

La antropometría y la baropodometría como técnicas de caracterización del pie y herramientas que proporcionan criterios de ergonomía y confort en el diseño y fabricación de calzado: una revisión sistemática

Anthropometry and baropodometry as foot characterization techniques and tools that provide criteria for ergonomics and comfort in footwear design and manufacture: a systematic review

Lesly Lisbeth Gómez Echeverry¹, Sandra Milena Velásquez Restrepo², Patricia Castaño Rivera³, Sebastián Valderrama Mejía⁴, Madeleine Angélica Ruiz Molina⁵

¹Bioingeniera, Investigadora. ²Bioingeniera, Magíster en Ingeniería. Líder de Innovación y Desarrollo Tecnológico. ³PhD. Ciencia y Tecnología, materiales, Ingeniera de Materiales. Instructora e investigadora del área de diseño. ⁴Ingeniero Biomédico, Magister en Ciencia y Tecnología Opción Biomecánica. Instructor e investigador en Biomecánica. ⁵Diseñadora Industrial, Instructora e Investigadora del área de producción. ^{1,2,3,4,5} Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas, Itagiú, Antioquia - Colombia. E-mail: biomatic.sena@gmail.com

Recibido 25/10/2016
Aceptado 11/10/2017

Cite this article as: L. Gómez Echeverry, S. Velásquez Restrepo, P. Castaño-Rivera, S. Valderrama Mejía, M. Ruiz Molina "Anthropometry and baropodometry as foot characterisation techniques and tools that provide criteria for ergonomics and comfort in footwear design and manufacture: a systematic review", *Prospectiva*, Vol 16, N° 1, 7-17, 2018.

RESUMEN

La producción creciente de calzado y la competitividad ha llevado a los empresarios colombianos a fabricar zapatos con valor agregado. Para esto, los conceptos de ergonomía y confort son importantes. En este sentido, es necesario conocer las dimensiones del pie de la población objetivo para diseñar hormas, plantillas y suelas que se ajusten correctamente. La antropometría define estas dimensiones y su tecnología asociada es útil para hacer zapatos. Aun así, en Colombia se emplean las medidas del pie americano o europeo. Surge entonces el interés de revisar el estado de la caracterización del pie a nivel global y local y las tecnologías para realizarla. La búsqueda de información se hizo en bases de datos académicas, se identificaron las palabras claves y ecuaciones de búsqueda, se eligió y evaluó la información según su antigüedad y analizando la calidad de la metodología empleada en los estudios, su rigor científico y grado de análisis.

Como resultados, el análisis de las presiones plantares complementan los estudios antropométricos en el desarrollo de calzado, la tecnología 3D es actualmente la herramienta más usada en los estudios antropométricos y en Colombia así como en la mayoría de los países latinoamericanos los estudios antropométricos son pocos y desactualizados.

Palabras clave: Antropometría; Baropodometría; Horma; Calzado; Ergonomía; Confort; Biomecánica.

ABSTRACT

The increasing production of footwear and competitiveness has led the colombian businessmen to manufacture shoes with added value. To achieve this, the concepts of ergonomics and comfort play a significant role. To this effect, it is necessary to know the foot dimensions of the target audiences to design the lasts, sole pads and soles that fit correctly. Anthropometry defines these dimensions and the associated technology is useful to manufacture shoes. Nevertheless, colombian manufacturers use the dimensions provided by american and european standards. It calls for an evaluation of the state of the characterization process of the foot globally and locally, and the Disponible in technologies to perform it. The literature review was performed through exhaustive search in academic databases, where keywords and search formulas were identified. The information was classified according to the publication date, the methodology used in each work, the scientific rigor and the depth of the analysis. The review led to identify that the sole pressure analysis complement the anthropometric studies in the footwear development, 3D technology is currently the most used technology for anthropometric studies and that in Colombia, as in most latinamerican countries, the antropometric studies are few and outdated.

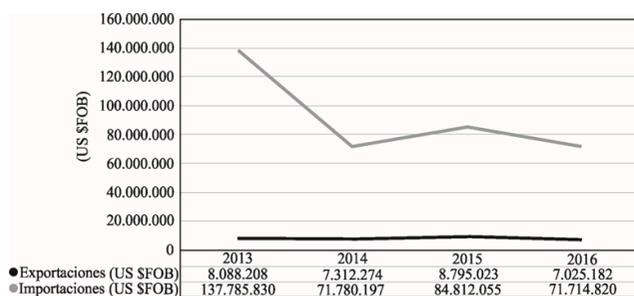
Key words: Anthropometry; Baropodometry; Shoe last; Footwear; Ergonomy; Comfort; Biomechanics.

1. INTRODUCCIÓN

El calzado es un importante sector de la economía colombiana. En los últimos años ha registrado un creciente reconocimiento que se puede observar, principalmente, en los clústeres especializados [1]. De acuerdo a la Asociación Colombiana de Industriales de Calzado, el Cuero y sus Manufacturas (ACICAM), durante los primeros 3 meses del 2016, el sector logró ventas al exterior por US \$59.951.688. La exportación de calzado y sus partes alcanzó los US \$7.025.182, lo que posiciona a Colombia en el cuarto puesto de la industria del calzado y cuero entre los países de Latinoamérica [2]. Sin embargo, las importaciones de calzado son elevadas y los productos llegan con precios altamente competitivos, lo que representa un reto para la industria [2].

Figura 1. Evolución de las exportaciones y las importaciones de calzado y sus partes, de enero a marzo del 2013 al 2016. Adaptación de [2].

Figure 1. Evolution of footwear and parts exports and imports from January to March of 2013 to 2016. Source: Adaptation of [2].



La variación de las exportaciones de calzado en Colombia en los últimos 4 años presenta una tendencia constante pero importante para la economía del sector (ver figura 1). Sin embargo, la brecha entre importaciones y exportaciones es significativa, posicionándose con más fuerza las primeras. Actualmente el sector debe enfrentar la fuerte competencia que representa el ingreso del calzado chino al país, que entrega productos más económicos, en cierta medida como consecuencia de la gran infraestructura y tecnificación que tiene el país asiático. El aumento en el intercambio comercial es un desafío para el sector del calzado, el cual puede mejorar sus índices de exportación y lograr un posicionamiento importante a nivel internacional si compete no sólo en precios, sino también por el valor agregado y diferenciador que desarrolle en sus productos [3].

Con el objetivo de incrementar los ingresos para el sector calzado, se debe buscar estrategias innovadoras en el mercado. El confort, el cual está relacionado con la salud y el bienestar de las personas, se puede considerar como un elemento de innovación con un impacto estratégico positivo en la comercialización de productos de uso cotidiano. En el calzado, el confort está estrechamente relacionado con la horma [4], porque define la anatomía del pie y determina tanto la estética como

la funcionalidad del zapato [5]. Adicional a la horma, también se debe tener en cuenta el diseño de suelas y plantillas para garantizar el confort [1]. Para determinar las dimensiones y características de la horma y del calzado en general, se debe recurrir a estudios antropométricos, ergonómicos y biomecánicos que proporcionen datos normalizados de la población a la que va dirigida los productos [4].

En Latinoamérica existe una evidente y aguda escasez de datos antropométricos. Estas limitaciones se dan básicamente por los altos costos que implican estos estudios, ya que se requiere de personal calificado y equipos especializados para la toma de medidas. Si bien es cierto que en varios países se han hecho algunos estudios antropométricos, estos han sido localizados y orientados principalmente a la evaluación del desarrollo y crecimiento poblacional, dejando de lado la potencial aplicación al desarrollo de productos con criterios de ergonomía. México, Brasil, Cuba, Ecuador, Chile y Venezuela incursionan cada vez más en el área de la antropometría y la ergonomía aplicadas a las necesidades industriales [6], [7]. En México existe el Centro de Investigaciones y Asesoría Tecnológica de Cuero y Calzado (CIATEC), enfocado en la producción de calzado de calidad, en compañía del Instituto de Biomecánica de Valencia [8]. En Brasil se encuentra el Instituto Brasileño de Tecnología del Cuero, Calzado y Afines (IBTeC), el cual se encarga de realizar estudios relacionados con biomecánica aplicada a la industria del calzado [9].

Precisamente, México y Brasil ya cuentan con sus tallas equivalentes al pie europeo para los zapatos. Recientemente en Ecuador se realizó un estudio a nivel nacional sobre las medidas antropométricas del pie, investigación que fue llevada a cabo por la Cámara de Calzado del Tungurahua y abordó el rango de edad entre los 18 y los 59 años [7]. En el resto de países latinoamericanos, se sigue implementando en el calzado los datos antropométricos del pie europeo, sin tener conocimiento de la impertinencia de esta práctica. Los manuales de ergonomía, en su mayoría, utilizan tablas antropométricas inglesas, lo que demuestra una falencia en la caracterización del pie latinoamericano [10],[11]. En países como Panamá, Guatemala y México se evidencia la importancia y el interés en la antropometría, no solamente aplicado al calzado, sino también en la interacción del hombre con su entorno, para encontrar aplicación en mobiliario, nutrición y estaciones de trabajo [11].

Ahora bien, en Colombia la situación no difiere mucho con respecto a Latinoamérica, puesto que se han llevado a cabo algunos estudios con el propósito de determinar las características de los pies de la población colombiana, pero aún no se han arrojado datos que permitan sistematizar la información [1]. La publicación nacional más importante sobre este tema se llevó a cabo en 1995, en donde se realizó un estudio antropométrico

de la población laboral colombiana. Se midieron 69 variables antropométricas en 2100 trabajadores (785 mujeres y 1315 hombres), con intervalos de edad entre los 20 y los 60 años. Entre las 69 variables antropométricas se identificaron las más importantes para el estudio del pie; sin embargo, este no era el enfoque principal del estudio y la información es insuficiente para hacer un correcto diseño de una horma [12]. En cuanto a la industria de calzado en Colombia, prima la estética sobre la comodidad, además no se hacen innovaciones porque la mentalidad actual de los empresarios es realizar pequeñas modificaciones a los modelos existentes desde la parte estética, no la funcional. Otro inconveniente son los altos costos que implican la investigación y el desarrollo, dónde la inversión generalmente no se ve retribuida en el corto plazo. Es por ello que en Colombia no se ha establecido un estudio conjunto entre la industria y la academia, que busque determinar las medidas antropométricas del pie colombiano para el diseño y fabricación de componentes para calzado [1], [13].

Con el propósito de identificar los métodos y tecnologías existentes para caracterizar el pie, se realizó una revisión en la literatura de las técnicas, instrumentos y estudios antropométricos y baropodométricos a nivel local y global. Además, se analizó y reconoció las mejores tecnologías y técnicas disponibles para realizar estos estudios. Como resultado de este trabajo, se evidenció el potencial que tienen los escáneres 3D y los instrumentos cinéticos para llevar a cabo una caracterización completa del pie y como esta tecnología es actualmente aplicada al diseño y fabricación de calzado con componentes ergonómicos.

2. METODOLOGÍA

Para efectuar una revisión sistemática de la información, se seguirán los lineamientos de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses), que permite identificar apropiadamente los estudios, extraer los datos, mejorar la calidad de los proyectos de investigación y gestionar

el riesgo de sesgo que se puede producir en la publicación selectiva de estudios o resultados [14]. Se aplicó el siguiente protocolo [15]:

a. Definición de la pregunta de investigación: se debe convertir el problema o la “laguna de conocimiento” en una pregunta que puede ser respondida, la nemotecnía PICO aplicada en medicina se puede adaptar a esta revisión para formular la pregunta. Consta de cuatro componentes: los pacientes o población relevante, la intervención de interés, contra quién o qué se compara la intervención y los desenlaces. En este caso la pregunta de investigación es: ¿cuáles son los métodos y tecnologías disponibles actualmente (comparación) para caracterizar el pie (intervención) de los colombianos (pacientes o población relevante) y así lograr diseñar calzado ergonómico (desenlace)?.

b. Especificación de los criterios de inclusión y exclusión de los estudios: los estudios incluidos en esta revisión deben contener metodologías claras y estructuradas, estudios controlados y el año de publicación debe ser menor a 10 años, salvo el caso del estudio “Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana 1995 (acopla95)”, que es el único del que se tiene registro sobre la ejecución de análisis antropométricos a la población colombiana.

c. Formulación del plan de búsqueda de la literatura: la recopilación de la información considera tanto los estudios publicados como los no publicados, que tengan resultados positivos o negativos, priorizando aquellos escritos en inglés y en español y se incluyen tesis de grado, para evitar incurrir en el sesgo de selección o en el sesgo de publicación. Se buscó información en bases de datos académicas como Google Académico, Universidad de Antioquia, SENA y Science direct. Con base a las palabras clave y gracias a la opción de búsqueda avanzada de las bases de datos bibliográficas se filtró la información generando ecuaciones de búsqueda y estableciendo límites de tiempo para visualizar sólo las publicaciones de los últimos 10 años.

Tabla 1. Formulación del plan de búsqueda en de la literatura.

Table 1. Formulation of literature search plan.

ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	FUENTE	FILTRO APLICADO
“antropometría” Y “biomecánica” Y “cinético” Y “cinemático”	Google académico	Intervalo de tiempo: 2007 – 2017 No. Resultados: 39
“antropometría” Y “pie” Y “calzado” Y “metodología”	Google académico	Intervalo de tiempo: 2013 – 2017 No. Resultados: 274
“anthropometry” AND “shoe” AND “foot” AND “methods”	Science direct	Intervalo de tiempo: 2013 – 2017 No. Resultados: 139
“antropometría” Y “pie” Y “calzado” Y “metodología”	Google académico	Intervalo de tiempo: 2013 – 2017 No. Resultados: 274
“anthropometry” AND “shoe” AND “foot” AND “methods”	Science direct	Intervalo de tiempo: 2013 – 2017 No. Resultados: 139
“anthropometry” AND “foot” AND “shoes” AND “3D scan”	Google academic	Intervalo de tiempo: 2007 – 2017 No. Resultados: 61

ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	FUENTE	FILTRO APLICADO
“baropodometry” AND “shoe” AND “plantar pressure” AND “foot” AND “biomechanics”	Google academic	Intervalo de tiempo: 2015 – 2017 No. Resultados: 18
“baropodometry” AND “shoe” AND “plantar pressure” AND “foot”	Science Direct	Intervalo de tiempo: 2007 – 2017 No. Resultados: 11
“baropodometría” Y “presión plantar” Y “calzado” Y “pie”	Google académico	Intervalo de tiempo: 2010 – 2017 No. Resultados: 24
“plantar pressure” AND “gait” AND “foot” AND “baropodometric” AND “shoe” AND “platform”	Google académico	Intervalo de tiempo: 2013 – 2017 No. Resultados: 48
“análisis de marcha” Y “calzado” Y “presiones plantares”	Google académico	Intervalo de tiempo: 2013 – 2017 No. Resultados: 8

Tabla 2. Formulación del plan de búsqueda en de la literatura: aplicaciones de la antropometría.

Table 2. Formulation of literature search plan: anthropometry's applications.

Ecuación de búsqueda	Fuente	Filtro aplicado	Número de resultados	Categorías
“aplicaciones de la antropometría” “Applications of Anthropometry”	Google académico	Intervalo de tiempo: 2007 – 2017	17: español 61: inglés	Estudios poblacionales Valoración del estado nutricional y físico Ergonomía Deporte Forense
“Applications of Anthropometry” AND “shoes”	Google académico	Intervalo de tiempo: 2007 – 2017	13 resultados	Diseño de vestuario Mobiliario Equipos 3D para pie Ergonomía ocupacional Estudios poblacionales

d. Registro de los datos y evaluación de la calidad de los estudios seleccionados: se eligen las publicaciones potencialmente relevantes por título para la lectura del resumen. Luego se efectúa una evaluación más detallada haciendo una recolección de datos que reúna las principales características de los estudios (autores, tipo de publicación, año, país, fase experimental y muestra estudiada, resultados y análisis, principales hallazgos, limitaciones y conclusiones). Se contrastaron las publicaciones para establecer comparativos entre ellas (similitudes y diferencias) y se evaluó la pertinencia y calidad de las mismas revisando los resúmenes y metodologías de los proyectos.

e. Interpretación y presentación de los resultados: luego de evaluar los estudios y contrastar su información, se presentan los resultados haciendo uso de tablas y descripciones de los principales hallazgos, que permitan analizar los métodos de caracterización del pie, identificando sus limitaciones y potenciales aplicaciones.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los resultados se eligieron buscando dar respuesta a la pregunta de investigación. La mayor fuente de información se encontró en Google Académico, seguido de las bases de datos bibliográficas de la Universidad de Antioquia y del SENA. Se descartaron los estudios duplicados, aquellos que no cumplieran con los criterios de inclusión y los que no se ajustaron a la temática central de esta investigación.

3.1 Antropometría

Se eligieron las publicaciones que expusieron de forma clara y precisa la definición de antropometría, en qué consiste la técnica antropométrica, las variables a considerar y que tengan relación directa con las extremidades inferiores. Se excluyeron los artículos relacionados con biomecánica deportiva, ergonomía ocupacional y análisis médicos de patologías. Los hallazgos son:

La antropometría es una rama de la antropología que mide las características físicas (dimensiones en una posición fija) y funcionales (movimientos) del cuerpo humano [16]. La técnica antropométrica determina parámetros como: peso, talla, pliegues cutáneos, diámetros, longitudes, perímetros, velocidad de crecimiento, nivel nutricional, entre otros; los cuales se definen mediante protocolos de medida y estimación de la composición corporal [17]. A su vez, las medidas antropométricas varían de una población a otra. Los principales factores que influyen en las variaciones de las medidas son el sexo, la etnia, la edad y la alimentación [18], [19]. Los datos antropométricos se pueden obtener a partir de tablas especializadas, realizando un análisis biomecánico cuantitativo o determinando propiedades geométricas y momentos de inercia de las partes del cuerpo humano [20]. El estudio biomecánico se compone del análisis cinético que evalúa las fuerzas que participan en el movimiento, y del análisis cinemático que describe el movimiento mediante parámetros espaciotemporales; esta información permite establecer la interacción del ser humano con su entorno. El análisis de los datos generalmente hace uso del concepto estadístico de

percentiles, el cual expresa como está posicionado un valor con respecto al total de una muestra. Los valores resultantes del análisis se agrupan en 100 partes, cada parte es un percentil. El percentil está referenciado de 0 a 100, donde el percentil 0 corresponde al menor valor de la muestra y el percentil 100 al mayor valor [19]. Así entonces, si se busca determinar el ancho del pie de una población objetivo, tomando un percentil de 95 para el análisis de la medida, se hallará en la muestra el valor correspondiente, tal que el 95% de la población tiene el pie con esa medida o más estrecho. Este tipo de análisis permite una mejor interpretación de los resultados.

3.2 Aplicaciones de la antropometría

Se eligieron las publicaciones con información concreta sobre aplicaciones de la antropometría, dando prioridad a aquellas que involucren información relevante relacionada con el calzado. Los hallazgos son:

a. La mayor cantidad de investigaciones se enfocan en la actividad física y el deporte, seguido de los estudios por sectores poblacionales para la estandarización de medidas.

b. Entre las aplicaciones de la antropometría se encuentra la estimación de la composición corporal, lo cual es un tema de interés para las ciencias relacionadas con las prácticas deportivas, para determinar el rendimiento óptimo de un atleta y su estado de salud, definido entre otros por el balance entre el peso y la grasa corporal relativa [21]. Específicamente en la salud de un atleta o de una persona del común, se ha analizado la relación que hay entre las medidas antropométricas y la estimación de la composición corporal con respecto al riesgo de tener sobrepeso u obesidad, enfermedades cardiovasculares, hipertensión arterial, diabetes, el síndrome metabólico o para analizar el estado de nutrición de una población [22], [23]. También en el área de nutrición pública y comunitaria, se recurre a la antropometría para determinar la composición corporal [17]. Otra aplicación, es el manejo ambulatorio de grandes poblaciones mediante controles evolutivos, determinando las variables antropométricas para adquirir parámetros como la masa muscular, altura, anchura, longitud, contornos, entre otros [24]. En estudios de ergonomía y biomecánica son importantes los estándares obtenidos a partir de las mediciones antropométricas para analizar la interacción que tiene el humano con el entorno que lo rodea, como lo son herramientas, muebles, espacios y puesto de trabajo. Estos estudios están orientados en gran medida a su aplicación en seguridad y salud en el trabajo para establecer estándares de diseño de mobiliario ergonómico para el trabajador [19]. En el calzado, las medidas antropométricas del pie son fundamentales para garantizar el cumplimiento en ergonomía y diseño, por ende en la calidad y confort del producto ofrecido [25].

c. Diversos estudios han demostrado que el calzado influye de manera significativa en la morfología del pie [26]. Si este tiene un mal diseño o la horma no tiene las medidas apropiadas, puede causar diversas patologías en el o incluso en otras partes del cuerpo. Prueba de ello son las patologías conocidas como rodillas en valgo o dedos en martillo, encontradas en mujeres que usan frecuentemente o por largos períodos de tiempo zapato de tacón alto. Es reconocido que este tipo de zapato no es el más cómodo o ergonómico [27]. Incluso, se ha evidenciado que usar cualquier tipo de zapato produce alteraciones en la forma natural de los pies, si son comparados con los pies de habitantes de poblaciones que habitualmente están descalzos. Hay una gran diferencia entre las características de los pies o en las presiones plantares en cada persona, según el sexo, etnia y edad [28]. Debido a estas diferencias, los estudios antropométricos de una población particular se hacen indispensables para establecer medidas aplicadas al diseño de las hormas [25]. Igualmente se recurre a estudios de presión plantar para fortalecer estos aspectos [29].

3.3 Antropometría del pie

Se eligieron las publicaciones con información acerca del protocolo para la toma de medidas del pie. Se estableció un intervalo de tiempo más corto debido a la gran cantidad de información que hay al respecto. Los hallazgos son:

a. Para tomar las medidas del pie, se recomienda hacerlo en horas de la mañana, ya que en el transcurso del día este puede dilatarse por el incremento de la temperatura ambiental o por el calor corporal liberado como consecuencia de las actividades realizadas durante una jornada. Las medidas se toman en ciertos puntos del pie definidos por ciertos autores [7]. Las principales medidas que se deben tomar son: longitud, longitud del empeine, anchura diagonal y horizontal, anchura del talón, circunferencia del empeine, circunferencia del talón, altura desde la base del pie hasta la base del tobillo, altura desde la base del pie hasta el punto medio del tobillo, altura del empeine y los ángulos del dedo gordo [30].

b. Para realizar una correcta evaluación antropométrica, se debe seguir un perfil y una metodología estandarizada, para poder realizar comparaciones con respecto a otras poblaciones y garantizar precisión, fiabilidad y reproducibilidad de las mediciones. Siempre existirá variabilidad en la medición, por lo que se debe tener presente el error técnico de medida (ETM), el cual se disminuye calibrando los equipos, empleando una correcta técnica de medición y personal experimentado [17]. Entre las recomendaciones metodológicas de medición están: informar al sujeto de las medidas que se llevarán a cabo y en el transcurso de la medición éste debe mantenerse de pie, con los pies levemente separados; repetir las medidas al menos dos veces para tomar

valores promedio o mediana para el análisis de datos; las herramientas esenciales y necesarias para la toma de medidas son las cintas antropométricas, plantígrafo, soporte para perspectivas, regla metálica y escuadra [7].

3.4 Instrumentos de medición antropométrica al pie y sus aplicaciones en el calzado

Se eligieron los estudios que constituyeron las dimensiones del pie empleando diversas herramientas sencillas o avanzadas tecnológicamente y los que contienen las principales aplicaciones en la industria del calzado.

A continuación, se mencionan algunos equipos, software e instrumentos de medida con los que se cuentan actualmente. Los hallazgos son:

a. Los instrumentos tradicionales para la toma de las medidas del pie son: la *cinta antropométrica*, utilizada para medir perímetros y para la localización del punto medio entre dos puntos anatómicos [31], la *cinta métrica* para medir los contornos del pie, el *soporte para perspectivas* que determina alturas, la *regla metálica* que mide longitudes y alturas, la *escuadra* para dibujar perspectivas [7] y el *plantígrafo*, para el análisis de las características de las huellas plantares cuando el sujeto está en bipedestación [32]. La recolección de datos con estos instrumentos de medida requiere de trabajo y tiempo considerables y debe ser realizado por personas experimentadas que minimicen errores relacionados con el paralaje, desajuste de los instrumentos o un inadecuado manejo de los mismos. Es esencial el control de calidad y monitoreo en el proceso de medición, ya que este tipo de mediciones da lugar a errores técnicos y por lo tanto presentan un riesgo mayor de inexactitud en los datos.

b. Existen instrumentos de medida avanzados, como el dispositivo mecánico que se describe en la patente EP 1902640 A8 y que tiene como función tomar las medidas del pie para la fabricación de suelas o zapatos especializados (zapato ortopédico o confortable), con base en mediciones en los campos de radiología, zapatería y podología [33]. En la patente US 20050049816 A1, se describe un sistema compuesto por software y hardware que selecciona el calzado más adecuado que se ajusta al cliente, basado en las características anatómicas del pie (impresión de la huella plantar), normalización de los datos de entrada y comparación con una base de datos de zapatos [34]. Estas invenciones dan respuesta a la necesidad de proveer zapatos con alto grado de ajuste y personalización, se consideran las medidas de los individuos y con base a esta información se selecciona el mejor calzado.

c. Se han venido desarrollando tecnologías de exploración tridimensional del pie de gran auge en los últimos tiempos. Por ejemplo, el equipo de resonancia magnética adquiere imágenes, que luego se procesan

con el método de elementos finitos, obteniendo un modelo 3D morfológicamente congruente con el pie real. El inconveniente con este método es que el equipo de resonancia magnética es costoso y la digitalización es compleja [35]. Otro instrumento es el *escáner 3D*, que determina rápidamente todas las dimensiones y medidas relevantes del pie para desarrollar hormas personalizadas y además estudios antropométricos poblacionales [37–39]. El *escáner 3D* consta de láseres y cámaras que capturan la forma del pie y transmiten la información a un software que crea una nube de puntos con las señales recibidas. Generalmente no se utiliza la nube de puntos en los software de diseño, por lo que se realiza una conversión a mallas poligonales o triangulares, modelos matemáticos de curvas y superficies NURBS (sigla en inglés de B-splines racionales no uniformes) o modelos CAD (Diseño Asistido por Computador). Cuando el pie soporta cargas y es analizado con un escáner 3D convencional, no se logra una correcta visualización de las curvaturas normales de su parte posterior (planta del pie). Debido a ello, se desarrolló un escáner especializado para esta zona, que permite el posterior modelado y diseño de plantillas ortopédicas perfectamente adecuadas a la planta del pie [39]. Gracias a la rapidez que aporta el escáner 3D, es posible realizar un gran número de medidas en poco tiempo, las molestias ocasionadas a los sujetos de estudio son mínimas y presenta una gran precisión y confiabilidad en los resultados. Sin embargo, el costo de los equipos es elevado, por lo que esta opción es poco viable para las industrias manufactureras de calzado.

d. Son muchos los parámetros a evaluar para garantizar un calzado apropiado, tales como el ajuste, la comodidad, los materiales, el estilo y el diseño. La horma controla el ajuste, el estilo y la comodidad del zapato, si no cumple con las medidas apropiadas, el zapato no será ergonómico. Con el uso del escáner 3D se puede obtener las medidas del pie con una alta confiabilidad y precisión, para ser implementadas en el diseño de hormas [40] o para adquirir calzado personalizado [41]. El escáner 3D sirve además, para evaluar diferentes situaciones a las que se ve sometido el pie en la cotidianidad; un ejemplo de ello, es el estudio que buscó obtener el contorno plantar mientras se utilizaba un elevador del talón, con el propósito de identificar un diseño de tacón que mejore la distribución de las presiones plantares sin comprometer las funciones de las zonas media y anterior del pie [42].

e. En general, la tecnología 3D hace uso de sistemas de diseño y fabricación asistidos por computador (CAD y CAM respectivamente). El software de diseño de calzado generalmente contiene varios estilos de hormas, que pueden ser modificadas para adaptarlas a las medidas del pie que se ha digitalizado. Es indudable que el rápido avance de esta tecnología, ha conllevado a que la industria del calzado esté siendo tecnificada [43].

f. Además de la fabricación de calzado, los estudios antropométricos también sirven para evaluar el confort que otorgan las plantillas y las suelas. En el caso de las plantillas, se evalúa su contacto con el contorno plantar del pie, el cual determina la postura del cuerpo, la sensación de comodidad, malestar o fatiga y puede promover la aparición de deformidades tanto en la planta del pie como en el dorso. Si el contacto es completo, permite la conservación de la función media del pie, debido al apoyo tanto del arco longitudinal lateral como del arco longitudinal medial y provee apoyo en el caso del pie con excesiva pronación [39], [42]. En las suelas es importante el estudio antropométrico del pie que caracteriza su tipología según la altura del arco plantar. Esta información complementada con el análisis del material más apropiado para distribuir las presiones plantares permite diseñar suelas personalizadas, que en particular estén en contacto con la región media del pie para facilitar dicha distribución de presiones [44], [45].

g. La técnica que efectúa mediciones antropométricas a través de fotografías aplica el concepto de geometría proyectiva, que establece un modelo matemático de la forma $m = PM$. Donde m es la imagen del objeto, M el objeto a medir y P la matriz de proyección; se requiere de un patrón de referencia para calcular las medidas.

Con esta técnica no es necesaria la presencia física del individuo para la toma de medidas, las mediciones son precisas y confiables, pero requiere una adecuada y constante iluminación de las fotografías [46].

h. Actualmente se está incursionando en las posibilidades que ofrece la tecnología Android para la toma de medidas antropométricas. Una aplicación desarrollada para este fin, toma dos fotografías (de frente y de perfil) a la

persona que se posiciona según las indicaciones que se muestran en la pantalla y con un tratamiento a las imágenes, se extraen las medidas y se hace una reconstrucción 3D del cuerpo de la persona [46]. Esta aplicación fue desarrollada para vestuario, pero representa un gran potencial de aplicabilidad en la industria del calzado. Este proyecto aún se encuentra en periodo de pruebas, pero los resultados obtenidos hasta ahora son prometedores.

3.5 Baropodometría

Se eligieron las publicaciones que expusieron de forma clara y precisa la definición de baropodometría, métodos y tipos de análisis y sus aplicaciones. Los hallazgos son:

a. La baropodometría es una técnica que consiste en medir y analizar las fuerzas de reacción del suelo ejercidas en el pie cuando este se ve sometido a cargas, mediante el uso de sensores de presión que analizan la distribución de las cargas y las presiones de los pies [47].

Definir las presiones plantares es útil para identificar las zonas del pie sometidas a mayor presión, conocer la distribución de las cargas y determinar la intensidad y duración de estas presiones. Existen varios factores que influyen en la distribución de las presiones plantares, entre ellos se encuentran: el peso, la edad, el sexo, entre otros [48]. Además, este análisis no revela sólo información de la estructura de los pies y las fuerzas que intervienen en ellos, sino también sobre la postura del cuerpo, tanto en una persona saludable como en una persona con alguna patología [49], [50]. Esta técnica permite analizar al sujeto de forma no invasiva y se obtienen resultados rápidos con alto nivel de precisión. Sin embargo, es un método costoso ya que el precio de los sensores es elevado y se requiere de un software especializado para el tratamiento de los datos.

Tabla 3. Aplicaciones más comunes e instrumentos de medida en estudios antropométricos comprendidos entre el 2008 al 2016.

Table 3. Most common applications and measuring instruments in anthropometric studies from 2008 to 2016.

Instrumento	Aplicaciones
Tradicional: cinta antropométrica, escuadra, plantígrafo, cinta métrica, soporte para perspectivas y regla metálica [8], [32], [33].	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación de la composición corporal [22-24]. • Deporte [22]. • Ergonomía y biomecánica [20]. • Controles evolutivos [25]. • Análisis de calzado [26].
Escáner 3D [37-39] e impresora 3D [43].	<ul style="list-style-type: none"> -Hormas [41]. -Calzado personalizado [42], [44].
Fotografías [46]	<ul style="list-style-type: none"> -Tacones [43]. -Plantillas y suelas [40], [43], [45], [46].
Dispositivo mecánico descrito en patente EP1902640A8 [34].	Suelas o zapatos especializados (zapato ortopédico o comfortable) [34].
Sistema software-hardware descrito en patente US 20050049816A1 [35].	Asistencia en la selección del mejor calzado, según las características anatómicas del pie [35].
Resonancia magnética.	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo 3D morfológicamente congruente con el pie real [25]. • Diseño de prótesis y órtesis [25]. • Diseño de hormas [25].
Aplicación Android [46].	<ul style="list-style-type: none"> • Vestuario [46]. • Potencial aplicación a la industria del calzado.

b. El análisis baropodométrico se realiza en apoyo bipodal (apoyo de ambos pies en el suelo) o monopodal (apoyo de un solo pie en el suelo), en situación estática o dinámica. El análisis estático se realiza cuando la persona está en bipedestación, completamente erguida y conservando el equilibrio. En este análisis se identifica fácilmente el pie plano. El análisis dinámico estudia el mecanismo de desplazamiento realizado durante el ciclo de la marcha y es útil para la definición de la pisada pronadora, neutra y supinadora. La pronación se identifica por una mayor presión plantar en la parte lateral externa del talón y en el primer y segundo metatarsiano, mientras que en la supinación la presión plantar se da principalmente en el borde lateral externo de la planta del pie. En cuanto a la pisada normal, su presión plantar se distribuye equitativamente en los metatarsianos y en el borde externo y zona media del talón [43-45].

c. El análisis cinético de la marcha humana inicia con el impacto del talón en el suelo, continuando hasta el contacto del antepié, para finalizar en el despegue de los dedos del mismo pie. Este intervalo corresponde al 60% del ciclo de la marcha. Luego se da paso a la "fase de balanceo o de oscilación", en la que el pie se encuentra en el aire y tiene un intervalo del 40% y finaliza una vez el talón del mismo pie ha contactado el suelo nuevamente [51]. El análisis cinético de la marcha determina las fuerzas que se producen durante esta. La información se puede adquirir a través de plataformas de fuerza y baropodómetros. Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo humano y provienen del entorno son las externas, mientras que las fuerzas internas son originadas por los músculos, tendones y ligamentos [52].

Las fuerzas que más influyen en el movimiento son las producidas por la acción de la gravedad y su reacción con el suelo. En posición bipodal el peso del cuerpo se distribuye equitativamente entre cada extremidad inferior. En el pie, el 60% de las fuerzas son soportadas por el calcáneo y el 40% restante son distribuidas en el antepié. En este último, la carga se distribuye a través de todos los metatarsianos, donde el primero absorbe como mínimo el doble de fuerza que cada uno de los restantes y luego se transmite al suelo. Esta proporción varía considerablemente al despegar el talón del suelo, debido a que el 60% de las fuerzas que normalmente son soportadas por el calcáneo son a su vez distribuidas sobre el antepié [53].

3.6 Instrumentos de medida de fuerza y aplicaciones de la baropodometría

Se eligieron las publicaciones que tuvieran relación directa con el calzado, los instrumentos de análisis cinético de la marcha y sus aplicaciones. Los hallazgos son:

a. Las *plataformas de fuerza* han sido el instrumento más usado para el análisis cinético de la marcha, estas se com-

ponen de transductores tridimensionales de fuerza de reacción vertical, antero-posterior y medio-lateral [54], [55]. La principal ventaja de las plataformas es la posibilidad de obtener todas las direcciones de las fuerzas de reacción. Como desventaja se encuentra que no dan información sobre la distribución de la carga [56]. Actualmente, los sistemas de medición de presiones cuentan con sensores electromecánicos que miden la fuerza aplicada en una superficie conocida. Estos sistemas proporcionan valores altamente confiables, variando en función de la región del pie y de los parámetros investigados. A estos sistemas se les denomina *baropodómetros* y se emplean en diferentes configuraciones, entre ellas las *plataformas de distribución de presiones o baropodométricas* y las *plantillas de instrumentación*. El patrón baropodométrico aporta información sobre la capacidad de los pacientes para soportar y transferir la masa del cuerpo durante la marcha [56]. Las plantillas instrumentadas son un sistema diseñado para registrar de manera dinámica la distribución de las presiones entre la planta del pie y la órtesis plantar (plantilla) o el calzado [57]. Las plataformas baropodométricas permiten identificar el tipo de distribuciones plantares cuando los pies se ven sometidos a la presión del cuerpo [58]. Los baropodómetros están compuestos de hardware (sensores resistivos dispuestos en una matriz dividida en varias plataformas) y software (interfaz con el usuario para la realización de las medidas y análisis de las mismas) [59]. Este sistema hardware-software ha sido validado para la determinación de la distribución de la presión bajo condiciones constantes y mediciones dinámicas [60].

b. La baropodometría es ampliamente utilizada para identificar diversas patologías, tanto en los pies, como en la postura y el equilibrio [54-56]. Además de implementarse como medio de diagnóstico, también se recurre a ella en la valoración de la evolución del tratamiento en un paciente o para el diseño y evaluación de órtesis [56].

c. Las plantillas para calzado son recursos terapéuticos que contribuyen a la mejora de la postura, diversas patologías y anomalías del pie. Son utilizadas para la amortiguación de los impactos en el pie cuando se está caminando o en bipedestación. Por medio de la baropodometría se puede evaluar la influencia plantar que ejerce la plantilla sobre el pie y también es posible determinar los beneficios inmediatos que entregan los componentes de las plantillas [61]+. En cuanto al calzado deportivo, el equilibrio tanto estático como dinámico, es considerado un requisito esencial en la reducción de lesiones y para sobresalir en una práctica deportiva. La baropodometría proporciona información detallada sobre el efecto de diferentes tipos de calzado y actividades sobre la marcha y el equilibrio del cuerpo humano [62].

d. El podoscopio consta de un sistema de espejos que reflejan la imagen de las zonas de apoyo de la planta del pie sobre un cristal, el sujeto de estudio debe estar

en bipedestación. Las regiones que más se apoyan sobre el cristal presentan una coloración más pálida con respecto a las sometidas a una carga menor [63]. Este equipo no es costoso, pero solo entrega información cualitativa, lo que resta precisión a las medidas y arroja resultados con menor grado de confiabilidad.

Los fabricantes de calzado a menudo subestiman la importancia de incorporar en sus productos plantillas y suelas confortables. En la actualidad no se han realizado investigaciones de este tipo por parte del sector en compañía de instituciones educativas.

Cabe resaltar que la zona de los metatarsos se encuentra especialmente desprotegida, por lo que la plantilla debe reforzar la amortiguación entregada por la almohadilla plantar anatómica. Considerando este hecho, es recomendable diseñar los componentes de amortiguamiento del calzado considerando las implicaciones biomecánicas y ergonómicas. Para ello, el análisis baropodométrico es fundamental, ya que no sólo entrega información sobre la tipología del pie y superficie de contacto, sino también datos cuantitativos de la distribución de las presiones en el tiempo.

do por computador. Sin embargo, la adquisición de estos equipos para el sector resulta costosa y dado que su uso no es frecuente, no se considera factible la inversión en este tipo de tecnologías. Es por ello que las aplicaciones Android que actualmente se están desarrollando para la toma de medidas antropométricas son una opción que promete contribuir en gran medida al desarrollo de productos personalizados a un bajo costo, beneficiando así tanto a las pymes como las grandes empresas.

Los estudios antropométricos en Colombia son escasos y hasta ahora no se han consolidado los resultados. La única investigación formal que se ha realizado al respecto se dio hace 22 años, enfocada a la población laboral colombiana y dado que no cuenta con las dimensiones requeridas para el diseño de componentes de calzado, no sería correcto utilizarla en esta industria. Esto evidencia la necesidad de realizar un estudio antropométrico local, para lograr un calzado acorde a la anatomía del pie colombiano.

En cuanto a la baropodometría, aunque el principal uso se da en el sector salud como herramienta de diagnóstico y como complemento para la elaboración de plantillas ortopédicas, esta tecnología también se

Tabla 4. Aplicaciones más comunes e instrumentos de medida en estudios baropodométricos comprendidos entre el 2013 al 2016.
Table 4. Most common applications and measuring instruments in baropodometric studies from 2013 to 2016.

Instrumento	Aplicaciones
Plataformas de fuerza [53], [55], [56].	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico: identificación de patologías [54-56].
Plataformas de distribución de presiones baropodométricas [53], [57].	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración de la evolución de un tratamiento en un paciente [57]. • Evaluación de prótesis y órtesis [57].
Podoscopio [63].	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y fabricación de plantillas y suelas [62]. • Evaluación de calzado [63].
Plantillas instrumentadas [53], [57].	<ul style="list-style-type: none"> • Deporte [63].

4. CONCLUSIONES

Los estudios antropométricos tradicionales requieren que las medidas sean tomadas por observadores entrenados que aseguren confiabilidad y precisión en las mediciones. Sin embargo, el error técnico es elevado si no se incluye un control de calidad y monitoreo en el proceso, se obtienen las medidas correspondientes al tamaño del pie pero no su forma y el tiempo de muestreo es elevado. El escáner 3D minimiza el riesgo existente relacionado con la medición, proporciona información de forma ágil y eficaz y la manipulación del individuo es mínima.

Uno de los retos actuales de la industria del calzado es la fabricación de zapatos personalizados y ergonómicos, éste innovador concepto de producción abre paso al implemento de la tecnología 3D para lograr una alta precisión y confiabilidad en la toma de medidas. Además, los software asociados entregan archivos con la forma 3D del pie, que se pueden procesar en software de diseño asisti-

do puede aplicar en el desarrollo de calzado confortable. Los instrumentos de medida más valorados son los baropodómetros, porque además de entregar información con respecto a las presiones plantares, varían en función del movimiento del pie y la transferencia de masa y además permiten detectar la influencia de los diferentes tipos de suelas y plantillas en la distribución de las presiones. Sumado a lo anterior, los baropodómetros permiten realizar un análisis más confiable, no invasivo y realista de la locomoción durante la marcha, entregando datos cuantitativos que incrementan el nivel de confianza en las medidas. El avance tecnológico en los instrumentos y software para la caracterización completa del pie y la marcha favorece la innovación de producto en la industria del calzado.

REFERENCIAS

- [1] L. Silva, A. Bermúdez, F. Almario, P. Mojica, S. Cuéllar, C. Medina, A. Tamayo, *Antropometría y diseño de hormas para calzado*, Superintendencia de Industria y Comercio, Bogotá, 2014, pp. 1-104.

- [2] Dinero, “La oportunidad que ve Brasil en el sector del cuero y calzado del mercado colombiano,” 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.dinero.com/economia/articulo/feria-ifls-en-bogota-reune-los-paises-latinoamericanos-mas-importantes-del-sector-del-cuero-y-calzado/219074>. [Acceso: 15-Ago-2016].
- [3] A. Serrada, H. Fierro, (2013), Sector Calzado en Colombia, Caso de estudio y Consideración de Modelos de Negocio en las Empresas de Calzado: MSS, BRG Y CHS. Tesis de Grado, Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Bogotá.
- [4] J. Olaso, S. Alemany, Á. Page, (2013), Algoritmos para el diseño automático de hormas personalizadas a partir de medidas unidimensionales de la morfología del pie. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia.
- [5] J. Ramiro, E. Alcántara, A. Forner, A. Ferrandis, A. García, V. Durán, and P. Vera, *Guía de recomendaciones para el diseño de calzado*. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia, 1995.
- [6] R. Ávila, L. Prado, y E. González, (2007), *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- [7] E. Peñaranda, (2014), Estudio antropométrico para establecer un cuadro de tallas para calzado de mujer. Tesis de Grado, Universidad del Azuay.
- [8] CIATEC, “Centro de Investigaciones y Asesoría Tecnológica de Cuero y Calzado,” 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.ciatec.mx/laboratorios/biomecnica/>. [Acceso: 22-Ago-2016].
- [9] IBTeC, “Instituto Brasileño de tecnología del cuero, calzado y afines,” 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.ibtec.org.br/biomecnica>. [Acceso: 25-Ago-2016].
- [10] I. Sacco, A. Onodera, K. Bosch, D. Rosenbaum, “Comparisons of foot anthropometry and plantar arch indices between German and Brazilian children”, *BMC Pediatrics*, 15(1), 4, 2015.
- [11] A. Peña, (2008), Procesamiento, análisis y síntesis de datos antropométricos orientado al diseño de productos: Zona nororiental colombiana, Pasantía de Investigación, Universidad Industrial de Santander.
- [12] J. Estrada, J. Camacho, T. Restrepo, M. Parra, “Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana 1995 (acopl95)”, *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 15(2), 112–139, 1998.
- [13] L. Silva, (2014), Materiales para capelladas y la parte superior del calzado, Superintendencia de Industria y Comercio, Bogotá, pp. 1–98.
- [14] G. Urrútia, X. Bonfill, “Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis”, *Medicina Clínica*, 135(11), 507–511, 2010.
- [15] Ó. Beltrán, “Revisiones sistemáticas de la literatura”, *Revista Colombiana de Gastroenterología*, 20(1), 60–69, 2005.
- [16] A. Huerta, (2015), Estudio y modelización del movimiento de la extremidad superior para pacientes en silla de ruedas. Aplicación práctica Hospital Asepeyo. Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Catalunya.
- [17] J. Martínez, M. Ortiz, (2013), Antropometría manual básico para estudios de salud pública, nutrición comunitaria y epidemiología nutricional, Dep. Enfermería, Enf. comunitaria, Medicina Preventiva, Fac. Ciencias de la Salud, Universidad de Alicante.
- [18] M. Hill, R. Naemi, H. Branthwaite, N. Chockalingam, “The relationship between arch height and foot length: Implications for size grading”, *Applied Ergonomics*, 59, 243–250, 2017.
- [19] Á. Muso, (2015), Evaluación antropométrica de trabajadores del área de montaje en la empresa de calzado wonderland, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Universidad Técnica de Ambato.
- [20] M. Romero, (2012), Diseño y construcción de una órtesis de rodilla, destinada a la rehabilitación automatizada de la extremidad inferior, Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.
- [21] P. Tike, G. Soto, T. Valenzuela, S. Agüero, R. Sepúlveda, “Parámetros de composición corporal y su relación con la potencia aeróbica máxima en ciclistas recreacionales”, *Nutrición Hospitalaria*, 32(5), 2223–2227, 2015.
- [22] R. Vaquero, F. Alacid, F. Esparza, J. Muyor, P. López, “Efectos de un programa de 16 semanas de pilates sobre las variables antropométricas y la composición corporal en mujeres adultas activas tras un corto proceso de desentrenamiento”, *Nutrición Hospitalaria*, 31(4), 1738–1747, 2015.
- [23] D. Rangel, (2012), Diseño y validación de ecuaciones basadas en antropometría y bioimpedancia eléctrica para estimar masa muscular en extremidades en adulto mayor con independencia física, Tesis de Doctorado, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro.
- [24] A. Canda, “Puntos de corte de diferentes parámetros antropométricos para el diagnóstico de sarcopenia”, *Nutrición Hospitalaria*, 32(2), 765–770, 2015.
- [25] C. Shing, “An analysis and evaluation of fitness for shoe lasts and human feet”, *Computers & Industrial Engineering*, 61(6), 532–540, 2010.
- [26] H. Hillstrom, J. Song, A.P. Kraszewski, J.F. Hafer, R. Mootanah, A.B. Dufour, B.S. Chow, J.T. Deland, “Foot type biomechanics part 1: structure and function of the asymptomatic foot”, *Gait Posture*, 37(3), 445–451, 2013.
- [27] Y. Gu, F. Li, J. Li, N. Feng, M. Lake, Z. Li, J. Ren, “Plantar pressure distribution character in young female with mild hallux valgus wearing high-heeled shoes”, *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 14(1), 1–8, 2014.
- [28] K. D’Aout, T. Pataky, D. De Clercq, P. Aerts, “The effects of habitual footwear use: foot shape and function in native barefoot walkers”, *Footwear Science*, 1(2), 81–94, 2009.
- [29] Y. Shu, M. Qichang, J. Fernandez, Z. Li, N. Feng, Y. Gu, “Foot Morphological Difference between Habitually Shod and Unshod Runners”, *PLoS One*, 10(7), 1–13, 2015.
- [30] Y. Lee, M. Kouchi, M. Mochimaru, M. Wang, “Comparing 3D Foot Shape Models Between Taiwanese and Japanese Females”, *Journal Human Ergology (Tokyo)*, 44, 11–20, 2015.
- [31] E. Valero, “Antropometría instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo”, *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, 1(2), 1–21, 2011.
- [32] B. Bertolaccini, S. Mara, T. da Silva, M. Mesquita, “Simplified method of plantigrafía for assessing the feet of diabetic patients”, *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 7(1), A248, 2015.

- [33] D. Coissard, F. Cogneau, Dispositif pour positionner au moins un pied, en vue notamment de la réalisation de semelles ou de chaussures, E.P. Patent 1 902 640 B1, 2010.
- [34] T. Oda, N. Sato, I. Nakano, Y. Kaneko, T. Ota, System and method for assisting shoe selection, U.S. Patent 20050049816A1, 2008.
- [35] S. Luo, Z. Gong, "Customize last from multiple foot images by a little interaction", *Computers & Electrical Engineering*, 40(3), 956–963, 2014.
- [36] O. Seol, S. Dong, K. Hyung, "Last Design for Men's Shoes using 3D Foot Scanner and 3D Printer", *The Journal of the Korea Contents Association*, 16(2), 186–199, 2016.
- [37] Z. Taha, M. Azri, Z. Ahmad, A. Hasnun, N. Sahim, "A Low Cost 3D Foot Scanner for Custom-Made Sports Shoes", *Applied Mechanics and Materials*, 440, 369–372, 2014.
- [38] A. Kopac, (2010), Načrtovanje mreže merilnikov stopal in povezanih sistemov v maloprodaji obutve, Tesis de Grado, Univerza v Ljubljana.
- [39] S. Shuh, C. Yi, S. Chun, "Classification and mass production technique for three-quarter shoe insoles using non-weight-bearing plantar shapes", *Applied Ergonomics*, 40(4), 630–635, 2009.
- [40] X. Chen, X. Hao, S. Zhao, "Dynamic numerical analysis of the 'Foot - Training Shoe' model", *Procedia Manufacturing*, 3, 5519 – 5526, 2015.
- [41] L. Y. Lin, C. Hsu, "Innovation and ergonomics consideration for female footwear design," *Procedia Manufacturing*, 3, 5867 – 5873, 2015.
- [42] X. Zhang, B. Li, K. Liang, Q. Wan, B. Vanwanseele, "An optimized design of in-shoe heel lifts reduces plantar pressure of healthy males", *Gait Posture*, 47, 43–47, 2016.
- [43] S. Sun, Y. Chou, C. Sue, "Classification and mass production technique for three-quarter shoe insoles using non-weight-bearing plantar shapes", *Applied Ergonomics*, 40(4), 630–635, 2009.
- [44] N. Binti, (2013), Ergonomic development of shoe sole design, Tesis de Grado, Universiti Teknikal Malaysia Melaka.
- [45] C. Witana, R. Goonetilleke, S. Xiong, E. Au, "Effects of surface characteristics on the plantar shape of feet and subjects' perceived sensations", *Applied Ergonomics*, 40(2), 267–279, 2009.
- [46] R. Lescay, A. Becerra, A. González, "Antropometría. Análisis comparativo de las tecnologías para la captación de las dimensiones antropométricas", *Revista ELA*, 13(26), 47–59, 2016.
- [47] A. Guerra, E. Montes, F. Pineda, D. Benítez, "Diseño e implementación de un sistema de baropodometría electrónica para niños", *Maskay*, 5(1), 10-16, 2015.
- [48] V. Melgarejo, I. Moreno, A. Guzman, D. Hoyos, E. Pacheco, "Presión plantar: estudio comparativo en estudiantes universitarios (Estudio Piloto)", *Revista Actividad Física y Desarrollo Humano*, 1, 127–133, 2013.
- [49] K. Vélez, V. Nolivos, F. Alegría, "Preventive and curative importance of the baropodometric analysis for ergonomics and occupational health", *Work*, 41, 1896–1899, 2012.
- [50] M. Apolo, (2015), Análisis y valoración del control postural mediante indicadores basados en acelerometría. Propuesta de aplicación en hipoterapia. Tesis de Doctorado, Departamento de Terapéutica Médico Quirúrgica, Universidad de Extremadura.
- [51] J. Dicharry, "Kinematics and kinetics of gait: from Lab to clinic", *Clinics in Sports Medicine*, 29(3), 347–364, 2010.
- [52] M. González, (2015), Estudio preliminar de la relación entre la composición corporal y la cinética de la marcha en una población deportista joven. Tesis de Grado, Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Alcalá.
- [53] L. Dueñas, (2013), Estudio del umbral de disconfort a la presión en el pie de las personas mayores. Tesis de Doctorado, Facultad de Fisioterapia, Universidad de Valencia.
- [54] M. Castro, S. Abreu, H. Sousa, L. Machado, R. Santos, J. Vilas-Boas, "Ground reaction forces and plantar pressure distribution during occasional loaded gait", *Applied Ergonomics*, 44(3), 503–509, 2013.
- [55] M. Haro, "Laboratorio de análisis de marcha y movimiento", *Revista Médica Clínica Las Condes*, 25(2), 237–247, 2014.
- [56] R. Ballester, (2015), Análisis clínico y baropodométrico de los niños con pie plano valgo flexible infantil en edad preescolar. Tesis de Doctorado, Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología, Universidad Complutense de Madrid.
- [57] P. Zafra, J. Berna, "Análisis de la presión plantar entre el pie dominante y no dominante en jugadores de fútbol profesional", *Ther. Estud. y propuestas en ciencias la salud*, 6, 45–58, 2014.
- [58] G. Craveiro, (2015), Atividade simpática, parassimpática e metabólica influenciada pelo comportamento da distribuição do suporte de peso em pé adquirido na condição de hemiparesia crônica Atividade simpática, parassimpática e metabólica influenciada pelo comportamento da di. Tesis de Doctorado, Programa de Posgraduación en Ciencias y Tecnologías de la Salud, Universidade de Brasília.
- [59] F. Castro, (2016), Aprimoramento de um baropodômetro eletrônico e análise de establiometria em voluntários com escoliose, Tesis de Maestría, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
- [60] N. Khalil, C. Chauvière, L. Le Chapelain, H. Guesdon, E. Speyer, H. Bouaziz, D. Mainard, J.M. Beis, J. Paysant, "Plantar pressure displacement after anesthetic motor block and tibial nerve neurotomy in spastic equinovarus foot", *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 53(2), 219–228, 2016.
- [61] H. Neto, L. Grecco, L. Braun Ferreira, T. Christovão, N. Duarte, C. Oliveira, "Clinical analysis and baropodometric evaluation in diagnosis of abnormal foot posture: A clinical trial," *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 19(3), 429–433, 2015.
- [62] A. Notarnicola, G. Maccagnano, V. Pesce, S. Tafuri, M. Mercadante, A. Fiore, B. Moretti, "Effect of different types of shoes on balance among soccer players", *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 5(3), 208-213, 2015.
- [63] I. García, R. Zambudio, Ortesis, calzado y prótesis, *Tratado del pie diabético*, pp. 139–153, 2002.