

7. Principios de Biomecánica Aplicados al Diseño de Calzado

Principles of Biomechanics Applied to the Footwear Design

Jair Loaiza^{1*}, Maria Angélica Acosta^{2**}

¹Universidad ECCI, Bogotá D.C., Colombia.

* jloaizab@ecci.edu.co

** macostap@ecci.edu.co

RESUMEN

Los zapatos son la prenda de uso diario más importante. Proveen protección, comodidad y equilibrio en el movimiento de las personas. Sin embargo, su incidencia en la estabilidad y el correcto funcionamiento de la cadena cinemática formada por cadera, fémur, rodilla, pantorrilla, tobillo y pie todavía no se encuentra claramente establecida y delimitada. La comodidad es un concepto íntimamente ligado al uso del zapato que se puede ver comprometida por la estética o el estatus. Muchos diseños comerciales no tienen en cuenta una serie de consecuencias referidas a malformaciones y lesiones por el uso de calzado inadecuado. En cerca del 80% de la industria del calzado en Colombia, el diseño de calzado no es un proceso correctamente concebido desde el punto de vista de la ingeniería. Son muy pocos los fabricantes que ofrecen productos diseñados con criterios biomecánicos y ergonómicos, pero a costos muy altos para la mayoría de la gente. El Grupo de Investigación en Biomecánica, adscrito al Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia de la Sede de Bogotá, ha adelantado un completo estudio sobre los aspectos biomecánicos y ergonómicos más relevantes a tener en cuenta en el diseño de calzado. Los resultados de esta investigación se resumen en este trabajo.

Palabras clave: Biomecánica, Ergonomía, Diseño de calzado, Comodidad, Rehabilitación.

Recibido: 15 de agosto de 2019. Aceptado: 1 de Octubre de 2019

ABSTRACT

Shoes are the most important everyday garment. They provide protection, comfort and balance in the movement of people. However, their impact on the stability and proper functioning of the kinematic chain formed by hip, femur, knee, calf, ankle and foot is still not clearly established and delimited. Comfort is a concept intimately linked to the use of the shoe that can be compromised by aesthetics or socioeconomic level. Many commercial designs do not take into account a series of consequences related to malformations and injuries due to the use of inappropriate footwear. In about 80% of the footwear industry in Colombia, footwear design is not a properly conceived process from an engineering point of view. Very few manufacturers offer products designed with biomechanical and ergonomic criteria, but at very high costs for most people. The Biomechanics Research Group, attached to the Department of Mechanical Engineering and Mechatronics of the National

University of Colombia at Bogotá headquarters, has carried out a complete study on the most relevant biomechanical and ergonomic aspects to be taken into account in footwear design. The results of this research are summarized in this work.

Keywords: Biomechanics, Ergonomics, Footwear design, Comfort, Rehabilitation.

Received: August 15th, 2019 Accepted: October 1st, 2019

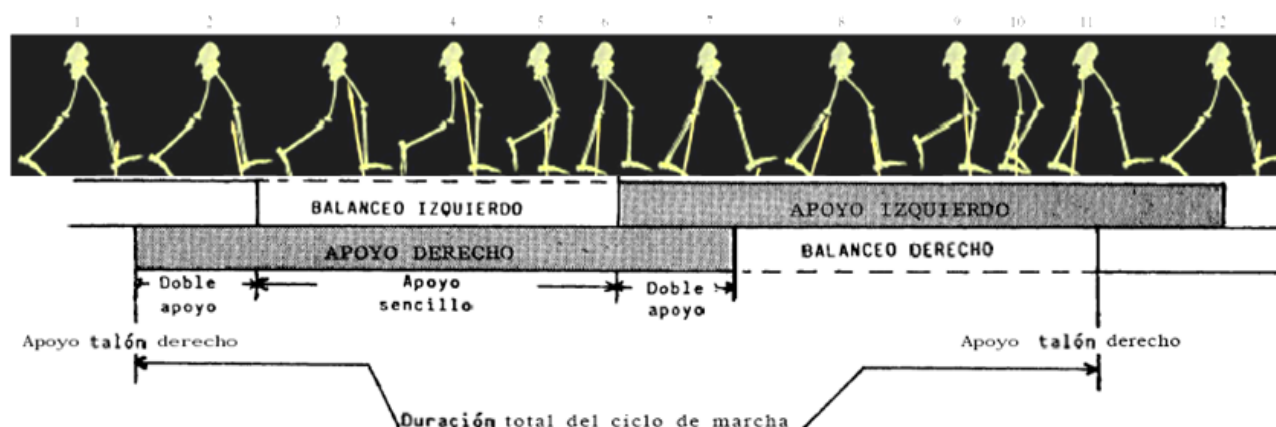


Fig. 1. Modelo de un ciclo de caminata. [1]

1. INTRODUCCIÓN

La introducción de criterios de medicina deportiva, biomecánica e ingeniería, al diseño de calzado, especialmente en el área deportiva, ha permitido a algunas de las grandes empresas desarrollar tecnologías de punta encaminadas a la elaboración de zapatos cada vez más cómodos y altamente especializados para cumplir funciones muy específicas. Tal es el caso de los guayos para la práctica del fútbol o de las zapatillas para el atletismo, esto como consecuencia de la necesidad de optimizar el rendimiento de los atletas minimizando el riesgo de lesiones e incrementando sus posibilidades de éxito en la competición. Dentro de las consideraciones tenidas en cuenta a la hora de diseñar un zapato deportivo se encuentran desde la protección y la estabilidad hasta la aerodinámica y el bajo peso, o el incremento de las propiedades de amortiguación.

Sin embargo, en Colombia poco se sabe sobre el diseño de calzado deportivo, y la industria se encuentra muy alejada de las tecnologías y progresos que se realizan a nivel mundial en este campo. Como consecuencia de ello, la competitividad del producto se reduce a los diseños de calzado encaminado a otras actividades donde aún se considera que la tradición y los

conceptos utilizados desde hace más de 50 o 60 años son válidos en el presente, desconociendo la influencia que el calzado pueda tener en el desempeño cotidiano del ser humano.

El presente trabajo buscó determinar el nivel de conocimientos en diseño de calzado que posee la industria, tomando como muestra algunas de las fábricas más representativas y los pequeños productores de la ciudad de Bogotá. Los parámetros investigados tienen que ver con los conceptos de biomecánica, ergonomía y antropometría principalmente, y en forma secundaria, normatividad, control de calidad en las materias primas, y en el producto terminado, secuencia de diseño y fabricación e innovación.

El grupo de investigación en biomecánica adscrito al departamento de ingeniería Mecánica y Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, viene trabajando con el apoyo de la DIB (*División de Investigación sede Bogotá*) en el proyecto denominado “Fundamentación teórica de la marcha humana para aplicaciones ortopédicas y de rehabilitación” del cual el estudio aquí mostrado hace parte, donde el aporte del mismo a los objetivos del proyecto radica en ser una de las aplicaciones de la información generada a través de los análisis realizados sobre pacientes con problemas de

marcha, [1] ya sean congénitos o generados por algún tipo de accidente, para el diseño de prótesis de miembro inferior.

2. MATERIALES Y MÉTODO

A. Ciclo de marcha humana

El conocimiento del ciclo de la marcha humana (Figura 1) [2] y sus fases es fundamental para establecer las relaciones existentes entre las fuerzas generadas por este y sus consecuencias sobre la estructura ósea y muscular, especialmente de conjunto tobillo-pie, objetivo principal de la aplicación en calzado. La marcha humana presenta dos fases claramente identificables, estas son:

1. Fase de apoyo, la cual a su vez se divide en:

- Fase de contacto inicial.
- Fase inicial de apoyo o respuesta a la carga.
- Fase media de apoyo.
- Fase final de apoyo.
- Fase previa de la oscilación.

2. Fase de oscilación:

- Fase inicial de oscilación.
- Fase media de oscilación.
- Fase final de oscilación.

La fase de contacto inicial es el momento en el cual el pie entra en contacto con el suelo, esta fase no posee una delimitación estricta, pero posiciona el pie para iniciar el apoyo, por lo general se hace a través del talón.

La fase de respuesta a la carga, también se identifica como el primer periodo de doble apoyo, es decir que transcurre entre el despegue del pie contrario y el contacto inicial del pie de apoyo, en esta parte el miembro inferior absorbe el impacto producido en el talón manteniendo la estabilidad.

El despegue del suelo del pie contrario marca la

fase de apoyo monopodal que se divide en dos; la primera marcada hasta el instante en el cual el talón se despegue del suelo. Tras el apoyo completo del pie se produce una dorsiflexión controlada de la rodilla, finalizada esta, la rodilla comienza a extenderse y se estabiliza el cuerpo en el plano frontal.

La segunda fase de apoyo monopodal, inicia con el despegue del talón y finaliza cuando el pie contrario hace contacto con el suelo. Hacia este instante el cuerpo ya ha sobrepasado el pie de apoyo cayendo hacia adelante. El contacto del miembro contrario inicia la segunda fase de apoyo doble o fase de oscilación previa, que culmina con el despegue del pie. En esta se prepara para el balanceo ya que se transfiere la carga rápidamente al otro miembro. La fase final de oscilación culmina con un contacto del miembro con el piso que da paso a una nueva zancada [3].

B. Dinámica del conjunto tobillo- pie durante un ciclo de marcha

El tobillo no experimenta gran movilidad durante el ciclo de marcha, sin embargo, su papel es de progresión y absorción del impacto en la fase de apoyo y facilitar el avance del miembro inferior durante la fase de oscilación. El rango de movimiento de la articulación oscila entre los 20° y los 40°. Durante el contacto inicial del talón, el tobillo está en posición neutra o ligeramente flexionado hacia la planta. Durante la fase de respuesta a la carga se manifiesta el primer arco de flexión plantar y en el instante de contacto completo del pie se pasa hacia la flexión dorsal. A partir del instante de despegue del talón se inicia una nueva flexión plantar que se acelera hasta el contacto con el suelo del pie contrario con un máximo de 30° al final del apoyo [4]. La dorsiflexión final inicia con el despegue del pie hasta conseguir una flexión muy cercana de la neutra en la fase media de oscilación.

Durante el apoyo, la demanda sobre el tobillo proviene de la reacción del piso y del peso del

cuerpo. A lo largo del apoyo el centro de presiones recorre la base del pie partiendo en el talón hasta las articulaciones metatarsofalángicas, como consecuencia la fuerza de reacción pasa de ser posterior al tobillo a una posición anterior a él.

El pie debido a su posición distal en el miembro inferior constituye el elemento de contacto del cuerpo con el suelo en la gran mayoría de las actividades motoras humanas. Sus funciones principales son el apoyo y la canalización de la carga que él mismo lleva hacia segmentos más proximales del organismo. La estructura del pie es altamente compleja y consta de múltiples elementos óseos, musculares y ligamentosos que le confieren sus particulares características mecánicas [4].

Su movilidad está enmarcada por una serie de articulaciones intrínsecas entrelazadas por elementos activos y elásticos de las cuales las más relevantes son la subastragalina, la mediotarsiana y las metatarsofalángicas.

La articulación subastragalina posee un eje de rotación oblicuo que permite al pie una inclinación medial (*Inversión*) y lateral (*eversión*) que son latentes tanto en la fase de apoyo como en la de oscilación. Respecto de la articulación mediotarsiana, se observa un movimiento de aplanamiento y recuperación del arco durante la marcha.

El aplanamiento sucede en la fase media de apoyo junto a una ligera dorsiflexión, el arco vuelve a elevarse y recuperar su alineación neutra en el despegue del talón. Las articulaciones metatarsofalángicas presentan una inclinación de 25° hacia arriba en el instante de contacto del talón con el suelo, a continuación, en el apoyo completo del pie adoptan una posición neutra volviendo a mostrar una nueva flexión dorsal en el despegue del talón alcanzando un ángulo de 21° en el despegue del talón con el suelo, en la fase de oscilación continua esta tendencia hasta

llegar a la máxima dorsiflexión de 55° [4].

A partir de este momento los dedos recuperan su alineación con lo metatarsianos y a continuación se flexiona dorsalmente preparándose para el siguiente contacto al asumir el peso del cuerpo, la planta del pie determina una distribución de presiones plantares dependiendo de la fuerza de reacción generada por la superficie de contacto disponible. En un breve lapso de tiempo la fuerza de reacción alcanza un 70% a 100% del peso total del cuerpo obteniéndose presiones de hasta 1018kPa [5].

C. Parámetros de fabricación de calzado

El zapato cumple entre otras, la función de proteger al pie, para tal fin se elabora en materiales mucho más resistentes que la piel humana a factores como la temperatura y los accidentes del terreno. En la actualidad los materiales más utilizados en la fabricación de calzado son el cuero, algunos polímeros y el caucho los cuales poseen ciertas propiedades de flexibilidad y resistencia que los hacen aptos para este propósito. Las partes fundamentales de un zapato son:

- **Corte:** Parte superior, compuesta por la capellada, el talón, la caña y la puntera entre otros componentes.
- **Capellada:** Parte del corte que cubre el pie desde los enfranques laterales interno y externo hasta la punta de los dedos.
- **Talón:** cubre la zona del talón del pie.
- **Caña:** Parte del corte que cubre el pie desde la parte superior del empeine hasta la parte posterior-superior del talón.
- **Enfranque interno:** Parte del corte que va desde el sector posterior del arco plantar hasta el punto de inicio interno de la línea metatarsiana del pie.
- **Enfranque externo:** Se localiza desde la terminación posterior del arco plantar al punto de inicio externo de la línea metatarsiana del pie.
- **Boca:** Parte por donde se introduce el pie.
- **Puntera:** Componente del corte que refuerza la

capellada colocada entre esta y el forro y sirve para dar soporte, estabilidad y mantener la forma del zapato.

- **Contrafuerte:** Refuerzo y soporte del talón.
- **Lengüeta:** Parte del cote que cubre el empeine de los pasadores ganchos y las presiones producidas por los cordones.
- **Piso:** Parte inferior del zapato.
- **Falsa:** Componente del zapato donde se fija el corte, sirve para montar este en la horma en el proceso de armado.
- **Cambrillón:** Componente que mantiene el arco del calzado.
- **Suela:** Parte que sirve de base del zapato y está en contacto con el suelo.
- **Tacón:** Soporte colocado bajo la parte posterior del zapato y que proporciona la altura requerida respecto de la parte anterior.
- **Plantilla:** Elemento que cubre la falsa por el lado interno y sobre la cual descansa la planta del pie.

La especialización del calzado y su división dependiendo del tipo de actividad ha hecho que los métodos y principios de su diseño sean regidos por las exigencias de la actividad específica a la que están encaminados. Así se encuentra que los parámetros de diseño para un zapato deportivo varían de los mismos aplicados a los zapatos de calle. Una primera división de seis (6) categorías generales de acuerdo a las necesidades que cubren, fue la siguiente:

I. Calzado con gran capacidad de amortiguación: brindan un máximo de amortiguación y se sienten más blandos y suaves al pisar que cualquiera de las demás categorías, para lograr esto sus diseños resignan la capacidad para controlar movimientos viciosos (*inestables*) y disponen de pocos o ningún tipo de elemento para incrementar la rigidez.

II. Calzados estables: Estos diseños intentan conciliar las características de amortiguación con las de control de movimientos inestables del pie. Generalmente vienen provistos de algún tipo de inserto plástico o bien de una goma de mayor

densidad en la mitad interna de la entresuela, típicamente distinguible ya que la suela de mayor densidad se fabrica de otro color al del resto.

III. Calzados con gran control de movimiento: Con un énfasis en la rigidez, los zapatos de esta categoría se diseñan pensando en ofrecer un máximo control, de los movimientos viciosos que se produzcan en el apoyo del pie en carrera fundamentalmente la sobrepronación. Articulaciones tales como insertos plásticos, entresuelas de mayor espesor y de poliuretano, y contrafuertes en el talón más rígidos son algunos de los elementos de los que se valen los fabricantes para lograr productos eficaces en esta categoría.

IV. Calzados de entrenamiento livianos: Aquí se consideran aquellos tipos de zapatos que, siendo más livianos y flexibles que los anteriores, conservan cualidades de amortiguación y control de movimiento mínimas para las aplicaciones requeridas.

V. Calzado de competición: Estos zapatos llevan al extremo la disminución del peso en favor de suministrarle al corredor un mejor rendimiento teórico (*cuanto menor sea el peso transportado por los pies, menor será el gasto de energía*). Tienen una silueta sumamente perfilada, lo cual los hace muy flexibles, y la entresuela se reduce a una mínima expresión tanto en espesor como en peso.

VI. Calzado todo terreno: Con la popularización de las actividades al aire libre, han aparecido en el mercado, nuevos productos encaminados a suplir las necesidades generadas por estas actividades. Se han diseñado zapatos para las duras condiciones que imponen las travesías por terrenos naturales y altamente agresivos con refuerzos en la capellada y especialmente en la zona de los dedos para protegerlos de golpes contra rocas u otros elementos.

La mala utilización y escogencia del calzado acarrea serios problemas de malformaciones y patologías dolorosas. Algunos de los problemas más comunes presentados por el uso de calzado no adecuado son:

- Dedos de martillo: Retracción de dos o más dedos que provocan roces y callosidades.
- Espolones del calcáneo: Dolor que aparece en el talón por una inflamación del tejido que acaba por endurecerse.
- Juanetes: Desviación del primer dedo que acaba presentando una protuberancia en un lado del pie.
- Metarsalgias: Dolor en la planta del pie que suele acompañarse de callosidades centrales.
- Onicocriptosis: Las uñas se clavan en los lados de los dedos por causas como la utilización de calzado muy estrecho.
- Tendinitis: Irritación e inflamación del tendón ubicado en la parte posterior del talón.

D. Diagnóstico de la industria

Uno de los objetivos de esta investigación fue averiguar qué tanto se sabe de biomecánica, ergonomía y antropometría en el medio del calzado en Colombia. Para cumplir con este objetivo se diseñó y aplicó una encuesta a algunas de las más representativas industrias productoras de calzado y a pequeños fabricantes ubicados en la ciudad de Bogotá (*Hevea, Darío calzado informal, Bots, Bosi, C.I. Uniroca S.A., Caprino, Grulla, La Corona, Croyfast, entre otros*) y algunos fabricantes. La encuesta se dividió en dos tipos ya que algunos cuestionamientos no eran factibles de aplicar a los pequeños productores. La encuesta indagó sobre conocimiento de normatividad, forma de seleccionar la materia prima, criterios de selección de los modelos de producción, investigación de mercados, biotipo del colombiano promedio, costumbres de los consumidores desde el punto de vista de los fabricantes, tipos de calzado producidos en Colombia, conocimiento y utilización de tecnología y control de calidad entre otras variables, siendo las más relevantes las antes mencionadas.

Los resultados que la encuesta arrojó son un poco desconcertantes, especialmente en lo referente

al conocimiento de las normas técnicas para la selección del material, creación y escogencia de los diseños y uniformidad en los tamaños. Algunos de los indicadores arrojados por el análisis final de los datos recogidos fueron:

El calzado deportivo especializado es uno de los que menor porcentaje en la producción

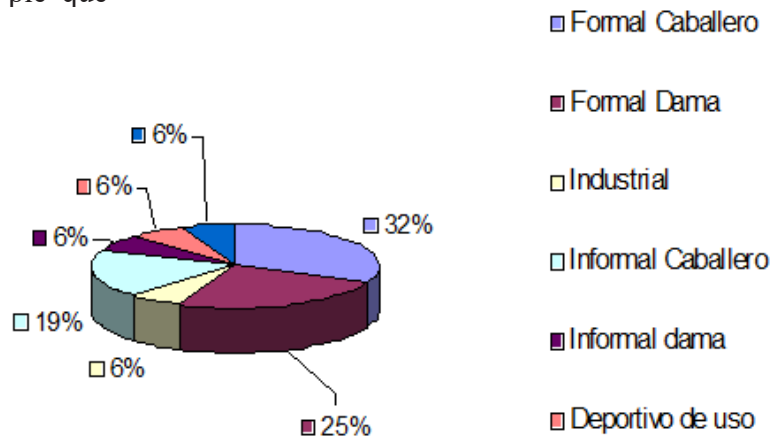


Fig. 2. Porcentaje de producción de algunos tipos de zapatos.

presenta. (Figura 2). Al tratar de indagar en el porqué de esta situación la mayoría de los fabricantes manifestaron no poseer la tecnología para producirlo y no poder competir de manera adecuada con los productos importados de marcas reconocidas a nivel mundial. Mientras que el tipo de calzado formal, tanto para hombre como para mujer, es el que se lleva la mayor parte de la producción, esto debido a que su fabricación aún es posible llevarla a cabo de manera manual casi en su totalidad. En algunos casos la maquinaria utilizada por las industrias tiene más de 20 años, y este renglón de la producción no requiere mayor inversión en tecnología, según los propios fabricantes.

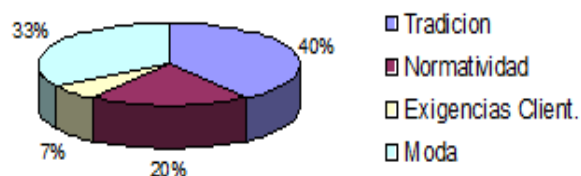


Fig. 3. parámetros de mayor incidencia la fabricación de Calzado.

Si se observa los parámetros de mayor relevancia a la hora de fabricar un zapato, (Figura 3) no se encuentra la ergonomía o la antropometría, el desconocimiento por parte de los fabricantes de estos conceptos es casi total. A la hora de hablar de diseño se encontró que en el país son muy pocos los fabricantes que diseñan el calzado que fabrican, la gran mayoría copia y adapta modelos españoles o italianos.

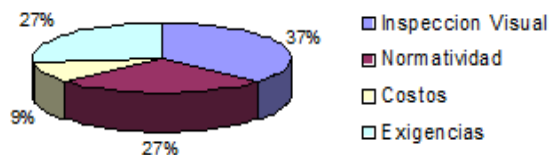


Fig. 4. Criterios de selección más relevantes para las materias primas.

Otro aspecto que reveló ser muy poco tenido en cuenta es el relacionado con la selección de las materias primas, (Figura 4) el principal criterio de selección es la simple inspección visual, muy pocos fabricantes saben o conocen acerca de las normas técnicas emitidas por el ICONTEC [6] relacionadas con las pruebas a las que deben ser sometidos los cueros para considerarse aptos para la fabricación de calzado, tampoco se conocen los parámetros utilizados para la selección de suelas ni de las fabricadas en cuero o de las elaboradas en caucho, son más importantes las exigencias del cliente y los costos de producción.

Otro resultado fue la evidente preocupación de la industria alrededor del tema de las hormas utilizadas en los procesos de fabricación, ya que estas no están estandarizadas y ello se ha convertido en un serio obstáculo a la hora de exportar.

En cuanto al control de calidad en la gran mayoría de las industrias y talleres visitados se hace por inspección visual, uno o dos realizan pruebas mecánicas al producto terminado, los demás se limitan a determinar los acabados y a cubrir las imperfecciones con tintes. Se consultó sobre la necesidad de caracterizar el biotipo del colombiano ya que algunos fabricantes manifestaron que al adaptar los modelos europeos encontraban dificultades como las diferencias entre las alturas de los arcos plantares y de las áreas de apoyo al nivel de los metatarsianos. En los colombianos los arcos plantares son más pronunciados y el apoyo plantar tiene una mayor área al nivel de la zona donde los dedos se flexionan, esto hace que el calzado fabricado en el país no tenga en cuenta el biotipo del público objetivo y sean los consumidores los que deban adaptarse al producto y no el producto a ellos.

Los fabricantes elaboran zapatos para el mercado local con total desconocimiento de la antropometría y de las costumbres de consumo, además existe la concepción que un zapato es bueno cuanto más tiempo dure, y los expertos aconsejan cambiar el par entre 4 a 6 meses después de iniciado su uso ya que a medida que transcurre el tiempo los zapatos pierden propiedades de ajuste y forma que van en detrimento de la salud de los pies.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La elaboración de un estudio estadístico que, de claridad sobre las características del consumidor colombiano, tanto a nivel de Antropometría del pie como un estudio de presiones plantares, permitiría, por ejemplo, obtener hormas acordes con la fisiología particular del pie, así como una estandarización de las tallas. Este primer paso le corresponde realizarlo tanto al gremio como a la academia, y les brindaría a los fabricantes información crucial para mejorar la calidad de su producto.

El estudio suministraría información adicional sobre los patrones de consumo, como el promedio de compra anual del consumidor, las épocas más favorables para lanzar colecciones y productos nuevos, las tendencias que maneja el público, etc. A nivel de diseño, el estudio de presiones plantares permitiría rediseñar las suelas y otorgarles propiedades de absorción de impacto importantes que llevarían a una considerable reducción en las lesiones de rodilla y tobillo.

Estas reformas sobre las suelas conllevarían al rediseño de las capelladas reforzándolas en los lugares donde los esfuerzos laterales se ven incrementados en razón de la particular adaptación del pie a la topografía. Como el zapato debe minimizar el riesgo de lesiones, proporcionar confort y optimizar el tipo de actividad que el portador del mismo esté ejecutando, algunas de las características específicas que los nuevos diseños deben suplir son:

- **Contrafuerte:** asegura el talón al zapato y evita el movimiento excesivo de la articulación del tobillo. Debe ser no muy rígido para no provocar incomodidad, pero lo suficientemente firme para evitar desviaciones del talón.

- **Almohadilla postero/superior:** Está ubicada sobre el contrafuerte, cubre la región del talón y la parte inferior del tendón de Aquiles. Debe ser blanda para evitar erosión (*roce continuo que produce desprendimiento de piel*) sobre dicho tendón.

- **Cuña:** Está ubicada en la zona donde el talón hace contacto con el piso del zapato, entre la suela externa y la intermedia. Debe estar elaborada en un material blando, ya que su misión es amortiguar la carga de impacto producida al momento en que el talón hace contacto con el suelo.

- **Tacón:** Ensanchado para incrementar la estabilidad y obtener una superficie de apoyo más amplia. El bisel en su parte posterior permite una distribución de presión más uniforme a la hora del contacto con el piso.

- **Parte anterior de la suela:** Debe ser muy

flexible y levemente convexa para ayudar al despegue de los dedos del suelo.

- **Suela con relieves:** Para incrementar el agarre la suela debe ser diseñada con algunos relieves, que pueden ser tacos o canales que cumplen la función de desalojar el agua al pisar superficies húmedas, y evitar resbalones.

- **Plantilla blanda interior:** Debe ser suave para evitar roces y con arco; este debe ajustarse perfectamente al arco del pie para evitar la sobrepronación. Además, debe estar elaborada en un material que absorba el exceso de humedad producto de la actividad de caminata.

- **Lengüeta almohadillada:** Debe estar elaborada en un material que sirva de “colchón”, como la espuma o fibras de algodón, para evitar roces en el dorso del pie y tendinitis compresivas en la zona del empeine que produzcan traumas y dolores.

- **Pala:** Debe ser flexible en la zona de los dedos para aliviar las presiones mecánicas, sobre las prominencias óseas.

Además de los parámetros ya descritos, un aspecto fundamental dentro del diseño es el material que se utilizará para la fabricación del zapato. Básicamente, hay dos materiales principales: el material seleccionado para la fabricación de la suela, y el seleccionado para la elaboración de la capellada. En cuanto al material de la suela, debe cumplir ciertas características, estas son:

1. Flexible, para soportar los continuos ciclos de flexión y extensión a los que la suela se ve sometida durante la caminata.
2. Resistente a la abrasión, ya que será llevado a diferentes terrenos donde el nivel de fricción variará dependiendo de las propiedades del suelo.
3. Suficientemente rígido para no deformarse permanentemente debido al peso del portador.
4. Con características de amortiguación para absorber la mayor cantidad de energía durante los impactos sucesivos de la marcha.

El desarrollo de materiales que estén en capacidad de cumplir con estos requerimientos está muy avanzado en la época actual. La mayor parte de

las suelas son combinaciones de polímeros como el poliuretano, el poliestireno expandido, látex, caucho natural o combinaciones de estos, que garantizan una durabilidad considerable (*superior a los 6 meses*), flexibilidad, baja deformabilidad, agarre en diferentes terrenos, resistencia al desgaste y al ataque de compuestos químicos, además de proteger de golpes y poseer cualidades amortiguantes. También son fáciles de formar por procesos como la inyección o el vulcanizado, lo cual permite darles las formas adecuadas a las suelas, de acuerdo a las características que se desean posea el zapato.

En cuanto a la capellada, la selección de material es un poco menos compleja, ya que el material que es usado con más frecuencia es el cuero, sin darle demasiada importancia al origen del mismo. Así se encuentran cueros de becerro, de oveja, e incluso de canguro. Sin embargo, no todos los modelos de zapatos están elaborados en cuero; hoy en día los nuevos materiales poliméricos también han incursionado en este campo, fibras como el Nylon, son muy usadas en algunas aplicaciones. El material de la capellada también debe cumplir con ciertos requisitos como lo son resistencia a la flexión, a la intemperie, al rozamiento, al desgarramiento, permitir la transpiración del pie y mantener una temperatura adecuada dentro del zapato a la hora de la actividad. En esta materia un estudio de humedad y temperatura dentro del zapato a la hora de entrar en actividad, sería muy conveniente para mejorar los criterios de selección de los materiales, ya que el exceso de humedad propicia la formación de ampollas y el cultivo de ciertos hongos, además del mal olor.

Vale la pena recordar también que, dependiendo de la aplicación específica del zapato, el material será exigido en mayor o menor forma en algunas de sus características.

4. CONCLUSIÓN

En la industria del calzado existe un total desconocimiento de las normas técnicas utilizadas para la selección de la materia prima. Casi la totalidad de las empresas encuestadas hacen dicha selección por simple inspección visual, ignorando si las propiedades mecánicas de esos materiales cumplen mínimamente los requerimientos para ser utilizados en la fabricación de zapatos.

Tampoco existe interés por conocer esta normatividad; el método de inspección visual, les ha funcionado desde siempre y la mayoría afirma que por lo tanto no hay necesidad de cambiarlo o complementarlo. En especial los pequeños productores consideran que la aplicación de las normas técnicas es una pérdida de tiempo, y en el mejor de los casos, no hacen más que complicar el proceso de fabricación.

No existe un criterio de uniformidad en materia de tallas; se pueden encontrar hasta 3 o 4 tamaños diferentes que corresponden a la misma talla nominal. Esta falta de acuerdo es uno de los parámetros que ha impedido que el calzado colombiano penetre en los mercados internacionales, ya que fuera del país los productos si deben cumplir con ciertas especificaciones y normatividades para ser aceptados y justamente uno de ellos es la estandarización en el tamaño. Pero a pesar de la existencia de un gremio de productores de zapatos y manufacturas en cuero, el tema no ha sido asumido con la seriedad que merece. Una vez más es consecuencia de que el mercado interno es bastante laxo con este tipo de especificaciones. Desinterés y desconocimiento son las causales de esta actitud.

El total desconocimiento en cuestiones relativas a la ergonomía en el diseño y la antropometría del pie de los colombianos, es generalizado. El calzado producido en Colombia no tiene ningún tipo de fundamentación científica. Los zapatos hechos en el país son copias de modelos

extranjeros, adaptados a medias al entorno. Los fabricantes viajan a las ferias de calzado en el extranjero, compran un modelo con su horma y viene al país a copiarlo, sin tener en cuenta si el mercado objetivo de ese diseño, que si se tuvo en cuenta a la hora de realizarlo en el país donde fue adquirido, tiene algo en común con el mercado colombiano.

Se observó la necesidad de implementar un laboratorio de pruebas de marcha para evaluar si los criterios de diseño con los cuales son concebidos los nuevos productos se cumplen a cabalidad. La Universidad Nacional De Colombia es el órgano más idóneo para implementar este laboratorio por su amplia experiencia en materia de investigación biomecánica. El acercamiento con la industria del calzado y el trabajo de común acuerdo entre el gremio y la Universidad permitiría que este laboratorio funcione, aportando nuevos parámetros de diseño para jalonar el desarrollo de la industria del calzado que en Colombia está tendiendo a desaparecer.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Diego Garzón por su valiosa colaboración durante todo el transcurso de la investigación, y por su apoyo.

A la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo financiero en la realización de la investigación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. T. Hsiao y S. N. Robinovitch, «*Common protective movements govern unexpected falls from standing height*», J. Biomech., vol. 31, n.o 1, pp. 1-9, 1997.
- [2] R. J. Abboud, «*(i) Relevant foot biomechanics*», Curr. Orthop., vol. 16, n.o 3, pp. 165-179, jun. 2002.
- [3] A. I. Kapandji, FISIOLÓGIA ARTICULAR, vol. 1, 2 vols. Bogotá: Editorial Medica Panamericana, 2012.
- [4] J. Sánchez-Lacuesta et al., «Biomecánica de la

marcha humana normal y patológica», Valencia Inst. Biomecánica Valencia, vol. 1, 1993.

[5] Loaiza J. L., «Principios del Diseño Biomecánico de Calzado», Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2003.

[6] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, «Norma Técnica Colombiana para la determinación de la rotura en el lado Flor. Cueros y suelas.» Icontec, 1985.