peso aproximado 1.9 Kg

En el caso de zapato 3 el cual se muestra en la Fig. 18, que actualmente está en uso, suponemos que la durabilidad superará fácilmente los zapatos anteriores, debido al uso de materiales resistentes, con alta durabilidad al desgaste y principalmente ligero. Comparando los 3 zapatos se puede notar que nuestro diseño logra un mejor peso sin descuidar la rigidez y evitando las deformaciones que hacen que la rodilla se lesione. La retroalimentación del usuario después de utilizar el zapato diseñado es que la plataforma lo hace sentir más seguro a la hora de caminar, además de ser cómodo, fácil de limpiar, con excelente estética y resistente a condiciones ambientales. Se puede apreciar algunas imágenes del zapato fabricado usado por el usuario y la comparación de los tres zapatos en la Fig. 17.



Fig. 17 Comparación de los calzados en el siguiente orden Zapato 1 / zapato2 / Zapato 3



Fig. 18 Zapato 3 en uso.

## DISCUSIÓN

La plataforma es una forma de poder darle una opción para las personas que necesiten calzados con alturas diferentes, dándoles la oportunidad de poder escoger el calzado que más sea de su agrado, ya que al ser realizada con ingeniería inversa esta se puede adaptar prácticamente a cualquier zapato, de igual manera gracias a los resultados obtenidos con SolidWorks y el análisis de elemento finito, se puede comprobar que el material es capaz de soportar un peso considerado, asegurando con ello mayor tiempo de vida del calzado, también haciendo que la plataforma pese menos que los modelos expuestos previamente, hace que el calzado sea más ligero y con ello más cómodo de llevar.

## CONCLUSIÓN

El diseño y fabricación de la plataforma se podría catalogar en este momento como un proyecto altruista, ya que de este prototipo no se obtuvo beneficio económico, pero al analizar los costos, beneficios y satisfacción social, podemos ver la necesidad y oportunidad de la apertura a una nueva industria de un sector totalmente olvidado en el país. Gracias al uso del diseño y maquinado computacional y los conocimientos de ingeniería es posible dar esperanza a estas personas y ofrecerles productos con mayor calidad a un costo accesible y a corto tiempo.

Es importante destacar que este tipo de dispositivos no se limita a solo personas que sufrieron polio, sino también a aquellas que, por una u otra circunstancia, así como una enfermedad o accidente necesiten este tipo de plataformas. Permitiendo la posibilidad de generar nuevas oportunidades de negocios y de emprendimiento a nivel estatal y nacional.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- Aylward, R. B. (2000). Disease eradication as a public health strategy: a case study of poliomyelitis eradication. *Bulletin of the World Health Organization*,.
- Bart, K. J. (1996). Global eradication of poliomyelitis: benefit-cost analysis. *Bulletin of the World Health Organization*.
- Berg, R. H. (1949). *La lucha contra la poliomiélitis*. Nova.
- Boza, R. D. (2007). Estudio baropodométrico en el hemipléjico vascular: relación con la discapacidad, equilibrio y capacidad de marcha. *Rehabilitación*,. 41(1), 3-9.
- Gonzales-Rubio, R. (2019 Abril). La Poliomiélitis y su erradicación en México y las Américas Reto histórico de salud hecho realidad. . *Revista Médico-Científica de la Secretaría de Salud Jalisco*. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdf>
- Gordedo Silva, M. (2015). *Las consecuencias de la poliomiélitis*.
- Limia, A. (s.f.). Obtenido de La erradicación de la poliomiélitis en la Región Europea de la Organización Mundial de la Salud [Publicación en un blog]. : [https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S1135-57272013000500009&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S1135-57272013000500009&script=sci_arttext&tlng=en)
- OMS. (22 de Julio de 2019). Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/epidemiology-of-polio>
- Panamericanos, T. (Marzo de 2005). Obtenido de <https://textilespanamericanos.com/textiles-panamericanos/articulos/2005/03/la-poliomida-una-fibra-versatil-para-textiles-de-alta-calidad/>
- Peralta, E. (2010). Perspectiva laboral en México, 2008-2030. *Comercio Exterior* ,60(3),. 195-208.
- Rosa-Perez, J. H. (2000). Cirugía : II cirugía ortopédica y traumatología. En U. N. Cirugía. Lima: UNMSM. Obtenido de <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-doc/clase30.pdf>
- Teutsch, C. (2017). *Model-based Analysis and Evaluation of Point Sets from Optical 3D Laser Scanners*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/3243/9e90d1ed288c0abc9dcea9bfb31f1f820765.pdf>.
- Vistrain, S. (2014). *OMCETPAC*. Obtenido de <http://www.postpoliomexico.org/PerfilSergio.html>