

# Diseño de una órtesis plantar para el tratamiento de úlceras en individuos con pie diabético

Rivera, Sebastián

2023

---

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5698>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

# Diseño de una órtesis plantar para el tratamiento de úlceras en individuos con pie diabético

Arellano Aguirre Luis Javier (Quinto semestre en Ingeniería Mecánica)<sup>1</sup>, Rivera González Sebastián (Tercer semestre en Ingeniería Biomédica)<sup>1\*</sup>, Ramírez Mateo Fernando (Cuarto semestre en Ingeniería en Mecatrónica)<sup>1</sup>, Rodríguez Orozco Diego (Séptimo semestre en Ingeniería en Sistemas Computacionales)<sup>1</sup>, Francisco Antonio Cantú Hernández (profesor responsable)<sup>1</sup>, Juan Carlos Colín Ortega (profesor asesor)<sup>1</sup>, Ana Moreno Hernández (profesor asesor) y Nora Morúa Álvarez (profesor asesor)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

## Resumen

La diabetes es una enfermedad común en la población mexicana, la cual afecta a millones de personas alrededor de todo el mundo, siendo México uno de los países con mayor incidencia. Esta enfermedad crónica causa la muerte de 140,729 mexicanos anualmente. Según múltiples investigaciones, se estima que al menos el 25% de la población con diabetes desarrollará pie diabético a lo largo de su vida y que el 7.2% de ellos desarrollará una úlcera plantar que puede resultar en una amputación. Dado este problema, se realizó un análisis de plantillas disponibles en México, su precio oscila entre \$1,500 MXN y \$1,700 MXN y en ocasiones es necesario adquirir a un calzado especial que cuesta entre \$2,000 MXN y \$2,500 MXN, se estima que estas plantillas deben cambiarse aproximadamente cada 6 meses elevando así los costos. Se llevó a cabo una investigación con el objetivo de diseñar una órtesis plantar para úlceras enfocada a una duración prolongada y un costo menor. En primer lugar, se realizó un estudio de la biomecánica de la zona plantar con el objetivo de definir las zonas de mayor presión en la planta del pie para determinar dónde se forman las úlceras con mayor frecuencia. Luego se inició el diseño, teniendo en cuenta el análisis de las diversas plantillas que hay en el mercado y sus deficiencias. Se finalizó con los materiales para que su fabricación pueda ser de menor costo.

**Palabras clave:** Úlceras plantares, Plantillas, Diabetes.

**\*Autor Corresponsal:** 194985@iberopuebla.mx

## Introducción

### *Diabetes y úlceras*

La diabetes es una enfermedad crónica que se caracteriza por niveles altos de glucosa (azúcar) en la sangre, debido a una regulación anormal. La principal consecuencia es la afectación de la nutrición de nuestro cuerpo y la aparición de diversos problemas de circulación [1]. Esta afección puede degradar los vasos sanguíneos, causando entumecimiento, pérdida de sensibilidad y problemas de cicatrización. Una de las complicaciones más comunes es el pie diabético, que puede provocar una lesión específica llamada úlcera por presión. Esto ocurre cuando el peso del cuerpo sobre el pie causa una pérdida de circulación en diversas zonas de la planta, lo que, sumado a los problemas circulatorios, puede generar lesiones en las que el tejido se necrosa y se cae, dejando un agujero que llega hasta el hueso que ejerció la presión sobre la planta del pie [2].

De los aproximadamente 8,542,000 mexicanos con diabetes, al menos el 25% desarrollará pie diabético a lo largo de su vida [3] y el 7.2% de ellos puede desarrollar una úlcera plantar que puede desencadenar en amputación [4]. Incluso después de la amputación, hay un gran riesgo de mortalidad, según un estudio realizado en pacientes con pie diabético y diabetes mellitus tipo 2: "la mortalidad a 30 días después de la amputación es del 8.6%, entre el 13% y el 40% en 1 año, del 35% al 65% en 3 años y del 39% al 80% en 5 años" [5]. Además, según otro estudio realizado en el Reino Unido, "el desarrollo de una úlcera de pie diabético está relacionado con una mortalidad del 5% en los primeros 12 meses y del 42% en 5 años; los pacientes con estas características tienen un riesgo de muerte 2.5 veces mayor que los pacientes diabéticos sin heridas en los pies" [5].

### *Plantillas ortopédicas*

Una plantilla ortopédica es un dispositivo que es recetado por un médico especialista ya que es necesario conocer la disfunción biomecánica del pie y analizar el efecto sobre la marcha. La principal función de una plantilla ortopédica es distribuir las posibles presiones que tiene la zona plantar para usarse dentro de un zapato y corregir una variedad de posibles problemas en el pie, entre la que se encuentran el pie diabético [6].

Es necesario seguir una metodología aplicada por un podólogo (especialista que lidia con los problemas de los pies). En primer lugar, el médico necesita conocer los síntomas del paciente, analizar sus actividades diarias, y una examinación de la zona plantar afectada para conocer el eje y rango articular, calidad de movimiento, fuerza muscular, tipo de pie, soporte de peso y marcha; en segundo, gracias a los avances tecnológicos se usa un láser 3D para escanear la forma que tiene el pie para conseguir las medidas precisas para la plantilla ortopédica; finalmente, se estudia si la plantilla diseñada es la indicada para el paciente y funciona como se predijo en el análisis del estudio de caso [7].

Uno de los métodos de tratamiento de úlceras plantares es la liberación de presión del pie mediante una plantilla. Estas son capaces de solucionar malestares y problemas que se pueden presentar en la planta del pie. Por medio de estas plantillas, se puede liberar la presión del pie afectado por una úlcera, modificando la forma en la que el pie hace contacto con la superficie y distribuye el peso del cuerpo. Esto se llama "descarga", y evita que la zona dañada haga contacto o fricción con el suelo, para permitir que la herida pueda cicatrizar e impedir que se agrave más. Incluso, con la ayuda

de una zapatilla en forma de bota especial, se puede reducir con mayor efectividad la presión ejercida por el pie para una recuperación más rápida [8].

Antes de implementar una plantilla como un método a largo plazo, es necesario que se aplique un TCC (Total Contact Cast), que es un yeso que sigue con la filosofía de la liberación de presión en la zona plantar [9]. Este yeso, a comparación de la plantilla, busca equilibrar la zona plantar en su totalidad en vez de una zona específica, esto se logra al poner un yeso a la altura del tobillo para limitar el movimiento del pie, el TCC se moldea con el contorno del pie, desde el talón, el arco de la planta del pie, hasta los dedos del pie. En algunas ocasiones, se corta el yeso en la parte de la herida, para darle un mejor tratamiento como lo es una limpieza [10].

Dentro de las plantillas ortopédicas, existen ciertas características que hacen del instrumento algo diferente para cada persona. La primera característica principal es el tamaño del pie, ya que con este se puede definir exactamente el rango de la zona plantar. Es fundamental tener en cuenta dónde se colocará, ya que dependiendo de si se usará un calzado normal o una bota especial, el tamaño de la plantilla puede cambiar. Además, es importante considerar la curvatura del pie, ya que existen tres tipos de arco: los arcos medios o neutros, los arcos bajos, planos o caídos, y los arcos altos. Si se utiliza un arco que no corresponde al pie, podría terminar lastimándolo [11].

Recopilando todos los elementos se pueden diferenciar tipos de plantillas; la primera es una plantilla con soporte rígido donde la estructura no es flexible; el segundo es una con soporte semirrígido, que es moderadamente flexible y firme; a plantilla con soporte acolchonado, donde se cuenta con un amortiguador sin un soporte rígido; por último, plantilla con cojín plano donde no hay ningún soporte alguno. Para terminar, el último elemento son los materiales que se pueden usar para la construcción de la plantilla, se puede usar espuma como material ya que es un elemento que permite amortiguar, apoyar y liberar la presión; el gel funciona para absorber impactos; el corcho funciona como un cojín ligeramente suave y como gran soporte; y el cuero que funciona como un gran cojín y beneficia a la comodidad del paciente [11].

En México las plantillas ortopédicas para tratar las úlceras cuestan entre \$1,500 MXN y \$1,700 MXN, para usarlas se debe de adquirir un calzado especial que cuesta entre \$2,000 MXN y \$2,500 MXN, se estima que se debe de realizar un cambio cada 6 meses [12]. Esto representa un costo significativo en pacientes debido a la calidad con las que se debe reponer debido al diseño que provoca un gran desgaste. Al desglosar los datos de múltiples estudios y un análisis del mercado, hay un severo problema con las lesiones en el pie diabético a nivel nacional y la accesibilidad al método ortopédico de las plantillas, es de suma relevancia que se expongan estos datos debido a la gran tasa de ciudadanos que se exponen a severos daños y que, al pasar de los años, la cifra crece exponencialmente.

La siguiente metodología se llevará a cabo con el objetivo de diseñar una plantilla enfocada en una durabilidad prolongada y un costo menor. Esto se logrará proponiendo un diseño

reutilizable y enumerando posibles materiales que sean resistentes y accesibles en términos de precio.

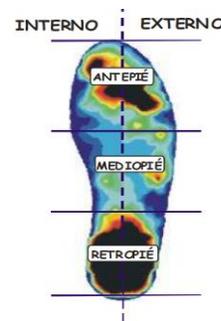
### Metodología

Para cumplir con el objetivo general, es necesario alcanzar cuatro objetivos específicos. En primer lugar, se debe definir las zonas de presión plantar mediante un estudio biomecánico del pie. Esto permitirá identificar dos puntos importantes: cómo se distribuye la presión del peso corporal en la zona plantar y dónde se ubican las zonas más frecuentes en las que se desarrollan úlceras. El segundo objetivo consiste en realizar una comparación entre las plantillas disponibles en el mercado mexicano. Se analizarán las diferentes opciones disponibles para la liberación de presión y, en base a las experiencias de los usuarios, se evaluarán las cualidades y las deficiencias de cada una para tener un punto de referencia de las posibles mejoras que podría tener una plantilla. El tercer objetivo es definir las características principales de la órtesis. Para ello, se propondrá un diseño que cumpla con características de durabilidad y que pueda mejorar las deficiencias de las plantillas actuales mediante el uso de software de diseño mecánico. Por último, se propondrá un listado de materiales resistentes y económicos con los que se podría fabricar la órtesis para que cumpla con la larga duración que se busca obtener.

#### Biomecánica de la zona plantar

Para poder determinar y analizar las zonas donde es más frecuente que se desarrolle una úlcera plantar, es fundamental explicar la biomecánica de la planta del pie y cómo se distribuye el peso del cuerpo a lo largo de varias zonas de esta. Para una mejor comprensión, la zona plantar se divide en tres partes utilizando un plano sagital, como se puede ver en la Figura 1. La parte antepié es la zona frontal del pie donde se encuentran las áreas de apoyo de los dedos. La zona mediopié es generalmente la zona donde se encuentra el arco del pie. Por último, el retropié es la zona del talón que hace contacto con la superficie. Todas las zonas antes mencionadas, al estar en un plano, se dividen en dos con plano frontal interno y externo.

Figura 1: Zona plantar y sus divisiones [13].



Cuando se aprecia el momento de mayor presión plantar en cada parte del plano sagital midiéndose en kPa/kg, se da un cambio de presión conforme se va apoyando la planta del pie durante la marcha. En primeras instancias, durante el apoyo del pie, el contacto empieza con el retropié por la parte

externa, la presión se extiende un 57.3% en el ancho del pie, después en el mediopié externo, la presión máxima se eleva a un 76.7%, y el antepié, que la presión se extiende a la parte interior con un 47.5% [13].

#### *Zonas más comunes de una úlcera*

En base a un experimento realizado por Journal of Foot and Ankle Research, donde con la ayuda de 129 pacientes con úlceras activas o que tuvieran antecedentes, se estudió las localizaciones de las úlceras en los sujetos junto a un cuidado intensivo por un periodo de 2 a 4 meses, se utilizaron los siguientes parámetros para el estudio: Que el paciente no desarrollara una nueva úlcera, que el paciente desarrollara una úlcera en la misma ubicación, que la úlcera se desarrollara en otra ubicación y que si la úlcera se desarrollara en el pie opuesto. Concluyeron que, en el primer dedo del pie, hubo un 32% de casos durante el estudio, el primer metatarsiano ubicado en el antepié interno, con un 41%, y el quinto metatarsiano con 16%, ubicado en el antepié externo, aunque también hubo un 8.1% en el talón [14].

#### *Plantillas en el mercado mexicano*

Para esta actividad, con base a plantillas que se encuentran en plataformas de compra, como Amazon, Mercado Libre y otras plataformas digitales de venta de productos ortopédicos, se tomó el precio, materiales, y opiniones de usuarios para encontrar las características principales de las plantillas.

La primera plantilla es Easyfeet, que es una plantilla deportiva enfocada en la actividad física; utiliza materiales como Poliuretano termoplástico, Gel, y Espuma de poliuretano, tiene un costo de \$599 pesos mexicanos. Según usuarios, una de las cualidades de esta plantilla es la adaptabilidad que tiene en el pie plano, tiene un material muy resistente capaz de aguantar al menos 6 meses, y ayuda con el dolor y la fatiga del pie. Entre los aspectos negativos, el tamaño de la plantilla llega a afectar la comodidad del pie, esta plantilla, aunque libere la presión, no está enfocada en los pies diabéticos por lo que la úlcera hará contacto con la superficie, y debido a la durabilidad de los materiales, no se llega a adaptar a arcos grandes [15].

Ossur es una marca dedicada al desarrollo de dispositivos médicos, uno de los productos que ofrecen es una plantilla de características ortopédicas enfocada en los pies diabéticos con un costo aproximado de \$1,600 pesos mexicanos [16]. Utiliza materiales como el Etilvinilacetato (EVA), gel, Espuma de poliuretano de célula cerrada, y Corcho. De las cosas buenas con las que cuenta, es que la plantilla está conformada por hexágonos removibles, esto hace que se puedan remover las piezas en cualquier parte donde se desarrolle la úlcera y que la plantilla no haga contacto con la herida, esta plantilla si está especializada en pies diabéticos y es capaz de adaptarse a cualquier calzado. Lamentablemente, esta plantilla tiene piezas que una vez que se remueven, no se pueden volver a unir, significando que se tendrá que reponer la plantilla por cada vez que salga una úlcera en una diferente zona; debido a sus piezas removibles, se puede desmoronar con facilidad después de mucho uso, tienen poca durabilidad con aproximadamente menos de 6

meses de uso; por último, se vende solo una plantilla para un pie [17].

La siguiente plantilla es ActFun es una plantilla soporte de arco con un costo de \$290 pesos mexicanos, usa solo un material que es Goma termoplástica, es resistente, viene en pares, y es un método contra la fascitis. Esta plantilla no se especializa en úlceras y, la plantilla solo podría servir para úlceras ubicadas en el talón [18].

Darco es una marca que participa en el mercado de herramientas ortopédicas, ofrecen plantillas para pie diabético con un costo de \$491.86. Tiene una combinación de Plastazote y Multi-Foam con una cubierta de Poron, y Placa estabilizadora [19], Esta plantilla tiene ventajas, al igual que la Ossur, está conformado por piezas removibles para seleccionar la zona en donde se encuentra la úlcera, tiene un bajo costo, y son cómodas. Como contra, es una plantilla que no cabe en todos los calzados, es tan delgado que puede durar un aproximado de dos semanas, y solo se vende una pieza [20].

Finalmente, tenemos una plantilla ortopédica para pie diabético de la marca Orliman, tiene un precio de mercado de €18,95 [21]. Usa base de velour dotada de una lámina adhesiva en micro gancho, compuesta por celdas cuadradas de material uretano (EVA) y forro de PORON [22]. Entre sus mejores aspectos, es que está especializada al pie diabético, de igual forma se puede cortar cualquier zona, y son suaves para la comodidad. Dentro de sus aspectos negativos, no cabe en cualquier calzado y es necesario comprar una bota especial, tiene duración de 3 meses, y se vende en una sola pieza [21].

Tabla 1: Tabla comparativa de las diferentes plantillas en el mercado

Nombre	Precios	Materiales	Cualidades	Deficiencias
Easyfeet	\$599	Poliuretano termoplástico, Gel, y Espuma de poliuretano	Se adapta al pie plano Material cómodo y resistente durante 6 meses Ayuda con el dolor y la fatiga del pie	Tamaño limita la comodidad en diferentes tipos de calzados No funciona para pie diabético Extremadamente duras, no se acomoda al arco de los pies
ActFun	\$290	Goma termoplástica	Esta plantilla libera la presión del pie para personas que tienen un arco alto en la zona plantar Es resistente Viene en pares método contra la fascitis	Esta plantilla no se especializa en úlceras y pie diabético La plantilla solo podría servir para úlceras ubicadas por el talón

Tabla 2: Tabla comparativa de las diferentes plantillas en el mercado

Nombre de la marca	Precios	Materiales	Cualidades	Deficiencias
Ossur	\$1,600	Etilvinilacetato (EVA), gel, Espuma de poliuretano de célula cerrada, y Corcho	La plantilla se conforma de hexágonos, permitiendo que se puedan cortar de forma fácil para evitar el contacto de una úlcera en cualquier parte del pie. Está diseñada específicamente para pacientes con pie diabético. Se adapta a cualquier tipo de calzado.	Debido a que tienen la capacidad de separar partes de ella, estas partes no se pueden volver a unir. Como se usa un material suave, son propensos a desmoronarse con mucha facilidad. Tienen una baja durabilidad si es usada con frecuencia. Solo se vende una plantilla por pie, no en pares.
Darco	\$491.86	Combinación de Plastazote y Multi-Foam con una cubierta de Poron, y Placa estabilizadora	Es una plantilla ortopédica enfocada en el pie diabético. Tiene un costo bajo. Son cómodas y suaves para el usuario. Permite cortar parte de la plantilla para dejar un hoyo donde iría la úlcera.	Es una plantilla que no cabe en todos los calzados. Es tan delgado, que puede tener una duración de dos semanas. Solo se vende una pieza.
Orliman	€18,95	Base de velour dotada de una lámina adhesiva en micro gancho, compuesta por celdas cuadradas de material uretano (EVA) y forro de PORON	Plantilla ortopédica enfocada en el pie diabético. Son cómodas y suaves para el usuario. Permite cortar parte de la plantilla para dejar un hoyo donde iría la úlcera.	No cabe en calzados, es necesario una bota especial con mayor costo. Su duración es corta, con 3 meses de uso aproximado. Se vende una sola pieza.

## Resultados y Discusión

Como software, se utilizó SolidWorks para la elaboración del diseño propuesto de la plantilla, debido a las herramientas que tiene para la realización de un diseño en 3d y la visualización de planos isométricos.

### Primer diseño

El diseño que se muestra en la Figura 2, es un primer borrador del diseño final, en este caso, se trabajó de forma en la que el diseño de la plantilla fuera para el uso de pacientes con pie diabético y se propusieron ideas relevantes de cómo es la funcionalidad de la plantilla ortopédica.

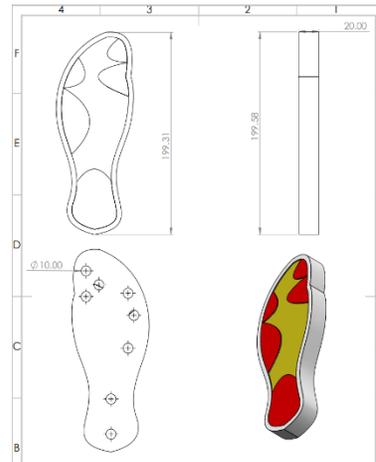


Figura 2. Primer borrador de diseño

Las partes rojas son las zonas donde más se frecuenta una úlcera en pie diabético, nuestro diseño hará que cualquiera de las partes pueda retirarse, en caso de que una úlcera se forme en otra zona, la pieza podrá unirse, y así se podrá retirar otra zona. Con esto obtenemos una reusabilidad de la plantilla, permitiendo que se siga usando cuando las circunstancias del pie diabético cambien. Por ende, se propone un diseño que utiliza imanes en las zonas más frecuentes para que sean piezas removibles y que se estén sujetando sin tener que comprometer la estructura de la plantilla.

En cuanto a diseño, hay una vista en la Figura 3 donde se puede apreciar la medida de la plantilla que es de 161.52 mm de longitud por 10 mm de grosor, el diseño de la plantilla se hizo con el fin de que sea cómoda, duradera y sobre todo accesible. En la figura 3, vemos una vista que representa el grosor.

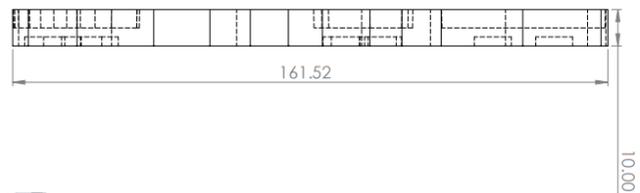


Figura 3. Vista de grosor y longitud

### Segundo diseño

Continuando con el primer diseño propuesto se utilizó una forma más adecuada a la forma del pie y las zonas rojas se delimitaron para que sean más exactas a las áreas donde se puede desarrollar una úlcera, también se cambió la ubicación de los imanes como se aprecia en la Figura 4

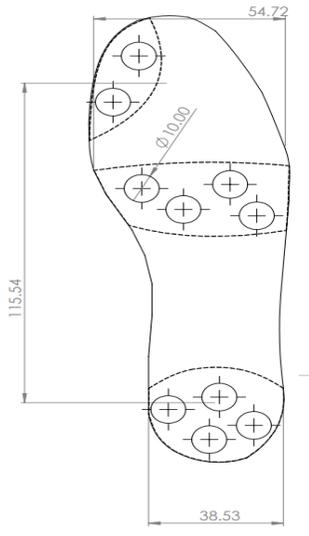


Figura 4. Ubicación de imanes

Los imanes presentes son de 10 mm, que ayudará a que las piezas removibles no se vayan tan fácilmente. En la figura 5, se observa que los imanes van en la planta baja.

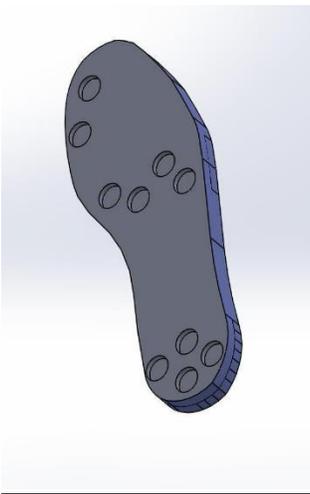


Figura 5. Ubicación de imanes

Por últimos se redujeron las partes removibles a solo tres zonas donde se es más recurrente que se desarrolle la herida tal y como se ve en la Figura 6.

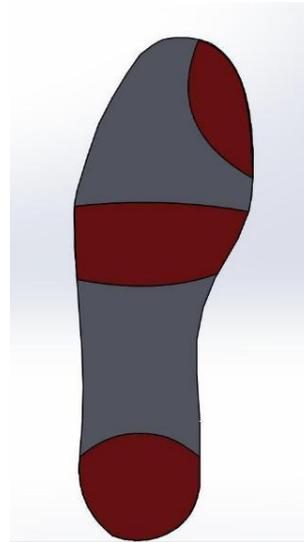


Figura 6. Segundo diseño

#### *Diseño final*

Finalmente, se realizaron modificaciones en el diseño de la plantilla, agregando nuevas funcionalidades que podrían ayudar a los pacientes. Entre ellas, se encuentra la ventilación del pie, la cual se logró a través de cortes en la pieza para aportar flexibilidad y circulación de aire. Además, se dividieron las zonas rojas en cuadrantes para definir con mayor exactitud las partes donde podría desarrollarse la úlcera, como se puede apreciar en la Figura 7. Los hexágonos de color rojo están diseñados específicamente para permitir la respiración del pie y las partes removibles con hoyos también sirven para una mejor transpiración de la herida y las zonas circundantes. Los cortes en las zonas removibles se hicieron para no incomodar al paciente teniendo que quitar toda la pieza, sino solo la parte específica necesaria.

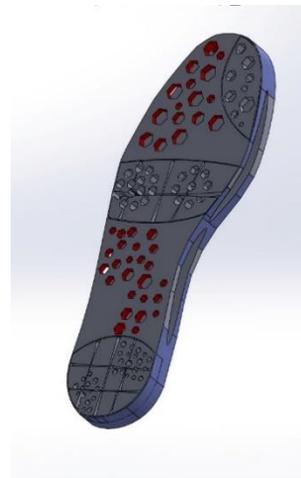


Figura 7. Hexágonos en parte plantar

### Medidas de la plantilla

En el diseño de las medidas el total de largo de la plantilla es de 161.26 mm el uso de esta medida se hizo con base a un documento de Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana de la Universidad de Guadalajara, para esto el espesor de esta, es de 10 mm de los cuales 5 mm se van a usar para colocar los imanes de ambos lados, para que no sean molestos para el paciente [23].

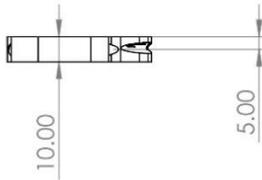


Figura 8. Vista de profundidad de la plantilla

Anteriormente se había dicho que la medida del largo de la pieza es de 161.26mm, pero aún no se habla de los óvalos que tiene en los costados, para esta forma se utilizó para darle respiración, al igual que en la parte de arriba de la plantilla los cuales están marcados de color rojo.

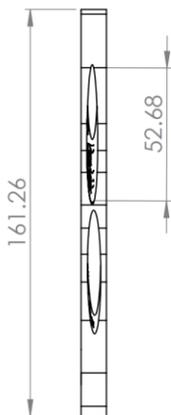


Imagen 9. Vista de costado

### Análisis de materiales

Se realizó un análisis de diferentes materiales para plantillas ortopédicas. Como primera opción, se tiene la espuma fenólica, que es uno de los materiales más utilizados por los médicos en el tratamiento del pie plano. Su precio es de \$150 por 2 placas. Sin embargo, al ser un material muy general, no es la mejor opción para el pie diabético y las úlceras plantares. Como segunda opción se analizó la espuma de caucho, que tiene un precio de \$399 por 34 cm de largo y 6 mm de grosor. Sin embargo, su duración es mínima, con un máximo de 18 meses. Uno de los objetivos es lograr una gran duración de uso sin tener repercusiones. Una de las mejores opciones es el material EVA termo conformado, con un precio de \$299 por un tubo de 40 cm de largo y 6 mm de

grosor. Este material es uno de los mejores, ya que su función principal es la absorción del impacto al caminar. Otro buen material es el termoplástico con un proceso de termo conformado. Este proceso consiste en calentar el material con un radiador para hacerlo más suave, dúctil y moldeable. El siguiente material para el forrado será de espuma de poliuretano. El termoplástico tiene un precio de \$299 por 100 g, mientras que un paquete de espuma de 2 cm de grosor y 2 cm de largo cuesta \$199 [24].

### Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos de la investigación y diseño del proyecto se puede concluir que las plantillas para úlceras en el mercado son un producto muy caro y con baja disponibilidad, a pesar de la cantidad de diabéticos y gente con pie diabético que reside en México, es muy frecuente que se presenten problemas de funcionalidad y duración, eso lo podemos saber con las quejas de los compradores en páginas web como Amazon o Mercado libre. Por estos factores se propuso un diseño con el objetivo de poder alargar la duración de la plantilla y reducir el costo en base a un estudio de materiales.

Con respecto al objetivo general, se logró plantear un diseño enfocado en mejorar la durabilidad de las plantillas para úlceras plantares. Se realizaron estudios orientados a llevar a cabo el diseño, el cual se trabajó en el software SolidWorks, teniendo en cuenta la disposición de la zona plantar del pie y su biomecánica.

Después de haber cumplido con las actividades y metas propuestas, fue posible la realización de un diseño enfocado en mejorar la durabilidad con respecto a las plantillas en el mercado. Con la investigación de materiales duraderos y un diseño enfocado en la reusabilidad y resistencia, se finalizó una solución que cumple con la meta planteada.

Aunque se logró con éxito el objetivo planteado, también es necesario mencionar las limitaciones del estudio planteado; uno de ellos es que solo se llegó a un diseño con planos, no se generó un prototipo capaz de ser probado de forma física con algunos de los materiales posibles para identificar posibles errores en la plantilla y mejorar sus características para que sea más efectiva. Además, la falta de sensores y equipo profesional impidió un estudio más extenso de la biomecánica de la planta del pie, que habría explicado la distribución del peso corporal en la zona plantar y la presión que se ejerce. En otras palabras, debido al tiempo disponible para la realización del proyecto, la meta establecida solo se enfocó en el diseño de plano para que el diseño propuesto fuera lo más avanzado posible.

## Referencias

- [1] CDC., “¿Qué es la diabetes?” (2022)., Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades [En Línea]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/diabetes/spanish/basics/diabetes.html> (accedido el 25 de abril de 2023).
- [2] UC San Diego Health., “¿Qué son las úlceras por presión en el pie?” (2022). UC San Diego Health – Health Library [En Línea]. Disponible <https://myhealth.ucsd.edu/Spanish/RelatedItems/3.83686> (accedido el 25 de abril de 2023).
- [3] Inegi., “Estadísticas a propósito del día mundial de la diabetes”, (2021)., Inegi. [En Línea]. Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP\\_Diabetes2021.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP_Diabetes2021.pdf) (accedido el 25 de abril de 2023).
- [4] Torres-Machorro, A., Ruben-Castillo, C., Jf, T., Miranda-Gómez, Ó. F., Catrip-Torres, J. M., Hinojosa, C. A., “estado actual, costos económicos y sociales del pie diabético y las amputaciones en la población mexicana.” (2020). Revista mexicana de angiología [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.24875/rma.20000019> (accedido el 25 de abril de 2023).
- [5] Martínez, J. E., Romero, E., Plata, H., López, G., Otero, R., Garza, A., & Corral, M., “Pie diabético en México: factores de riesgo para mortalidad posterior a una amputación mayor, a 5 años, en un hospital de salud pública de segundo nivel.” (2021)., Scielo [En Línea]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2444-054X2021000300284&lang=es#](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2444-054X2021000300284&lang=es#) (accedido el 25 de abril de 2023).
- [6] Top Doctors (s.f)., “What are orthotic insoles?”. (2020). Top Doctors United Kingdom [En Línea]. Disponible en: <https://www.topdoctors.co.uk/medical-dictionary/insteps> (accedido el 25 de abril de 2023).
- [7] Pride plus., “Orthotics or insoles: What they are, how they work and their cost”. (2020). Pride plus health. [En Línea]. Disponible en: <https://prideplus.com.au/orthotics/> (accedido el 25 de abril de 2023)
- [8] NYU Langone Health., “Nonsurgical Treatment for Diabetic Foot Ulcers.” (2023)., NYU Langone Health. [En Línea]. Disponible en: <https://nyulangone.org/conditions/diabetic-foot-ulcers/treatments/nonsurgical-treatment-for-diabetic-foot-ulcers> (accedido el 25 de abril de 2023)
- [9] Bastian P, V., Visser, P., Hutting K, H., Moumni M, E., Baal, J & de Vries J. P., “Comparing a non-removable total contact cast with a non-removable soft cast in diabetic foot ulcers: A retrospective study of a prospective database.” (2022)., ScienceDirect. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168822722008506> (accedido el 25 de abril de 2023)
- [10] Singh, S., Yoong, M & Kaur, A., “Offloading techniques for diabetic foot”. (2017). Medcrave. Disponible en: <https://medcraveonline.com/JDMDC/offloading-techniques-for-diabetic-foot.html> (accedido el 25 de abril de 2023)
- [11] The Insole Store., “Insole Guide: How to Choose the Right Insole”. (2023). The Insole Store [En Línea]. Disponible en: <https://theinsolestore.com/pages/insole-guide> (accedido el 25 de abril de 2023).
- [12] Mediprax., “¿Cada Cuánto Debo Cambiar Mis Plantillas Ortopédicas?”. (2023). Mediprex [En Línea]. Disponible en: <https://mediprax.mx/cada-cuanto-debo-cambiar-mis-plantillas-ortopedicas/> (accedido el 25 de abril de 2023).
- [13] Elvira, J.L., Vera-García, F.J., Meana, M., & García, J.A., “Análisis biomecánico del apoyo plantar en la marcha atlética. Relación entre la huella plantar, ángulos de la articulación subastragalina y presiones plantares”. (2008)., European Journal of Human Movement. [En Línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2742/274220519004.pdf> (accedido el 25 de abril de 2023).
- [14] Peterson, J. B., Rothenberg, G. M., Lakhani, P. J., Zhou, M., Linders, D. R., Bloom, J. D., Wood, K. A., & Armstrong, D. G., “Ulcer metastasis? Anatomical locations of recurrence for patients in diabetic foot remission.” (2020). Journal of Foot and Ankle Research. [En Línea]. Disponible en: <https://jfootankleres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13047-020-0369-3> (accedido el 25 de abril de 2023).

- [15] Amazon., “Plantillas de calzado premium antifatiga.” (2023)., Amazon México [En Línea]. Disponible en: [https://www.amazon.com.mx/Nuevo-Plantillas-calzado-premium-antifatiga/dp/B099P33DC2/ref=sr\\_1\\_8?\\_mk\\_es\\_MX=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=planta%2Bortop%C3%A9dica&s=hpc&sr=1-8&th=1](https://www.amazon.com.mx/Nuevo-Plantillas-calzado-premium-antifatiga/dp/B099P33DC2/ref=sr_1_8?_mk_es_MX=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=planta%2Bortop%C3%A9dica&s=hpc&sr=1-8&th=1) (accedido el 25 de Abril de 2023).
- [16] Mercado Libre., “Plantilla De Repuesto Para Zapato Ossur Úlcera Plantar.” (2023)., Mercado Libre [En Línea]. Disponible en: <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-956811350-plantilla-de-repuesto-para-zapato-ossur-ulcera-plantar- JM> (accedido el 25 de abril de 2023).
- [17] Amazon., “Ossur plantillas de repuesto para-DH Zapato, L, 1.” (2023)., Amazon México [En Línea]. Disponible en: [https://www.amazon.com/-/es/Ossur-plantillas-repuesto-para-Zapato/dp/B00BZHD7PM/ref=cm\\_cr\\_ar\\_p\\_d\\_pdt\\_img\\_top?ie=UTF8](https://www.amazon.com/-/es/Ossur-plantillas-repuesto-para-Zapato/dp/B00BZHD7PM/ref=cm_cr_ar_p_d_pdt_img_top?ie=UTF8) (accedido el 25 de abril de 2023).
- [18] Amazon., “Plantilla ortopédica para pie plano, soporte de arco de pierna, fascitis plantar, dolor de pie valgo.” (2023)., Amazon México [En Línea]. Disponible en: [https://www.amazon.com/-/es/Plantilla-ortopédica-soporte-fascitis-mujer12-13-5/dp/B0B14BLG9B/ref=sr\\_1\\_54?\\_mk\\_es\\_US=ÁMÁŽŃ&keywords=Flat+Foot+Orthopedic+Insoles&sr=8-54](https://www.amazon.com/-/es/Plantilla-ortopédica-soporte-fascitis-mujer12-13-5/dp/B0B14BLG9B/ref=sr_1_54?_mk_es_US=ÁMÁŽŃ&keywords=Flat+Foot+Orthopedic+Insoles&sr=8-54) (accedido el 25 de Abril de 2023).
- [19] Darco., “PQ PegAssist™ Offloading Insole.” (2023)., Darco Global. Disponible en: [?keywords=darco+insole&sr=8-9](https://www.darco.com/keywords=darco+insole&sr=8-9) (accedido el 25 de abril de 2023).
- [20] Amazon., “Darco Sistema de plantillas Peg-Assist.” (2023)., Amazon México [En Línea]. Disponible en: [https://www.amazon.com/-/es/Sistema-plantillas-Peg-Assist-grande-PTQM3/dp/B01AE20Z7Q/ref=cm\\_cr\\_ar\\_p\\_d\\_pdt\\_img\\_top?ie=UTF8](https://www.amazon.com/-/es/Sistema-plantillas-Peg-Assist-grande-PTQM3/dp/B01AE20Z7Q/ref=cm_cr_ar_p_d_pdt_img_top?ie=UTF8) (accedido el 25 de abril de 2023).
- [21] Nória Pau., “Orliman PANCP Plantilla Especial Pie Diabético/Úlceras.” (2023)., Pau farmácia ortopédica [En Línea]. Disponible en: <https://www.farmacianuriapau.com/orliman-pancp-t0-plantilla-antiulcera-zapatos-b800/> (accedido el 25 de abril de 2023).
- [22] Orliman., “Plantilla especial para pie diabético/úlceras (especial para zapatos postquirúrgicos).” (2023)., Orliman [En Línea]. Disponible en: <https://www.orliman.com/producto/plantilla-especial-para-pie-diabeticoulceras-especial-para-zapatos-post-quirurgicos/> (accedido el 25 de abril el 2023).
- [23] Avila, R., González, E.L., & Prado, L.R., “Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile / R. Avila Chaurand...” (2015)., Research Gate [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/14486/2018sergioboh%C3%B3rquez4.pdf?sequence=6> (accedido el 25 de abril el 2023).
- [24] Admin-Um., “Tipos de plantillas ortopédicas, ¿cuál es el mejor material para tus plantillas ortopédicas?.” (2022)., Ultramed [En línea]. Disponible en: <https://ultramed.com.mx/tipos-de-plantillas-ortopedicas-por-material/> (accedido el 25 de abril el 2023).