

## ESTUDIO MORFOLÓGICO DEL PIE APLICADO AL DISEÑO FUNCIONAL DEL CALZADO DE TACÓN

*Sandra Alemany Mut  
Beatriz Nácher Fernández*  
Instituto de Biomecánica de Valencia

**LA EMPRESA CICASA, FABRICANTE DE PISOS Y PLANTILLAS PARA CALZADO, HA REALIZADO** un proyecto de investigación en colaboración con el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV) dirigido a obtener criterios funcionales de diseño para el quiebre del zapato de señora en función de la altura del tacón. Como resultado se ha obtenido un estándar de curvas para que el diseño del quiebre del calzado de señora sea ergonómico y esté adaptado a la forma de los pies de la población española, mejorando así el confort del calzado de tacón. Este trabajo supone una importante contribución a la industria del calzado y sus componentes, ya que estas curvas pueden aplicarse también al diseño de otros componentes del calzado además de los pisos como hormas, cambrillones, etc.

### **Morphological study of the foot applied to the functional design of the high-heeled shoes**

The company CICASA, manufacturer of soles and insoles for footwear, has carried out a research Project in collaboration with the IBV aimed to obtain design functional criteria for the shank of woman footwear in function of the height of the heel. As a result, a standard of curves has been obtained in order that the design of the shank will be ergonomic and it will be adapted to the shape of the feet of the Spanish population, improving, in that way, the comfort of the high-heeled shoes.

This research work is an important contribution to the Footwear Industry and the Components Industry, as these curves can also be applied to the design of other shoe components besides of the soles, as lasts, steel shanks, etc.

### **INTRODUCCIÓN**

Un aspecto fundamental en el diseño del calzado femenino es la altura del tacón que puede oscilar entre alturas de 1 ó 2 cm de tacón hasta alturas de 9 ó 10 cm. Aunque los zapatos de tacón pueden resultar muy elegantes según los cánones

estéticos occidentales, el tacón modifica la posición del pie, produciendo una alteración postural y la modificación de la distribución de cargas en el pie. Esto hace que este tipo de calzado sea en muchas ocasiones incómodo y pueda llegar a provocar la aparición de problemas en los pies y la espalda,

>

> siendo recomendable su uso en ocasiones puntuales y no como calzado de uso diario.

Un diseño inadecuado del calzado de tacón puede agravar considerablemente estos problemas intrínsecos al uso de un tacón alto, siendo la curva del quiebre de la suela uno de los aspectos fundamentales para mejorar el confort y salubridad de este calzado. Estudios realizados sobre la distribución de cargas en el pie en función de la altura de tacón muestran un aumento progresivo de la presión en la zona del antepié y una pérdida de carga en el talón y el mediopié a medida que se aumenta la altura de tacón (Figura 1). Esta tendencia empeora con un quiebre inadecuado, llegándose a perder el contacto del mediopié con la suela. Este hecho, unido a la estructura habitual del calzado de tacón, provoca la aparición de puntos de sobrepresión en la zona de los metatarsianos, ocasionando molestias, metatarsalgias y otras alteraciones patológicas. Además, al estar más elevada la parte posterior del pie que la anterior, un quiebre inadecuado provoca que el pie resbale hacia delante y los dedos se amontonan en la punta (que suele ser estrecha en los zapatos de tacón) favoreciendo la deformación de los dedos: en garra, montados o la aparición de juanetes, al ser presionado el dedo gordo hacia la zona medial del pie siguiendo la forma del zapato.

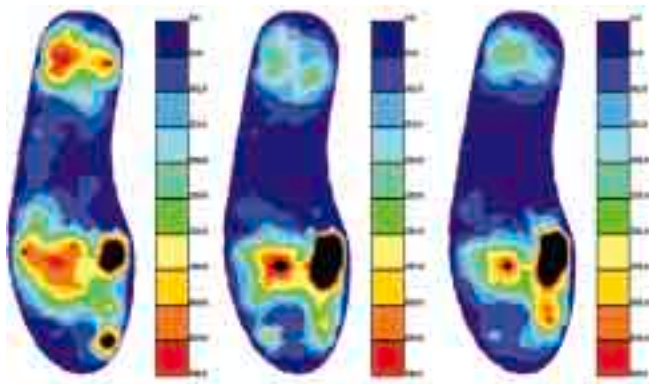


Figura 1. Patrón de presiones plantares que se producen en el pie llevando zapatos con alturas de tacón de 2, 4 y 6 cm.

Pese a la importancia de este aspecto, actualmente, en el proceso de diseño de calzado, la adaptación de los componentes (horma y piso) a la forma de los pies en la zona del quiebre se realiza de forma artesanal utilizando patrones de curvas que se han generado en un largo proceso de prueba-error. Pero estos patrones, que difieren de unas empresas a otras, nunca han sido validados.

Así, el objetivo del proyecto promovido por CICASA ha sido obtener curvas estándar del quiebre para el diseño de pisos fabricados por inyección o vulcanizado que se adapten a la forma de los pies con distintas alturas de tacón, mejorando el confort del calzado femenino.

## METODOLOGÍA

Para la comparación de formas entre pies y quiebres, así como para el análisis de hormas, es necesario utilizar técnicas de análisis morfológico, ya que con simples medidas de distancias, perímetros o áreas no es suficiente dada la enorme variedad y complejidad de las formas existentes. Estas técnicas emplean diferentes métodos para identificar y

establecer pautas y reglas de crecimiento así como formas comunes. Esta problemática no es nueva, ya que diferentes ciencias, como la Antropología, Biología, Embriología, etc., se han enfrentado al estudio de formas complejas desde la necesidad de la comparación con otras y del estudio de su crecimiento y/o evolución en el tiempo. Es por ello que se encuentra una gran variedad de técnicas para el análisis de formas complejas, algunas de las cuales se vienen empleando recientemente para el desarrollo de productos.

Para realizar un análisis de formas se debe realizar previamente todo un proceso de captura de datos de dicha forma. En función del análisis posterior que vaya a realizarse sobre los datos se utilizarán unas técnicas de captura u otra. En el caso del pie, se trata una forma orgánica en 3D muy compleja, cuyo contorno y forma es difícil de adquirir y reproducir. Ha sido necesario en el proyecto por tanto la puesta a punto de sistemas digitalización y adquisición de datos 3D y de herramientas de análisis de formas. Estas tareas se han repartido en cuatro fases que se describen a continuación:

### Fase 1.- Puesta a punto del sistema de adquisición

La primera fase del proyecto consistió en la puesta a punto del sistema de adquisición de datos del pie con distintas alturas de tacón. Para ello se desarrolló una plataforma con diferentes alzas (1.5, 2.5, 3.5, 5.5, 7 y 8.5 cm de altura) que simulan la altura de tacón del zapato, permitiendo capturar dos tipos de información:

- *La forma 3D del pie y puntos anatómicos.* Para registrar la forma tridimensional del pie (Figura 2) se utilizó un digitalizador láser, Polhemus Fastscan y un puntero, Fastrak, que permite capturar los puntos anatómicos. Estos equipos utilizan sistemas magnéticos para localizar los puntos en el espacio. El estudio de la forma 3D del pie ha permitido analizar cómo se modifica la morfología del pie al aumentar la altura de tacón.



Figura 2: Adquisición de la forma del pie en 3D para una altura de tacón de 7 cm utilizando el escáner láser Polhemus Fastscan.

- *La curva interior y exterior del pie y puntos anatómicos.* En la aplicación concreta de diseño de quiebres para pisos, se registró en detalle la curva lateral del pie y los puntos anatómicos que se utilizaron posteriormente en la fase de análisis para alinear los pies de los distintos sujetos. Para realizar la adquisición de las curvas interior y exterior y los puntos anatómicos se ha desarrollado un podoscopio que permite capturar la imagen digital del pie, en verdadera magnitud y extraer las curvas del arco que se utilizarán en el diseño. Se incorporó a la escena una rejilla de calibración con



Figura 3: Adquisición de la curva lateral del pie y los puntos anatómicos con alturas de elevación del talón de 2.5, 5.5 y 8.5 cm.

el objetivo de transformar las unidades de los datos de píxeles de imagen a milímetros (Figura 3).

### Fase 2.- Estudio de campo

En el estudio se capturó la curvatura que adoptan los dos arcos laterales del pie de una muestra de mujeres de 19 a 35 años de forma natural, sin la restricción del piso o el material de corte del zapato, con el talón situado a diferentes alturas. Además de registrar la forma 3D del pie y la curvatura del arco, se realizaron pruebas de calce con una muestra de zapatos del mercado con alturas de tacón comprendidas entre 1,5 cm y 7 cm. El objetivo de las pruebas de valoración subjetiva es obtener información acerca de la valoración del confort y ajuste del quiebre de los zapatos de forma que se pueda establecer una relación entre la curva del quiebre del zapato la curvatura del pie y la valoración del confort para cada sujeto (Figura 4).

### Fase 3: Análisis de datos

En primer lugar se ha realizado el procesado de los datos adquiridos en el estudio de campo. El objetivo es estructurar la información adquirida de la forma del pie en un formato que permita realizar, mediante *técnicas de análisis morfológico*, el estudio del pie con diferentes alturas de tacón.

El procedimiento analítico seguido en este proyecto surge de la aplicación de técnicas de morfometría. Así, para digitalizar las curvas del arco y los puntos anatómicos de los pies se utilizó una aplicación que permite capturar puntos sobre imágenes digitales para definir formas o bien *landmarks*, es decir, marcas clave del objeto que en este caso son puntos

anatómicos del pie relacionados con la funcionalidad del calzado.

Las curvas obtenidas en cada imagen se alinearon utilizando para ello los puntos anatómicos mediante un método de alineación de formas asociadas a *landmarks* que consiste en minimizar las distancias entre un centroide común y los *landmarks* de cada objeto.

Para el procesado de las curvas alineadas se desarrolló una aplicación que, tras discretizar el número de puntos de las curvas alineadas, calcula nuevas curvas que representan los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 del conjunto de sujetos que han participado en el estudio (Figura 5).

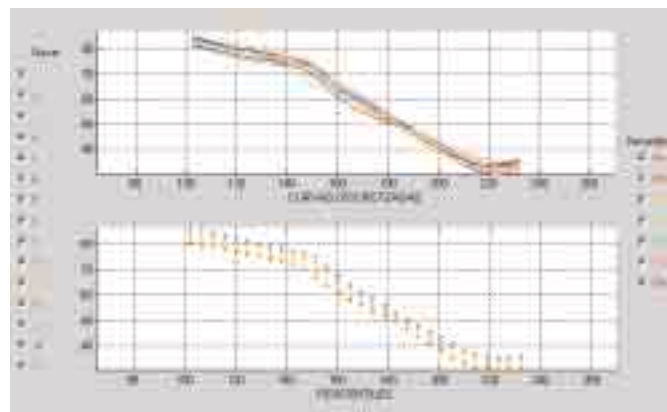


Figura 5: Obtención de los percentiles de las curvas de los sujetos mediante una aplicación realizada en el programa matemático Matlab para el proyecto.

>



Figura 4: Esquema secuencial del estudio realizado en el proyecto: Adquisición de la curva del pie - análisis morfológico de las curvas - aplicación al diseño de calzado de tacón.

**> Fase 4: Implementación de curvas en el diseño del piso y validación**

Las curvas percentil se han exportado a un programa CAD que permite implementar en el diseño de pisos para calzado las curvas obtenidas en el estudio.

Para realizar la validación se han diseñado diversos pisos a partir de las curvas obtenidas para los percentiles de la población en tres alturas de tacón que ha permitido comprobar el resultado del estudio en zapatos de tacón bajo, medio y alto.

**CONCLUSIONES**

Este proyecto ha permitido obtener criterios de diseño para generar las curvas óptimas del quiebre en cada altura de tacón y avanzar en la generación de conocimientos sobre el efecto del quiebre en el confort del calzado. Este trabajo supone una importante contribución a la industria del calzado y sus componentes, ya que estas curvas pueden aplicarse al diseño de componentes del calzado como pisos, hormas, cambrillones, etc.

Este proyecto ha permitido aplicar las técnicas de morfometría para resolver un problema concreto, mostrando la gran potencia que tienen estas herramientas para el estudio de la forma del pie y su aplicación al diseño de calzado con mejores prestaciones de confort, funcionalidad y salubridad. Estas técnicas pueden utilizarse para el estudio de otras partes del cuerpo humano y para el desarrollo de productos que se adapten mejor a la forma de los usuarios. ●

---

**AGRADECIMIENTOS**

CICASA, Corporación Industrial del Calzado S.A., empresa fabricante de componentes de calzado, por su aportación a este proyecto y su inestimable colaboración para el desarrollo del mismo.

CORPORACIÓN INDUSTRIAL DEL CALZADO, S.A.  
Ctra. Murcia- Alicante km 61,4 Apdo. 439  
ELCHE (ALICANTE)  
Teléfono: 966613340 - Fax: 965452807  
Correo electrónico: cicasa@alc.es

Grupo Pepe Herrero por su colaboración en la fabricación de las hormas utilizadas para la fase de validación del proyecto.

GRUPO PEPE HERRERO  
C\ Italia, 18, ELDA (ALICANTE)  
Teléfono: 965394761 - Fax: 965394792  
Correo electrónico: info@pepeherrero.com  
Página Web: www.pepeherrero.com