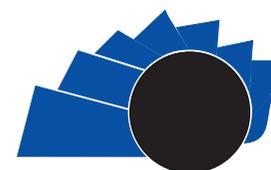


UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele>

Visión Electrónica

VISIÓN DE CASO

Simulación de la presión plantar en adultos mayores

Simulation of the plantar pressure in elderly people

Carlos Andrés Jurado¹, Luz Helena Camargo², Esperanza Camargo³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 13/07/2018

Recibido: 07/08/2018

Aceptado: 01/10/2018

Palabras clave:

Adulto mayor

Elementos finitos

Marcha humana

Presión plantar

RESUMEN

Comprender el comportamiento de la presión plantar en adultos mayores y los factores que influyan sobre la misma es de interés considerando el acelerado envejecimiento de la población. En este trabajo se realizó una simulación 3D del pie humano durante la marcha utilizando el método de los elementos finitos, para el estudio se utilizaron los datos de varios adultos mayores, el promedio nacional de adultos mayores y un individuo joven como control. Se obtuvo la presión pico y el área de contacto, encontrando que existen parámetros intrínsecos que modifican la huella plantar en un adulto mayor, como el peso y la estatura, a mayor peso mayor presión pico, y a mayor estatura menor región de contacto. Los hombres presentan mayor área de contacto durante la marcha que las mujeres. Este estudio encontró valores de presión pico promedio en los adultos mayores, $7,325 \pm 3,97$ psi en la fase de apoyo de talón, $14,25 \pm 1,60$ psi en la fase de transferencia de carga y $16 \pm 7,77$ psi en la fase de despegue de talón.

Open access

**Keywords:**

Elder

Finite elements

Human march

Plantar pressure

ABSTRACT

To understand the behavior of the plantar pressure in elderly people, and the factors that influence on it, this is of interest to several researchers, due to the accelerated aging of the population and the consequences that this phenomenon carries. In this work, a simulation in 3D of the human foot has been done during the march, using the finite elements method. This study used the data of several elders, the national average of elders and a young individual as control. The peak pressure and the contact area were obtained, finding the existence of intrinsic parameters which modified the footprint of an elder, such as the weight and height; the greater weight, the greater peak pressure, and the greater height, the lower contact region. Men, unlike women, present the major contact area during the march. This study found values of average peak pressure in elders, $7,325 \pm 3,97$ psi in the heel support stage, $14,25 \pm 1,60$ psi in the charge transference stage and $16 \pm 7,77$ psi in the takeoff stage of the heel.

¹ Ingeniero Electrónico, Magister en Ingeniería Biomédica. Grupo de Investigación Ingeniería y Nanotecnología para la Vida (INVID). Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: cajurado@correoudistrital.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3133-1465>

² Lic. En Biología, Especialista en Bioingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. MSc. En Ingeniería Biomédica, Universidad Nacional de Colombia. Grupo de Investigación Ingeniería y Nanotecnología para la Vida (INVID). Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo electrónico: lhcarnagoc@udistrital.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3416-018X>

³ Ingeniera en Control electrónico e Instrumentación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Especialista en Instrumentación Electrónica, Universidad Santo Tomás, Colombia. PhD. En Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, adscrita al Proyecto Curricular de Tecnología Electrónica y directora del Grupo de investigación DIGITI (Sistemas Digitales Inteligentes) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo electrónico: espe_camargo@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6320-4049>

1. Introducción

Uno de los principales fenómenos que se vive en la actualidad a nivel global es el acelerado envejecimiento de la población mundial. Según la organización mundial de la salud entre 2015 y 2050 la proporción de la población del mundo mayor de 60 años se multiplicara casi por dos, pasando del 12% al 22% [1]; este fenómeno se debe en parte a que un país en desarrollo como Colombia se nutre de los constantes avances científicos y tecnológicos de los países desarrollados, y contrario a lo que ocurre en estas naciones, en Colombia esto ha generado una prolongación de la vida del ser humano, además a esto se le suman los programas de control de natalidad lo que genera como resultado una modificación importante en la composición etaria de la población [2]. Según el ministerio de salud en el año 2005 la esperanza de vida de los hombres a los 65 años de edad con respecto al año 1993 aumento en 2.9 años, mientras que para las mujeres a los 60 años la esperanza de vida ascendió en 3.5 años [3].

A medida que una persona se vuelve mayor, la adaptación cotidiana al mundo se va complicando cada vez más; la lentitud en los reflejos, la menor movilidad, la disminución de la agudeza visual y auditiva y otros factores hacen que en edades avanzadas una persona sea más susceptible de sufrir accidentes y que en caso de que ocurran estos sean de mayor gravedad [4].

El grupo de población mayormente afectado por la alta tasa de lesiones accidentales corresponde con personas de 80 años o más, seguido por el grupo de personas entre 75 y 79 años. Estos comportamientos han encendido las alarmas de las autoridades sanitarias del país, sin embargo, se considera que el 98% de estos accidentes pueden ser previsible y solo el 2% se encuentran fuera del control humano. Una manera efectiva de prevenir accidentes como estos es analizando la presión plantar de la persona, esto con el fin de prevenir sobre posibles lesiones que conlleven a caídas accidentales o sobre algún problema que pueda tener la persona con sus pies.

1.1. Presión Plantar

La presión plantar de una persona proporciona una forma válida de analizar la estructura del pie, siendo el fiel reflejo del estado de las estructuras anatómicas de la persona. La presión plantar de una

persona puede variar dependiendo de qué tan activa sea la persona en su vida diaria o si esta práctica algún deporte en específico [5].

Existen dos tipos de técnicas de valoración de las Presión Plantar: las estáticas, en las que las medidas se obtienen con el paciente en bipedestación y las cinéticas, en las que las mediciones se realizan durante el ciclo de la marcha.

1.2. Técnicas estáticas

Existen 3 tipos específicos de técnicas cinéticas las cuales son:

- Pedigrafía: se obtiene una imagen de la huella plantar tras impregnar la superficie plantar con una sustancia grasa y de color e imprimir esa huella sobre una hoja de papel.
- Fotopodograma: se trata de la misma técnica, pero realizada e impresa sobre papel fotográfico.
- Podoscopio: los pies del paciente se apoyan sobre un sistema óptico construido por una superficie transparente. La imagen de la huella plantar se aprecia a través de la otra cara de la superficie transparente reflejada en un sistema de espejos iluminados.

1.3. Técnicas cinéticas

Se basan en el uso de transductores o sensores de presión. Estos sensores pueden estar ubicados en diferentes posiciones ya sea entre el calzado y el suelo, entre el pie y el suelo o entre el pie y el calzado; en este último caso se aplican sensores directamente sobre la superficie plantar o se los inserta en una plantilla instrumentada.

1.4. Áreas topográficas de interés

El estudio de las Presión Plantar se realiza sobre diferentes zonas de apoyo del pie para realizar un mapa de las mismas. Ese "mapeado" difiere según los autores, pero se estima que determinadas zonas del pie son de interés, en la Figura 1 se observan las áreas topográficas de interés presurométrico en el pie [6].

En este trabajo, se simuló la presión plantar de un adulto mayor perteneciente a la población colombiana, buscando lograr una ampliación en el conocimiento acerca del comportamiento de esta y los factores que influyan sobre la misma.

2. Metodología

2.1. Población de estudio

En la Tabla 1 se encuentran las características de las poblaciones de estudio para las que se realizó el análisis de la presión plantar.

2.2. Propiedades geométricas del modelo de los elementos finitos

El primer paso fue modelar el pie humano, por lo tanto, se buscó en una base de datos especializada en el diseño de figuras en 3D, el modelo CAD de un pie humano con el cual se trabajaron todas las simulaciones. El modelo se lo puede apreciar en la Figura 2.

Se simuló la presión plantar del pie en el momento que tiene contacto con el suelo, para dicho fin se simuló un bloque de concreto el cual cumplirá la función del suelo.

2.3. Materiales y ecuaciones de dominio

Se consideró el piso construido en material lineal e isotrópico, mientras que al pie se le asignó un material hiper-elástico para poder representar el comportamiento altamente no lineal que los tejidos blandos de este poseen. La ecuación 1 es la que mejor representa este comportamiento y es una ecuación polinómica.

Figura 1. Áreas topográficas de interés presurométrico en el pie, en la gráfica PrD (primer metatarsiano), RD (resto de dedos), CIM (cabeza de primer metatarsiano), MM (cabeza de segundo, tercero y cuarto metatarsiano), C5M (cabeza del quinto metatarsiano), MU (medio pie interno), MC (medio pie central), ME (medio pie externo), TI (talón interno), TC (talón central), TE (talón externo) [6]

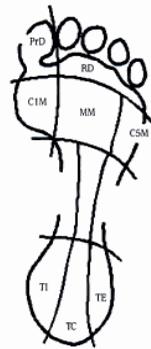
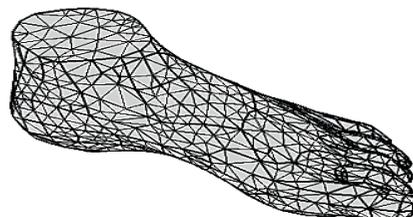


Tabla 1. Población de estudio.

Características	Individuo control	Adulto mayor	Grupo de adultos mayores	Promedio masculino nacional	Promedio femenino nacional
Sexo (H/M)	1/10	0/1	1/11	(2'000.214/0)	(0/2'419.233)
Edad (años)	26	90	71,25	71,03[7]	71,51[7]
Peso Kilogramos)	70	54	64,4	67[8]	61[8]
Altura (m)	1,74	1,55	1,55	1,66[9]	1,54[9]
IMC (Kg/m ²)	23,12	22,48	26,8	24,31	25,72

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Modelo 3D del pie humano [10].



$$W(I_1, I_2, J) = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + \dots \quad (1)$$

$$C_{11}(I_1 - 3) \cdot (I_2 - 3) + C_{02}(I_2 - 3)^2 + \frac{1}{D_1}(J - 1)^2 + \frac{1}{D_2}(J - 1)^4$$

Donde:

c_{ij} y D_k son constantes del material

I_1, I_2 y J son las tres invariantes de deformación del material modificadas.

W es la energía de deformación por unidad de volumen

Las constantes para la ecuación mostrada anteriormente se encuentran en la Tabla 2:

Tabla 2. Constantes de la ecuación polinómica. [11]

Constante	Valor
$C_{10}(\text{N}/\text{m}^2)$	85550
$C_{01}(\text{N}/\text{m}^2)$	-58400
$C_{20}(\text{N}/\text{m}^2)$	38920
$C_{11}(\text{N}/\text{m}^2)$	-23100
$C_{02}(\text{N}/\text{m}^2)$	8484
$D_1(\text{N}/\text{m}^2)$	0.4370e-5
$D_2(\text{N}/\text{m}^2)$	0.6811e-6

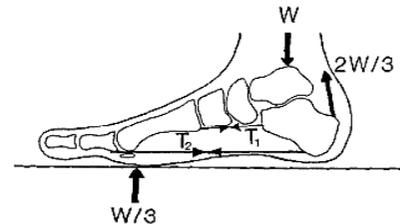
2.4. Condiciones limitantes

Las condiciones limitantes del modelo se refieren a aquellas condiciones adicionales que se le deben dar al modelo de los elementos finitos para que este tenga un funcionamiento adecuado.

2.4.1. Modelado de la fascia plantar en 2D

La fascia plantar es una banda de tejido muy gruesa que cubre los huesos en la base del pie y se extiende desde el talón hasta los huesos de la bola del pie, esta actúa como una banda de caucho que crea la tensión que mantiene el arco del pie [12]; además la fascia plantar se encarga de soportar las fuerzas cuando el pie debe soportar el peso del cuerpo. Para este trabajo la fascia plantar fue geoméricamente simplificada y modelada mediante fuerzas longitudinales equivalentes (ver Figura 3).

Figura 3. Modelo 2D de la fascia plantar [12].



2.4.2. Contacto par

Se estableció un contacto par en COMSOL con el fin de establecer el contacto del pie con el piso. Cabe resaltar que no se tuvo en cuenta ningún tipo de fricción o resistencia y que el pie y el piso no están en contacto en el momento que inicia la simulación.

2.5. Mallado

El mallado del modelo de los elementos finitos se hizo dependiendo de la fase de la marcha que se estuviera evaluando; la malla abarcara más elementos en lugares donde se presume que existirá distribución de presión, esto con el fin de que el sistema pueda procesar los datos más eficientemente. Esta distribución se la encuentra en las Figura 4.

Figura 4. Mallado del modelo, de izquierda a derecha: apoyo de talón, transferencia de carga y despegue de talón.



Fuente: elaboración propia.

2.6. Configuraciones del solucionador

Existen 3 solucionadores directos usados en COMSOL los cuales son MUMPS, PARDISO y SPOOLES, estos solucionadores llegaran a la misma respuesta para problemas correctamente limitados, la diferencia es la velocidad de respuesta que ofrecen, siendo PARDISO el solucionador más rápido y SPOOLES el más lento esto debido a la forma en cómo trabajan con el procesador. Para este trabajo se eligió el solucionador PARDISO sin embargo fue necesario establecer algunas configuraciones para que el trabajo funcione correctamente.

3. Resultados

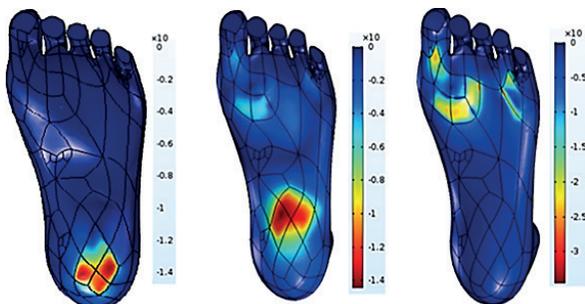
A continuación, se presentan las simulaciones obtenidas de los 4 grupos de poblaciones de estudio, estas simulaciones se llevaron a cabo usando el método de los elementos finitos, usando el programa COMSOL para este fin. Cabe resaltar que las presiones se muestran en libras por pulgada cuadrada o psi's (pounds-force per square inch).

3.1. Presión de la huella plantar

En la Figura 5. muestra la distribución de la presión en la huella plantar del individuo de control. En esta se observan picos de presión elevados con respecto a las demás simulaciones, esto se debe a que los adolescentes y adultos jóvenes en general caminan con ligereza, flexibilidad y agilidad cualidades que contribuyen al aumento de la presión pico al caminar según lo expresado en la investigación "Análisis de la marcha. Factores moduladores" [13]. Como se analizó en el capítulo 2 la velocidad es otro factor que influye en la marcha; de acuerdo con [14] una mayor velocidad al caminar resulta en una máxima presión pico y promedio principalmente en la región del talón.

Figura 5. Presión plantar del individuo control.

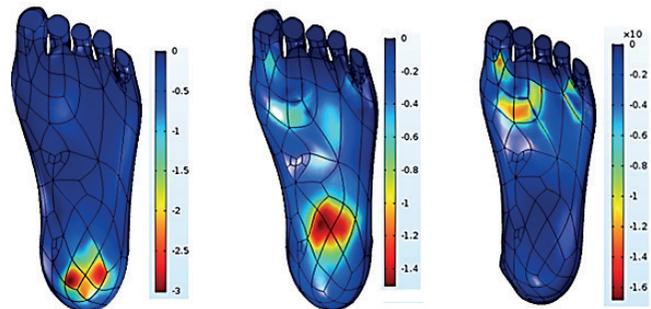
De izquierda a derecha: Apoyo de talón, Transferencia de carga y Despegue de talón.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 6 se observa la presión plantar del adulto mayor evaluado [15], esta persona presenta falta de equilibrio al caminar. En esta simulación se nota una presión plantar menor que la del sujeto control, sin embargo, en la fase de despegue de talón la presión aumenta, este fenómeno concuerda con lo expresado por Bosch, y col. [16], el adulto mayor evaluado en este caso tenía 90 años de edad. Se observa también un claro aumento del área de contacto en la fase de transición, lo cual se puede explicar con claridad en la investigación realizada por los autores [17] donde se remarca que los individuos con menor estatura presentan porcentajes de apoyo mayor debido que gastan más tiempo en la fase de transición.

Figura 6. Presión Plantar del adulto mayor evaluado: De izquierda a derecha: apoyo de talón, transferencia de carga y despegue de talón.

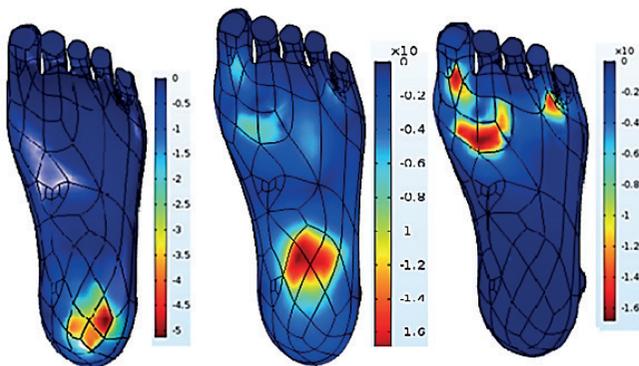


Fuente: elaboración propia.

En la Figura 7. se observa la presión plantar del grupo de adultos mayores, la distribución de peso en el grupo de adultos mayores varía con respecto al individuo control, en la fase de apoyo de talón los adultos mayores tienden a apoyar su peso hacia el lado izquierdo del pie, este mismo patrón de distribución se observa en la fase de transferencia.

Se tiene que en esta simulación la presión en la huella plantar es menor con respecto al sujeto de control, eso concuerda con el análisis realizado en el trabajo [18], el cual dice que los adultos mayores tienden a realizar menos fuerza y presión en ciertas regiones del pie. El peso empieza a influir también en la presión plantar ya que con la edad el peso disminuye y según los estudios realizados por los autores [19] y [20], la presión plantar es mayor en sujetos con mayor peso en comparación a otros sujetos de menor peso.

Figura 7. Presión Plantar del grupo de adultos mayores. De izquierda a derecha: Apoyo de talón, Transferencia de carga y Despegue de talón.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8 se encuentra la distribución de la presión plantar del promedio nacional de adultos mayores masculinos evaluado, se evidencia una mapa de presión plantar similar a la del grupo de adultos mayores debido a que los datos de entrada de estos 2 grupos son similares sin embargo se tienen mayores presiones pico en el promedio nacional masculino evaluado debido a que este grupo presenta mayor peso y altura promedio y de acuerdo a la teoría estudiada en “An insight into the plantar pressure distribution of the foot in clinical practice: Narrative review” [21] estos factores conllevan a una mayor presión pico en la huella plantar.

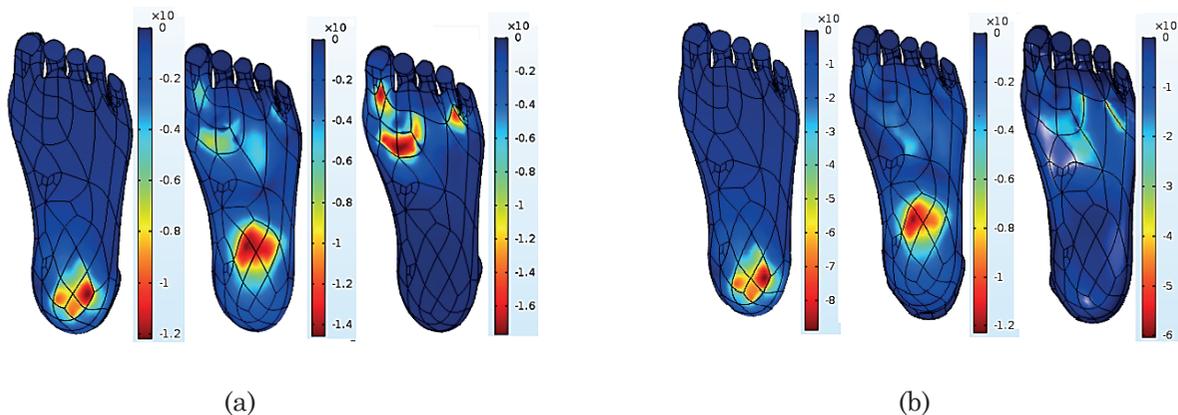
La presión plantar del promedio nacional femenino, en esta situación se tiene una presión

plantar diferente a la del promedio masculino, esto es debido a que los datos de entrada varían significativamente, sin embargo, un análisis más detallado permite ver que el peso de un hombre es mayor al de una mujer por lo tanto la presión pico en el pie de los primeros será mayor [22]. Remarcan en su investigación que las áreas de contacto del pie durante la marcha de la persona son mayores en mujeres que en hombres, además en la investigación “Influencia de la estatura en el patrón de la marcha de hombres y mujeres” se remarca que una persona de menor estatura se demorara más tiempo en la fase de doble apoyo que una de mayor estatura, lo cual explica el porqué del cambio en los resultados con respecto al promedio nacional masculino.

3.2. Presión y área de contacto durante las fases de la marcha

En la Tabla 3 se observa la presión pico de la población de estudio durante la marcha expresada en psi's. Como se esperaba según lo expuesto por [13] la agilidad, ligereza y confianza de los jóvenes al caminar conlleva a que estos tengan una mayor presión pico en su huella plantar que un adulto mayor. Sin embargo, se observa una similitud en la presión pico durante la transferencia de carga, lo cual es un fenómeno esperado basándose en la investigación “From “first”, to “last” steps in life-pressure patterns of three generations” [16] en la que se anuncia que la presión plantar puede aumentar en ciertas regiones del pie conforme avanza la edad de la persona.

Figura 8. Presión Plantar del promedio nacional de adultos mayores. De izquierda a derecha: Apoyo de talón, Transferencia de carga y Despegue de talón (a) masculino y (b) femenino.



Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 4 se encuentra el área de contacto durante las 3 fases de la marcha para la población de estudio, se observa que el sujeto de control fue el que tuvo una menor área de contacto a pesar de tener los mayores picos de presión en su marcha. En el área de mayor se observa en el adulto mayor en las fases de transferencia de carga y despegue de talón. Una

notación interesante es que el área de contacto con respecto al promedio nacional es mayor en hombres que en mujeres, lo cual concuerda con lo escrito en "Preliminary investigation of foot pressure distribution variation in men and women adults while standing" [22] donde se dice que el área de contacto durante la marcha es mayor en hombres que en mujeres.

Tabla 3. Presión pico en psi de la población de estudio durante 3 fases de la marcha.

Presión pico en psi					
Fase de la marcha	Individuo control	Adulto mayor	Grupo de adultos mayores	Promedio masculino nacional	Promedio femenino nacional
Apoyo de talón	14	3	5,3	12	9
Transferencia de carga	14,3	14,5	16,2	14	12,3
Despegue de talón	34	25	16,5	16,5	8

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Área de contacto en cm de la población de estudio durante 3 fases de la marcha.

Área de contacto en cm^2					
Fase de la marcha	Individuo control	Adulto mayor	Grupo de adultos mayores	Promedio masculino nacional	Promedio femenino nacional
Apoyo de talón	12,6	17,17	15,33	19,33	15,65
Transferencia de carga	39,49	51,47	46,55	43,61	41,21
Despegue de talón	18,57	27,58	22,67	21,56	21,29

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

Con la implementación de la simulación se obtuvo la huella plantar y se logró analizar los parámetros de la presión plantar en la marcha de un adulto mayor con el fin de analizar sus características. Se obtuvo la presión pico y el área de contacto, encontrando que existen parámetros intrínsecos que modifican la huella plantar en un adulto mayor, como el peso y la estatura, se encontró que el grupo de adultos mayores con más peso es el promedio nacional masculino con un peso de 67 kilogramos presenta una presión promedio de 14,16 psi durante toda la marcha, la cual es mayor a la presión del resto de la población de estudio la cual es de 12,19 psi durante toda la marcha mostrando que a mayor peso mayor será la presión pico. Se encontró que el adulto mayor evaluado con una estatura de 1,55 cm tiene un área de contacto promedio de 32,07 cm^2 la cual es mayor a la del promedio nacional masculino de adultos mayores que con una estatura de 1,66cm tiene un área de contacto promedio de 29,16 cm^2 lo cual indica que a mayor estatura menor región de contacto.

La simulación del comportamiento de la presión plantar empleando el método de los elementos finitos permitió analizar las características de la presión plantar en adultos mayores, se obtuvo que la presión plantar media durante toda la marcha del promedio nacional masculino evaluado es de 14,16 psi mientras que la presión plantar media del promedio nacional femenino evaluado es de 9,76 psi, obteniendo que la presión plantar en los hombres es mayor que la presión plantar de las mujeres, se observa que el adulto mayor evaluado con una edad de 90 años y un peso de 54 kilogramos tiene una presión pico de 3 psi durante la fase de apoyo de talón, 14,5 psi durante la fase de transferencia de carga y 25 psi durante la fase de despegue de talón, lo cual indica que debido a su peso el adulto mayor evaluado tiene menor presión pico durante las 2 primeras fases de la marcha que el resto de la población de adultos mayores autores, este comportamiento es expresado por [19] y [20] en sus investigaciones. Sin embargo, durante la última fase el adulto mayor evaluado eleva su presión pico a un nivel mayor que el resto de la población durante esa fase, lo cual indica que a medida que la edad avanza el adulto mayor aumenta su región en ciertas partes del pie y ciertas fases de la marcha tal lo cual

coincide con lo expresado por [16]. El hecho de que los resultados obtenidos en este trabajo sean fieles a los resultados esperados debido a investigaciones previas muestra la precisión de la simulación frente al problema planteado.

Con los resultados obtenidos en la simulación se encontró valores de presión pico promedio en los adultos mayores, los resultados fueron: $7,325 \pm 3,07$ *psi* en la fase de apoyo de talón, $14,25 \pm 1,60$ *psi* en la fase de transferencia de carga y $16 \pm 7,77$ *psi* en la fase de despegue de talón. También se encontró valores de área de contacto en los adultos mayores, los cuales fueron: $16,87 \pm 1,82$ *cm*² en la fase de apoyo de talón, $45,76 \pm 4,38$ *cm*² en la fase de transferencia de carga y $23,275 \pm 2,93$ *cm*² en la fase de despegue de talón. Encontrando que los adultos mayores aumentan la presión pico en sus pies a medida que transcurre el ciclo de la marcha y la vuelven a disminuir para iniciar el siguiente ciclo; a medida que aumenta la edad el aumento de presión en la última fase de la marcha puede ser bastante elevado lo cual puede generar algún tipo de riesgo al adulto mayor en cuestión. El área de contacto de los adultos mayores durante la marcha es mayor en la fase de transferencia de carga y menor en la fase de apoyo de talón, encontrando que entre más edad tenga la persona mayor será su región de contacto.

Se compararon los valores de la presión plantar en un grupo de adultos mayores obtenidos en un trabajo previo en el cual se obtuvo los siguientes resultados: 6 *psi* en la fase de apoyo de talón, 18 *psi* en la fase de transferencia de carga y 20 *psi* en la fase de despegue de talón. encontrando que se acerca al comportamiento de la presión plantar del promedio nacional masculino evaluado obtenido en este trabajo, el cual presenta los siguientes valores: 12 *psi* en la fase de apoyo de talón, 14 *psi* en la fase de transferencia de carga y 26,6 *psi* en la fase de despegue de talón. Lo que sugiere que la simulación se acerca a los datos obtenido para una población colombiana.

Referencias

- [1] Organización mundial de la salud “La salud mental y los adultos mayores” [En línea] Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs381/es>
- [2] E. Salas, “El Adulto Mayor y las Problemáticas Derivadas, un desafío para la educación” [En línea] Disponible en: https://www.gerontologia.uchile.cl/docs/emma_1.htm
- [3] Ministerio de la Protección Social. “Diagnóstico preliminar sobre personas mayores, dependencia y servicios sociales en Colombia” [En línea] Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/proteccion-social/Documents/Situacion%20Actual%20de%20las%20Personas%20adultas%20mayores.pdf>
- [4] C. Ballesteros, E. Escobar y L. Castro, “Guía para la prevención de accidentes en las personas mayores”. [En línea] Disponible en: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application/pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1202783161550&ssbinary=true>
- [5] J. Aguilera, J. Heredia, G. Peña. “Huella plantar, biomecánica del pie y del tobillo: propuesta de valoración–Salud y Fitness” [En línea] Disponible en: <https://g-se.com/es/salud-y-fitness/blog/huella-plantar-biomecanica-del-pie-y-del-tobillo-propuesta-de-valoracion>
- [6] I. Sánchez, A. Ferrero, J.J. Aguilar, J.M. Climent, J.A. Conejero, M.T. Flórez, A. Peña, R. Zambudio. “Manual SERMEF de rehabilitación y medicina física”, Bogotá D.C.: Editorial medica panamericana, 2008.
- [7] Ministerio de la protección social. (2013). “Envejecimiento demográfico, Colombia 1951-2020” [En línea] Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/Envejecimiento-demografico-Colombia-1951-2020.pdf>
- [8] E. País. (2017). “¿Eres el colombiano promedio?” [En línea] Disponible en: http://verne.elpais.com/verne/2016/04/19/articulo/1461079768_768006.html
- [9] A. Meisel, M. Vega. (2004). “La estatura de los colombianos: un ensayo de antropometría histórica”. [En línea] Disponible en: <http://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/3200>
- [10] W. Kim, A. Voloshin, (1995). “Role of plantar fascia in the load bearing capacity of the human foot” [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002192909400163X>

- [11] P. Franciosa, S. Gerbino, (2010). "From CT scan to plantar pressure map distribution of a 3D anatomic human foot" [En línea] Disponible en: <https://www.comsol.com/paper/from-ct-scan-to-plantar-pressure-map-distribution-of-a-3d-anatomic-human-foot-8867>
- [12] Medline Plus. "Fascia Plantar" [En línea] Disponible en: https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/19567.htm
- [13] S. Collado, F. Gómez, A. Álvarez, L. Rodríguez. "Análisis de la marcha. Factores moduladores" [En línea] Disponible en: <https://revistas.uax.es/index.php/biociencia/article/view/626/582>
- [14] J. Burnfield, C. Few, O. Mohamed, J. Perry, "The influence of walking speed and footwear on plantar pressures in older adults" [En línea] Disponible en: [https://www.clinbiomech.com/article/S0268-0033\(03\)00217-1/fulltext](https://www.clinbiomech.com/article/S0268-0033(03)00217-1/fulltext)
- [15] Y. Montaña, D. Monroy. "Evaluación de la presión plantar durante la marcha en el adulto mayor" (Trabajo de grado de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UD), Bogotá D.C., 2016.
- [16] K. Bosch, A. Nagel, L. Weigend, D. Rosenbaum, D. (2009). "From "first", to "last" steps in life—pressure patterns of three generations". *Clinical Biomechanics*, vol. 24, issue. 8, October 2009, pp. 676-681, <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.06.001>
- [17] J. Gómez, H. López de Subijana. "Influencia de la estatura en el patrón de la marcha de hombres y mujeres". [En línea] Disponible en: <http://www.revista-apunts.com/es/hemeroteca?article=1755&highlight=INFLUENCIA>
- [18] M. Hessert, M. Vyas, J. Leach, K. Hu, L. Lipsitz, V. Novak. "Foot pressure distribution during walking in young and old adults". *BMC Geriatrics*, vol. 5, n° 8, 2005, <https://doi.org/10.1186/1471-2318-5-8>
- [19] A. Hills, E. Hennig, M. McDonald, O. Bar-Or. "Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: a biomechanical analysis" [En línea] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/0801785>
- [20] M. Birtane, H. Tuna. "The evaluation of plantar pressure distribution in obese and non-obese adults". *Clinical Biomechanics*, vol. 19, issue. 10, December 2004, pp. 1055-1059, <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2004.07.008>
- [21] H. Deepashini, B. Omar, A. Paungmali, N. Amaramalar, H. Ohnmar, J. Leonard. "An insight into the plantar pressure distribution of the foot in clinical practice: Narrative review". *Polish Annals of medicine*, vol. 21, issue. 1, June 2014, pp. 51-56, <https://doi.org/10.1016/j.poamed.2014.03.003>
- [22] R. Periyasamy, A. Mishra, S. Anand, A. Ammini. "Preliminary investigation of foot pressure distribution variation in men and women adults while standing". *The foot*, vol. 21, issue. 3, September 2011, pp. 142-148, <https://doi.org/10.1016/j.foot.2011.03.001>