

**DISEÑO Y SIMULACION DE UNA PLANTILLA EN DOS MATERIALES
PARA USO DE PERSONAS CON PIE DIABÉTICO.**

Francisco Sánchez Pérez, Oscar García Aranda

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito Exterior S/N Ciudad Universitaria, Coyoacán DF. C.P. 04510, México. Tel. 56 22 80 58
pakosan24@gmail.com, magozkr@hotmail.com

RESUMEN

La diabetes es una enfermedad producida por una alteración en el metabolismo de los hidratos de carbono en el organismo. En su forma más común (diabetes Mellitus) hay una deficiencia en la producción de insulina por el páncreas, lo que impide el almacenamiento en las células de la glucosa, y se manifiesta por aumento de la presencia de este hidrato de carbono en la sangre. Gran parte de las amputaciones de miembros inferiores realizadas son consecuencia de la diabetes.

Las plantillas son órtesis que se colocan dentro del calzado y ayudan a prevenir las úlceras en el pie, debido a que distribuyen las cargas soportadas por el mismo. En el siguiente trabajo, se presenta la simulación de las cargas en dos de los principales materiales empleados en la fabricación de estas, el estudio es comparativo además de que se pretende agregar un dispositivo de vibración para efectuar un masaje, que como es sabido ofrece ventajas, para los principales problemas que presenta una persona diabética en la zona del arco plantar.

ABSTRACT

Diabetes is a disease caused by an alteration in the metabolism of carbohydrates in the body. In its most common form (Diabetes Mellitus) there is a deficiency in the production of insulin by the pancreas, which prevents the storage cells of glucose, and is manifested by increased presence of the carbohydrate in the blood. Much of the lower limb amputations performed are a consequence of diabetes.

Templates are bracing to be placed inside the shoe and help prevent ulcers in the foot, because they distribute the burdens borne by it. In this paper, presents the simulation of charges in two of the main materials used in the manufacture of these, the comparative study is also intended to add a device to make a vibrating massage, which is known as advantages, for major problems that presents a diabetic person in the area of the plantar arch.

ANTECEDENTES.

En la actualidad, se debe hacer énfasis en la problemática existente dentro de nuestra sociedad que sufre enfermedades tales como la diabetes. En México son muchísimas las personas que sufren de esta enfermedad, la cual se manifiesta de forma importante en los pies.

Dicha enfermedad se puede clasificar de la siguiente forma; la diabetes que provoca a corto, mediano o largo plazo alteraciones de los nervios periféricos o bien de las arterias, conocida como primaria, la cual no es consecuencia de otras enfermedades del páncreas, a diferencia de un paciente que es operado y a su vez al extraer el páncreas, se hace diabético (Diabetes secundaria).

Cuando una persona no produce insulina o bien la insulina que producen es químicamente de mala calidad y no funciona, hablamos de una Diabetes Insulino-Dependiente, y se requerirá para vivir de la aplicación diaria de Insulina. La insulina es una hormona que produce el organismo siendo la encargada de facilitar la entrada y utilización de los azúcares que comemos a las células del organismo.

Cuando la insulina es escasa o está ausente en un paciente diabético, los azúcares ingeridos en los alimentos, no son ingresados a las células y circulan libremente por la sangre, lo que provoca dos factores importantes que son la causa fundamental de las complicaciones de la diabetes:

1. Que los niveles de azúcar en la sangre aumenten considerablemente.
2. Que las células no tengan recursos para producir la energía suficiente para realizar sus funciones y nutrirse para vivir.

La diabetes no respeta ni edad, ni sexo, ni posición social, existen ciertas personas que tienen un mayor riesgo de tener la enfermedad, ya sea en forma latente, o bien, personas que en un momento de su vida, pueden desarrollar la diabetes en forma franca. Este grupo de personas, se han definido por los médicos como "PERSONAS DE ALTO RIESGO", y son sin lugar a dudas, personas que requieren atención, puesto que, se pueden someter a una serie de cuidados especiales, que harán que aunque en cierto momento sean diabéticos, retrasen en tiempo la aparición de graves complicaciones, o bien las complicaciones sean menos agresivas.

PROBLEMÁTICA

Pie Diabético

Para poder entender la problemática existente iniciemos con definir que es el Pie Diabético, el cual no es más que una alteración clínica de base etiopatogénica neuropática e inducida por la hiperglicemia mantenida, en la que con o sin coexistencia de isquemia, y previo desencadenante traumático, produce lesión y/o ulceración del pie.

La razón que hace de la diabetes un importante problema sanitario es la presentación de complicaciones. Cabe mencionar que:

- La mitad de las amputaciones de miembros inferiores realizadas son consecuencia de la diabetes.

Uno de los problemas más temidos, por lo que afecta a la calidad de vida de los diabéticos, es la aparición de úlceras en los pies de los diabéticos, como secuela de dos de las complicaciones crónicas más habituales de esta enfermedad, la neuropatía periférica y la insuficiencia vascular. La combinación de estos factores descritos, neuropatía, angiopatía, junto con el alto riesgo de infección y las presiones intrínseca y extrínseca debidas a las malformaciones óseas en los pies, constituyen los desencadenantes finales, del problema que en este momento nos ocupa, el pie diabético.

La prevalencia de úlceras varía según el sexo, edad y población desde el 2.4% hasta el 5.6%. Se sabe que al menos un 15% de los diabéticos padecerá durante su vida ulceraciones en el pie, igualmente se estima que alrededor de un 85% de los diabéticos que sufren amputaciones previamente han padecido una úlcera.

Las heridas menores pueden terminar siendo problemas que requieran cuidados de emergencia. En caso de diabéticos, una herida tan pequeña como una ampolla producida por el roce del zapato puede terminar causando mucho daño. La diabetes disminuye la perfusión y por lo tanto las heridas cicatrizan lentamente y si la herida no cicatriza, existe riesgo de infección y en los diabéticos las infecciones avanzan rápidamente.

Utilización de Plantillas.

Las plantillas son órtesis plantares que se colocan dentro del calzado y que pueden utilizarse para prevenir las úlceras en el pie. En los enfermos diabéticos tienen dos funciones básicas: repartir las cargas soportadas por el pie, distribuyéndolas sobre toda la planta y almohadillar el apoyo de las zonas donde éste es inadecuado.

El reparto de las cargas plantares es especialmente importante cuando existe pie cavo, en el que el apoyo se realiza exclusivamente en el talón y en el antepie.

Estas zonas están sometidas, lógicamente, a un aumento de presión de acuerdo con la expresión:

$$\text{Presión} = \text{Fuerza} / \text{Superficie}$$

Con la utilización de plantillas, se rellena la zona correspondiente a los arcos plantares interno y externo, consiguiendo un aumento de la superficie de apoyo y por tanto una disminución de la presión parcial soportada por cada centímetro cuadrado de la piel plantar.

El almohadillado plantar que proporciona la plantilla también tiene una función muy importante en las cabezas de los metatarsianos, por tratarse de una zona especialmente desprotegida.

Del mismo modo actúan sobre el borde externo del pie, cuando se trata de un pie supinado. En el Pié Diabético (PD) es frecuente observar una atrofia del almohadillado plantar. Esta atrofia se aprecia mejor en las zonas de la planta del pie, donde los huesos tienen una posición más superficial como ocurre en las cabezas de los metatarsianos y en la base y diáfisis del quinto metatarsiano.

Las plantillas deben estar fabricadas en material blando, con el objetivo de intentar sustituir la almohadilla plantar anatómica que se ha atrofiado.

La falta de movilidad de alguna o varias articulaciones del pié provoca cambios biomecánicos que dan lugar a alteraciones en el reparto de las cargas en la planta del pie. Al darse la movilidad de las articulaciones durante la marcha, es cuando fundamentalmente aparecen los cambios de presión que provocan las lesiones.

Análisis de Presión Plantar:

Existen dos técnicas para este estudio:

La plataforma dinamométrica, que consiste en una superficie de 0,5 metros cuadrados, con receptores de presión que captan aquellas ejercidas por la planta del pié al contactar con la misma, ya sea de forma estática o durante la marcha.

La plantilla dinamométrica, consiste en una plataforma equipada con sensores de presión, la cual se intercala entre la planta del pié y el zapato, para registrar las presiones plantares de las distintas zonas del pié, y por tanto, aquellas en las que existe riesgo de desarrollar una lesión. (**Figura 1**).



Figura 1. Equipo utilizado para el análisis de la presión plantar.

Toma de medidas para el diseño de la plantilla.

Un principio básico en la confección de plantillas en el PD es que estén fabricadas siempre a la medida, las cuales se tomarán con la ayuda de las siguientes técnicas:

- ***Molde de escayola:*** Con el enfermo en descarga (de pie), se coloca una venda de escayola envolviendo todo el pie hasta el tercio inferior de la pierna. Fraguada la escayola se retira el molde que se rellena de escayola líquida, obteniendo así el positivo sobre el que va a trabajar el técnico

ortopédico. Este sistema es ideal cuando el pie presenta una deformidad flexible que intentamos controlar con la plantilla.

- *Podograma*: La plantilla se elabora a partir de una huella del pie obtenida mediante podograma. Es la menos fiable de todas las técnicas que se utilizan para tomar medidas en la fabricación de plantillas y por tanto no es recomendable en el PD.
- *Caja de espuma*: Consiste en una caja que contiene espuma blanda de poliuretano. El enfermo coloca el pie sobre la espuma y mediante la descarga de todo el peso provoca la impresión del mismo.

Selección de materiales.

Según su dureza, las plantillas pueden clasificarse en rígidas, semirrígidas y blandas.

Plantillas rígidas: Se pueden fabricar en acero, aluminio o polímeros como el polipropileno, polietileno, laminado en resina o plexidur. Tienen la ventaja de que son muy resistentes al uso.

Plantillas semirrígidas: Se fabrican con corcho; son muy útiles para descargar las zonas correspondientes a las cabezas de los metatarsianos, mediante un relleno de los arcos interno y externo del pie y una pelota retrocapital. Su principal inconveniente radica en la falta de almohadillado de estas zonas.

Plantillas blandas: Se fabrican en polímeros suaves como pelite o plastozote o bien en siliconas. Estos materiales, además de conseguir un buen almohadillado de toda la planta del pie, permiten absorber la fuerza del impacto que se produce durante la marcha. El inconveniente es que pierden su eficacia a los pocos meses de su utilización siendo necesario renovarlas con frecuencia.

Prescripción

Para que el técnico ortopédico pueda fabricar una plantilla correctamente, la prescripción debe incluir un diagnóstico, además de los materiales a emplear en su fabricación, especificando si debe ser blanda, semirrígida o dura.

ANATOMIA DEL PIE

Biomecánica

Los elementos estructurales del pie al relacionarse entre sí determinan una serie de puntos de referencia, ejes, ángulos, planos, arcos, bóvedas, etc. (*Figura 2*). Lo más notorio del pie humano es la disposición que toman los elementos óseos formando arcos o bóvedas solución mecánica de gran eficacia para sostener el peso del cuerpo, tanto en posición estática como en marcha.

El pie en reposo, soportando el peso del cuerpo distribuye las fuerzas que se ejercen sobre él en tres puntos fundamentales, creando un triángulo que va desde el calcáneo hacia el primer y quinto metatarsiano.

En condiciones normales, estando el calcáneo en el mismo plano que los metatarsianos, del cuerpo se distribuye algo más del 50% sobre el talón. Pero cuando el pie se encuentra en un calzado con tacón que eleva el plano del talón, el peso se desplaza proporcionalmente hacia delante según la altura que exista entre el talón y el plano del suelo.



Figura. 2 Anatomía del pie, principales huesos que lo componen[3]

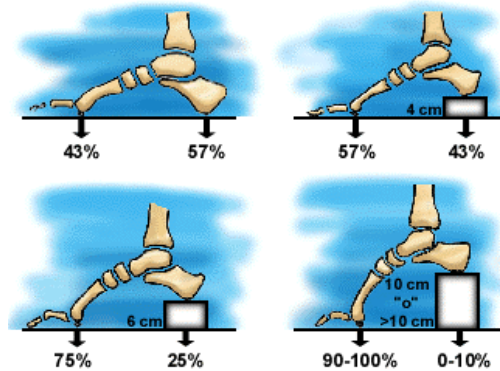


Figura 3. Distribución del peso en el pie [3]

Esta distribución del peso en los metatarsianos cambia durante la marcha. El segundo, tercero y cuarto metatarsianos también participan en la distribución del peso corporal (*Figura 3*).

Distribución de las fuerzas en el antepié.

Las cabezas de los cinco metatarsianos participan en la distribución del peso que le corresponde a la parte anterior del triángulo del pie; 2/6 de la mitad del peso corporal caen sobre la cabeza del primer metatarsiano (meta), y 1/6 sobre cada una de las restantes. (*Tabla 1*)

Tabla 1. Distribución de cargas en calcáneo y metatarsiano [3]

1/2	En el calcáneo
1/3	En la cabeza del primer meta.
1/3	En la cabeza del quinto meta

Bóvedas y arcos planares

Visto el pie lateralmente, los elementos óseos se disponen formando una serie de arcos o bóvedas: el más importante es el arco formado por las cabezas de los metatarsianos. En reposo, el peso cae sobre la primera y quinta cabeza, pero al momento de cargar el peso del cuerpo sobre el pie, el arco normalmente se aplanan y las cinco cabezas de los metatarsianos entran en contacto con el suelo.

EFECTO DE LA DIABETES EN EL PIE

Los principales efectos que esta enfermedad se manifiestan en el pie son:

Menor circulación: La diabetes puede causar engrosamiento de las paredes de los vasos sanguíneos, reduciendo la circulación en la parte baja de las piernas y el pie.

Daño en los nervios: Una de las complicaciones de la diabetes es la neuropatía (daño a los nervios), esto puede hacer que el paciente sienta el pie entumecido, sin sensibilidad al frío o calor, incluso al dolor, por lo que la persona puede hacerse una herida sin sentirlo.

Agentes que ayudan a mejorar la circulación en el pie diabético.

El masaje consiste en la manipulación de los tejidos blandos con finalidad terapéutica, higiénica y deportiva, mediante estiramientos y compresiones rítmicas.

Existen diferentes tipos:

General: Aplicación en todo el cuerpo dirigido a personas sanas.

Parcial: En una sola zona para resolver problemas específicos.

Estético: Aumenta el riego sanguíneo, tonifica el tejido epitelial, estimula el plexo nervioso, activa las glándulas sebáceas y sudoríparas, produciendo una liberación de las células muertas.

Terapéutico: Para la recuperación de dolencias físicas (bajo supervisión médica).

Mecánico: Mediante aparatos, si bien nunca se produce un resultado como con las manipulaciones manuales.

Características en su aplicación:

- 1.- Presión según el tipo y la cantidad del mismo.
- 2.- Ritmo regular y constante.
- 3.- Nunca debe ser doloroso (excepto el de fricción) ni producir equimosis.
- 4.- En la dirección de las fibras musculares.
- 5.- La presiones han de realizarse en dirección centrípeta (favorece el flujo venoso).
- 6.- Relajar las manos ajustando la presión a los relieves.
- 7.- Evitar prominencias óseas y articulaciones dolorosas.

Efectos fisiológicos:

- Actúa sobre las terminaciones nerviosas (estimulación de receptores).
- Mejora la circulación sanguínea (venosa y arterial).
- Mejora la circulación periférica (drenaje linfático y capilar)
- Se convierte en un mecanismo mecánico en las venas profundas por efecto de la presión.

Vibración:

Como principales efectos se tiene:

- Estimula la circulación
- Relajación muscular

Efectos de la vibración en la perfusión.

Una de las principales obsesiones y preocupaciones del hombre es, sin duda, el dolor físico. Por eso en el empeño por mitigarlo se han empleado todo tipo de elementos y terapias naturales y se han creado nuevas tecnologías para atenuarlo.

Para el funcionamiento óptimo del organismo las células realizan movimientos oscilatorios, si se detienen esos movimientos, las células no se nutren desencadenando procesos inflamatorios y dolorosos. Pues bien, dicho movimiento constante produce una vibración a una determinada frecuencia: 400 Hertz.

La vibración no debe quedarse en la superficie sino que debe penetrar hasta 6 centímetros en el tejido orgánico. Es decir, hasta el interior de las articulaciones, huesos y tendones. De esa manera la acción de las ondas activa el movimiento de las células, estimula su regeneración y acelera el proceso de curación del cuerpo.

Además, paralelamente, la vibración inducida estimula también los centros de acupuntura y mediante ellos, como es conocido, se pueden tratar múltiples dolencias. Es decir, las ondas potencian la propia capacidad autocurativa del cuerpo mediante un masaje profundo, suave y agradable.

Los efectos terapéuticos constatados incluyen una mejora de la circulación sanguínea y linfática, el alivio de dolores crónicos, la relajación de los músculos, la mejora del suministro de oxígeno a las células del organismo y un incremento general de energía. Asimismo, coadyuva a adelgazar, a rejuvenecer la piel, a aliviar el estrés y a obtener una sensación de bienestar general.

DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTILLA.

Para diseñar un dispositivo que pueda ser capaz de dar mejoras a pacientes con diabetes se parte de la necesidad que tienen los pacientes de contar con calzado adecuado o al menos con las partes esenciales, en este caso se diseña una plantilla que cuenta con los requerimientos mecánicos y terapéuticos necesarios para los pacientes.

El diseño y la simulación mecánica de la plantilla se realiza mediante el Método del Elemento Finito utilizando el software de Unigraphics; a continuación se muestran la distribución de las cargas y desplazamientos, sobre dos diferentes materiales que se proponen para su fabricación con lo cual se proporciona el confort necesario para el pie diabético, se utilizan estos materiales ya que tienen mayor durabilidad y son los más comunes en el mercado.

Consideraciones en el diseño:

Plantilla

Datos:

Individuo de 80 Kg. de peso.

Carga en la región de los metatarsianos considerando que se concentra ahí el 43% del peso corporal de la persona, es decir 34.4 Kg.

Carga en la región del calcáneo, considerando que ahí se concentra el 57% del peso corporal de la persona, 45.6 Kg.

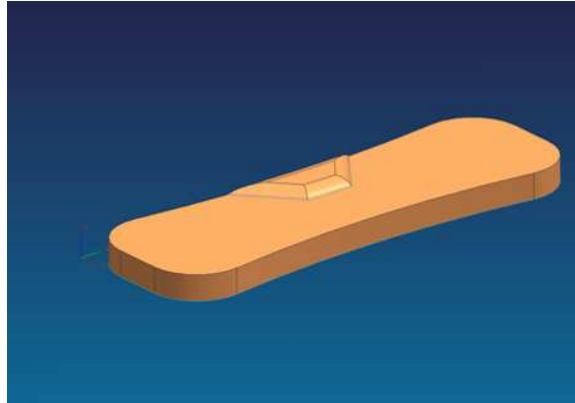


Figura 4. Plantilla

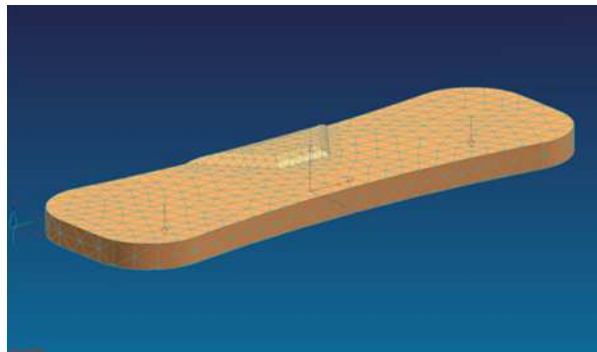


Figura 5. Mallado: para la realización del análisis

Los materiales que se utilizaron para este análisis son dos; Poliuretano suave y polietileno de acuerdo a sus propiedades, las cuales son las más adecuadas para el funcionamiento de la plantilla de acuerdo a las necesidades requeridas para un paciente con pie diabético.

Poliuretano Suave.

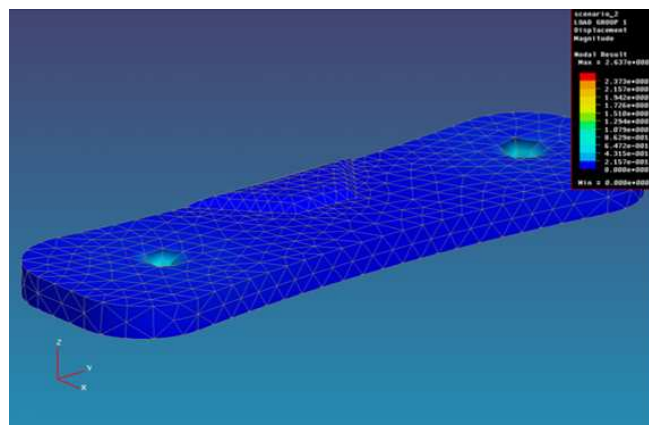


Figura 6. Gráfica de desplazamientos: aplicando las cargas, con los valores en los lugares antes citados. Se pueden apreciar los valores tanto máximo (2.64mm), como mínimo, es decir el material se esta deformando a partir del nivel superior de la plantilla.

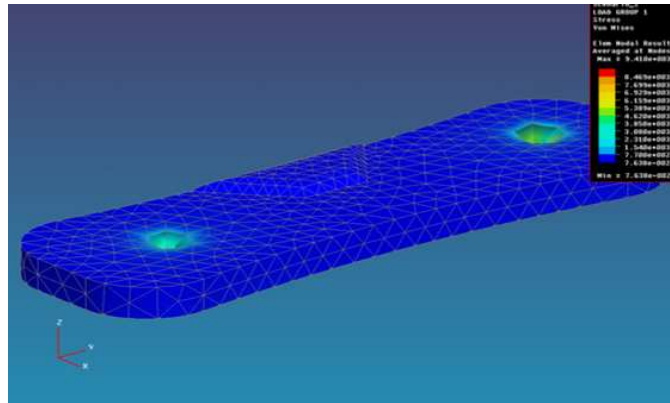


Figura 7. Gráfica de esfuerzos: Se aprecian tanto el valor máximo (3.41 KPa) y mínimos de presiones a los cuales se puede llegar, en presencia de esas cargas.

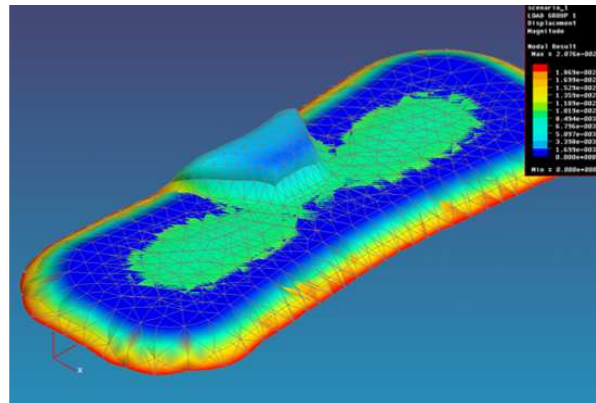


Figura 8. Gráfica de desplazamientos con distribución de presiones en toda la superficie superior. Se aprecia un desplazamiento máximo de .02 mm Material utilizado: poliuretano.

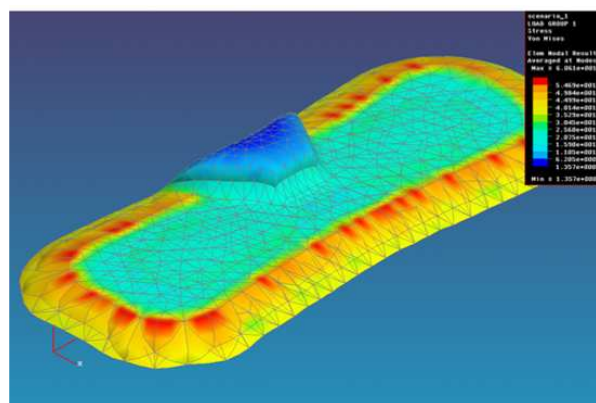


Figura 9. Gráfica de esfuerzos. Se aprecia un esfuerzo máximo de 60.41 Pa

Polietileno

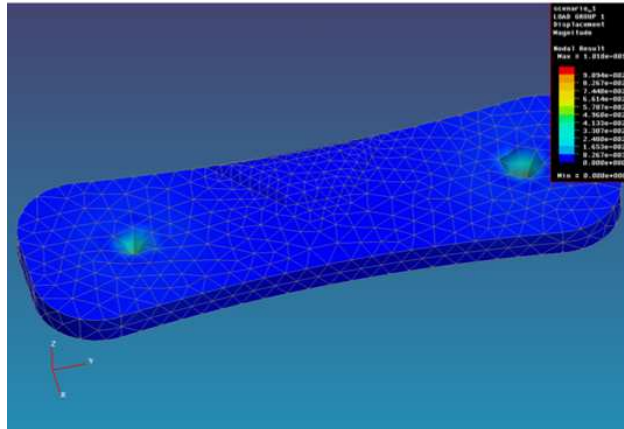


Figura 10. Gráfica de desplazamientos. Desplazamiento máximo 0.1 mm

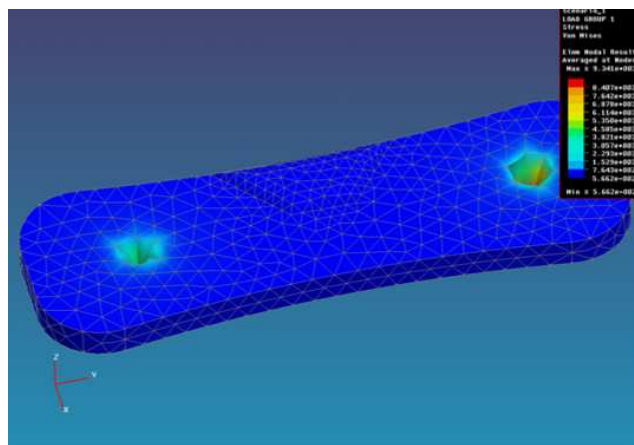


Figura 11. Gráfica de esfuerzos: presión máxima 9.341 KPa.

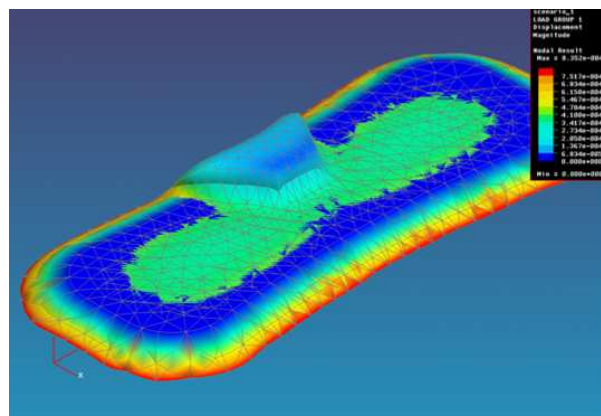


Figura 12. Gráfica de desplazamiento con distribución de presiones. Material utilizado: polietileno. Desplazamiento máximo de .0008 mm

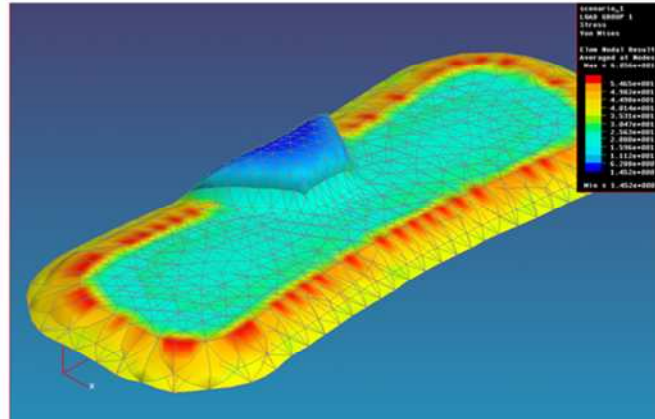


Figura 13. Gráfica de esfuerzos. Se puede apreciar que el esfuerzo máximo es de 60.56 Pa.

Vibración

Una vez realizado el diseño y el análisis comparativo de la plantilla el siguiente paso es mostrar la propuesta del diseño electrónico, que contribuirá con una vibración en la región del arco plantar ayudando a una mejor circulación sanguínea y tratando así de disminuir lesiones.

Se propone un motor DC mediante una resistencia variable conectada a un transistor. Si bien este sistema funciona, genera gran cantidad de calor y pérdidas de potencia.

Con este simple circuito se elimina ese problema controlando la velocidad de dicho motor mediante la modulación por ancho de pulso.

Cuando más ancho es el pulso, mayor es la velocidad del motor y viceversa.

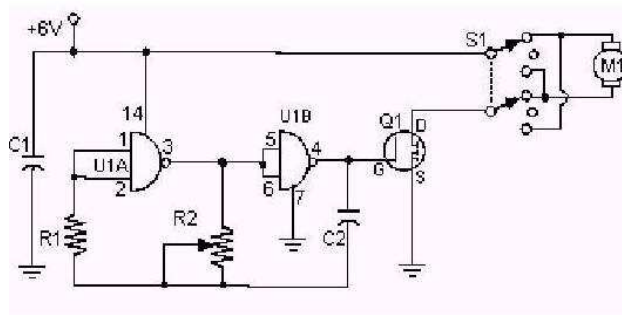


Figura 14. Esquema Circuito del Motor

Materiales que componen el motor:

- R1 1 1 Meg 1/4W Resistor
- R2 1 100K preset lineal
- C1 1 0.1uF 25V Capacitor cerámico

C2 1 0.01uF 25V Ceramic Disc Capacitor
Q1 1 IRF511 MOSFET IRF620
U1 1 4011 CMOS NAND Gate
S1 1 DPDT Switch
M1 1 Motor (ver Notas)

Notas

1. R2 Ajusta la frecuencia del oscilador y por lo tanto la velocidad del motor M1.
2. M1 puede ser cualquier motor DC que opere a partir de los 6v y no consuma mas allá de la corriente soportada por Q1. El voltaje puede ser incrementado conectando un voltaje más elevado directamente al switch S1 en lugar de usar los 6v que alimentan al circuito.

Se requiere que las vibraciones estén dentro del rango de 0 a 400 Hz. Esto se logra colocando un contrapeso en el eje de un mini motor de manera que las vibraciones se transmitan hacia la plantilla y al pie del paciente lo que nos requiere un valor de 24000 rpm.

Teniendo las características del motor que dé esa velocidad y además que sea pequeño, y de bajo consumo de corriente, se sugiere la utilización del siguiente modelo:



Figura 15. Motor propuesto que cumple con los requerimientos solicitados.

Características nominales:

- Velocidad sin carga a 3V: 19,300rpm
- Sus dimensiones son: 25.1 x 20.1mm,
- Peso: 17.0 grs.

Lo que nos da un aproximado de 322 Hz. En la frecuencia de vibraciones proporcionadas por el motor, la amplitud de las vibraciones es comparable a las de un vibrador de teléfono celular.

Con estas vibraciones y el diseño de la plantilla proponemos este dispositivo basado en el masaje terapéutico a pacientes que padezcan pie diabético, con el objetivo de estimular la circulación sanguínea.

CONCLUSIONES.

Se presenta un análisis comparativo entre dos de los principales materiales empleados en la fabricaciones de plantillas, en donde se hace referencia a cargas concentradas y cargas distribuidas ante tales condiciones y después de realizarse la simulación mediante Unigraphics, de los materiales propuestos, el poliuretano es el que se comporta mejor mecánicamente, ya que presenta valores de esfuerzos más bajos en relación con el polipropileno y por lo tanto desplazamientos mayores en relación con el mismo. El trabajo aporta la idea de poder diseñar mediante la simulación mecánica de los materiales, para poder predecir su comportamiento, además de agregar el efecto de la vibración al mismo, con la finalidad de reducir las lesiones ocasionadas por diabetes en los pies; por último cabe señalar que es necesario aplicarlo a pacientes para determinar su verdadero grado de efectividad.

AGRADECIMIENTOS.

Se agradece a el Ing. Florencio Erik Valencia Arelio, al Ing. Leonel Reyes Rosales a la Dra. Bertha Prieto y al Dr. Carlos Barquín Puglia, quienes aportaron tiempo y conocimientos para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS.

1. Valdez S. Benjamín, et. al., “Biomateriales para la Rehabilitación del Cuerpo Humano”, Diciembre 2005
2. Guyard, Jean-Claude ,“Manual práctico de Kinesiología” , Barcelona Paidotribo, 2002
3. Nordin, Margareta et. al., “Biomecánica Básica del Sistema Músculo-Esquelético”, Ed. Mc Graw-Hill Interamericana, 2004.
4. “Biomecánica” Instituto de Ingeniería Biomédica, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
5. MedlinePlus: Enciclopedia Médica en Español, www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish.
6. Source for Materials Information, Material Property Data. www.matweb.com