

## MEDICIÓN DE PRESIONES EN PUNTOS ANATÓMICOS SINGULARES MEDIANTE SENSORES INDIVIDUALES

A. Forner, E. Ferrús, J. Montero, F. Matey, J.V. Hoyos

INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

### Introducción

En un artículo precedente (BIOMECÁNICA. Cuadernos de Información, nº 12) se presentó el equipo de medición de presiones plantares Biofoot-IBV basado en el uso de plantillas instrumentadas que pueden colocarse en el interior del calzado. El nuevo sistema desarrollado por el IBV permite emplear, en vez de una plantilla, una serie de sensores sueltos, dispuestos individualmente o en tiras de 10 sensores, para poder registrar las presiones en puntos anatómicos singulares. Las posibilidades de este accesorio son múltiples, como la medición de presiones dinámicas en el dorso del pie o en otras partes del cuerpo.

Hasta la fecha para medir las presiones plantares se han empleado diferentes aparatos de medida aunque casi siempre siguiendo dos estrategias:

- La utilización de transductores situados en el suelo, lo que limita el estudio al pie desnudo y no permite evaluar la efectividad del uso de elementos anatómicos u ortesis en el interior del calzado, ni la influencia del diseño del calzado sobre la distribución de las presiones.
- La colocación en el interior del calzado de plantillas flexibles instrumentadas con transductores de presión.



Equipo de medición de presiones mediante sensores

Esta metodología requiere la instrumentación del sujeto, pero a cambio suministra una valiosa información de la interacción entre el pie y el calzado.

En cuanto al registro de las presiones en el dorso del pie u otros puntos singulares, no había, hasta la fecha, ningún

equipo comercial ni conocemos trabajos realizados para la obtención de este tipo de datos.



## Descripción

El sistema de medición con sensores individuales consta de los siguientes componentes:

- 1.- Un equipo Biofoot/IBV estándar.
- 2.- El captador, que consta de 64 sensores dispuestos en 5 tiras de 10 sensores y 14 sensores individuales. Los sensores son cerámicas piezoeléctricas de 5 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor. La salida de las señales se realiza por una extensión en el lado externo que acaba en una matriz de conexión en la que se abrocha un conector de pequeño tamaño y reducido peso que se sujeta a la pierna mediante un cierre tipo velcro. Los sensores individuales tienen forma circular de 12 mm de diámetro y las tiras son de 150 mm de longitud por 15 mm de ancho. El espesor es de 0,7 mm y las demás características eléctricas y de medida son similares a las del equipo básico.

- 3.- El programa informático, que es el mismo que el de plantillas instrumentadas Biofoot/IBV. Tan sólo ha sido necesario crear un archivo de configuración de "plantilla" definido para este caso, de forma similar a cuando se diseña un nuevo número de plantilla. También se ha creado un archivo de zonas específico para este trabajo que permite utilizar la opción de cálculo de parámetros con los sensores individuales.

A excepción de la especial configuración del captador, el resto de características técnicas, eléctricas y de precisión son similares a las de las plantillas instrumentadas. Destacaremos las siguientes:

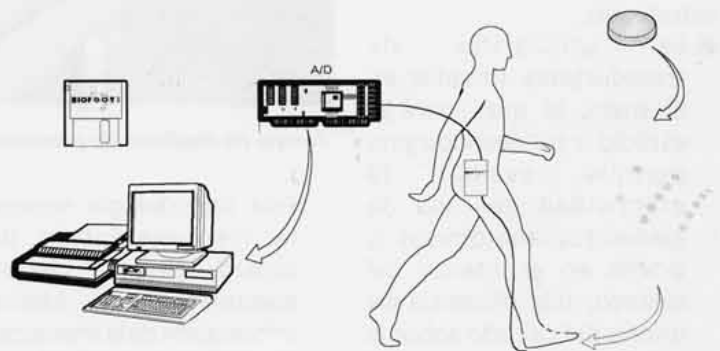
- Mínima perturbación durante el uso debido a la flexibilidad de las tiras y pequeño espesor de las plantillas (0,7 mm). Tanto las tiras como las sensores individuales llevan un soporte de poliéster de gran tenacidad que permite su uso continuado en cientos de mediciones sin degradarse.

- Sensores robustos de comportamiento inalterable lo que permite incluso su reciclado cuando la tira deba sustituirse por rotura o desgaste del soporte.

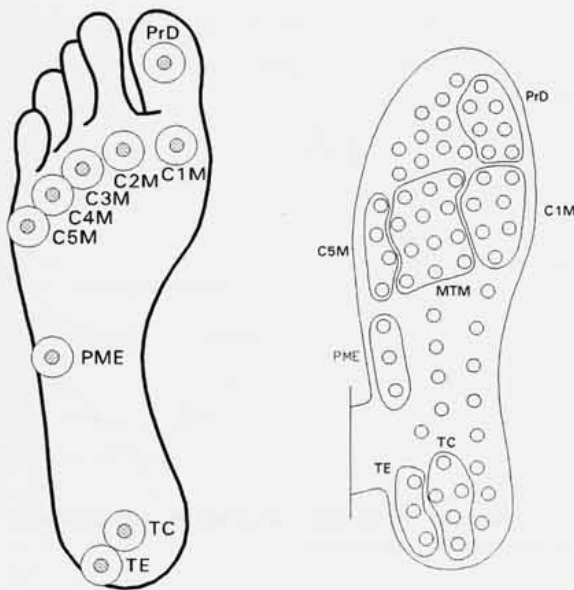
La alta linealidad y repetibilidad de la medida, debidas a la utilización de sensores basados en efecto piezo-eléctrico, hace viable la comparación de resultados entre sujetos, en diferentes condiciones o seguir su evolución en el tiempo, con garantías de que los datos obtenidos son fiables, reproducibles y comparables.

La excelente respuesta dinámica y la posibilidad de utilizar elevadas frecuencias de muestreo (hasta 500 Hz) permite el análisis de fenómenos transitorios y locales de gran rapidez (incluso en carrera u otros gestos deportivos o cotidianos).

*El nuevo sistema desarrollado por el IBV permite emplear, en vez de una plantilla, una serie de sensores para poder registrar las presiones en puntos anatómicos singulares. Las posibilidades de este accesorio son múltiples*



*Configuración del laboratorio para el análisis de presiones plantares con sensores individuales*



TE	Talón externo
TC	Talón central
PME	Planta mediopié externo
C5M	Cabeza del quinto metatarsiano
C4M	Cabeza del cuarto metatarsiano
C3M	Cabeza del tercer metatarsiano
C2M	Cabeza del segundo metatarsiano
C1M	Cabeza del primer metatarsiano
PrD	Primer dedo
MTM	Metatarsianos centrales

**Esquema de la planta del pie con la ubicación de los sensores individuales de medida de presión y distribución de zonas en la plantilla instrumentada.**

La utilización de una aplicación informática para la adquisición, tratamiento y presentación de datos, en entorno Windows™ con las ventajas asociadas. Por ejemplo: interface gráfica de usuario estándar; utilidad de captura de gráficas e inclusión en otros documentos o bases de datos; gestión estándar de impresoras color o láser.

### **Análisis comparativo**

Para validar la utilización de los sensores individuales y compararla con el uso de las plantillas instrumentadas, la sección de Calzado del IBV ha realizado un trabajo de comparación de las presiones máximas obtenidas con tres calzados diferentes, con al menos tres sujetos para cada caso y se han analizado los parámetros calculados en las distintas zonas del pie.

En la planta del pie se han definido los puntos de interés atendiendo a criterios básicos de Anatomía Funcional y que se muestran en la figura superior.

**Biofoot/IBV proporciona la monitorización de las presiones en tiempo real lo que permite comprobar la correcta ubicación y funcionamiento del equipo**

Una vez definidos y marcados los puntos en el pie, se fijan los sensores individuales en el pie del sujeto mediante cinta adhesiva de doble cara, con el fin de asegurar que el sensor permanezca en el punto en cuestión durante toda la medición, se conectan los sensores al equipo de medida, se introduce el pie en el calzado, y de forma interactiva, utilizando un ordenador con la aplicación instalada, se realizan las mediciones, se visualizan los datos en forma de mapas de presiones con diferentes formatos de gráficas y se obtienen los parámetros para

posteriormente analizar los resultados.

El programa Biofoot/IBV proporciona la monitorización de las presiones en tiempo real lo que permite comprobar la correcta ubicación y funcionamiento del equipo. Después de la medida se procede a la representación de la información en varios formatos y también es posible la visualización simultánea de gráficas correspondientes a diferentes mediciones permitiendo su comparación directa.

Para la obtención de los valores máximos de presión en los puntos deseados se han construido archivos de zona específicos (ver figura superior) tanto para las plantillas instrumentadas como para los sensores individuales, gracias a lo cual se han podido obtener automáticamente con la opción de parámetros del programa.



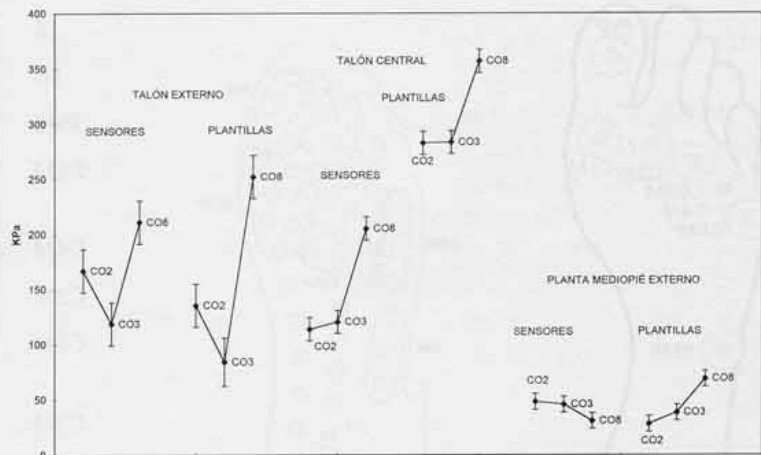
**Aunque los valores no son idénticos, los patrones de presiones máximas entre los diferentes calzados son muy similares entre sí**

A continuación se ofrecen algunos de los resultados obtenidos. La figura muestra los patrones (comportamiento comparado entre los tres modelos de calzado, códigos 2, 3 y 8) correspondientes a las presiones máximas en talón externo, talón central y mediopié externo. Para cada variable se representan a la izquierda los datos obtenidos con sensores individuales y a la derecha los datos con plantillas instrumentadas.

Hemos podido confirmar la repetibilidad de las medidas en repeticiones del mismo sujeto y el mismo calzado y por tanto la dispersión para cada calzado es atribuible a las diferencias personales entre los sujetos. Por lo tanto para que se observen diferencias significativas entre calzados éstas han de ser de mayor importancia que la debida a la variabilidad entre sujetos.

Como puede verse, aunque los valores no son idénticos, los patrones de presiones máximas entre los diferentes calzados son muy similares entre sí. Es decir que, en cada zona, la clasificación relativa de los niveles de presión entre los diferentes calzados no depende del sistema de medida empleado.

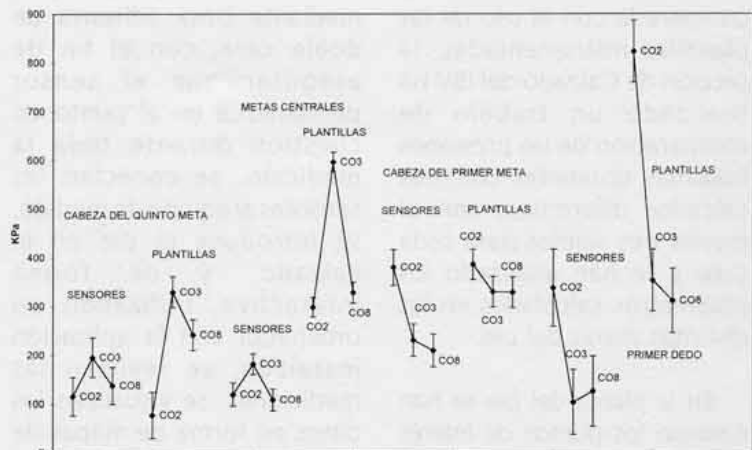
La mayor discrepancia se observa en la zona de mediopié externo, en esta



**Figura 1. Presiones en retropié registradas con sensores individuales y con plantillas, con tres calzados diferentes.**

zona hay niveles de presión muy bajos; además, pequeñas variaciones en la posición de los sensores pueden dar lugar a variaciones en la presión máxima. Dichas variaciones pueden ser más acusadas según el tipo de pie (cavo, normal o plano), ya que un pie cavo se caracteriza por tener menor superficie de apoyo en esta zona. Además, en la plantilla instrumentada es una zona con menor densidad de sensores. Por tanto, hemos analizado con precaución los resultados obtenidos en esta zona.

La mayor similitud en los valores obtenidos en la parte externa del talón con ambos sistemas de medida se debe a la geometría uniforme de la zona y a la ausencia de elevados gradientes de presiones. Al ser menores las variaciones de presión según la posición en la zona del talón, son menos críticas las inevitables diferencias de ubicación entre los sensores individuales y sus equivalentes en las plantillas instrumentadas



**Figura 2. Presiones en antepié registradas con sensores individuales y con plantillas, con tres calzados diferentes.**

***En la cabeza del primer metatarsiano, que es uno de los puntos del pie donde el nivel de presión es mayor, se producen valores de presión similares y la ordenación de los calzados (patrón) es la misma***

así como el diferente comportamiento del sensor adherido a la piel en comparación con el sensor insertado en una plantilla sobre la que el pie puede deslizar ligeramente durante el apoyo.

En la figura 2 se muestran las presiones máximas registradas en cuatro zonas características del antepié.

En las zonas del antepié, las variaciones de presión en función de la posición (gradientes de presiones) son grandes y por lo tanto es en estas zonas donde los resultados van a ser más críticos. A pesar de ello, puede verse que los patrones (comportamiento comparado entre los diferentes modelos de calzado) son muy similares, aunque existen algunas diferencias significativas en los valores de presión. Por tanto, los resultados de medición de presiones con sensores individuales y con plantillas son equivalentes a efectos de comparación entre calzados y su efecto sobre las presiones máximas en las zonas donde estas presiones son más importantes.

En la cabeza del primer metatarsiano, que es uno de los puntos del pie donde el nivel de presión es mayor, se producen valores de presión

similares y la ordenación de los calzados (patrón) es la misma.

Las mayores diferencias entre los resultados obtenidos con los dos sistemas de medida se dan en la cabeza del quinto metatarsiano. Como puede verse, con sensores individuales no se obtienen las diferencias significativas que sí aparecen con plantillas, pero sí que se observa el mismo comportamiento en las tendencias de las medias, es decir, CO2 menor que CO8 y éste, a su vez, menor que CO3.

### **Conclusiones**

La utilización de Biofoot-IBV con sensores discretos amplía las posibilidades de uso de los sistemas de registro de las presiones en la planta del pie, además de permitir nuevas aplicaciones como la medición de presiones en el dorso del pie. La posibilidad de que el captador se sitúe en localizaciones precisas del pie, permitiendo la medida de la presión del pie calzado y la obtención de datos numéricos precisos y fiables en dichos puntos suponen un significativo avance y permiten múltiples aplicaciones que completan las posibilidades de las plantillas instrumentadas.

El análisis comparativo entre la medición con plantillas

***La pequeña dispersión de los datos obtenidos con diferentes sujetos y repeticiones nos confirman la buena precisión y repetibilidad de las medidas***

instrumentadas y con sensores individuales nos permite validar ambos sistemas para análisis de factores (como por ejemplo el calzado) que influyen en las presiones plantares.

Dado que la pequeña dispersión de los datos obtenidos con diferentes sujetos y repeticiones nos confirman la buena precisión y repetibilidad de las medidas, tanto de las plantillas como de los sensores individuales, las diferencias entre ambos sistemas de medida deben achacarse a las diferencias en la posición del sensor y en el diferente comportamiento al deslizamiento relativo entre la piel, el sensor y el calzado.

En puntos anatómicos donde sea especialmente crítica la determinación de presiones máximas es posible utilizar más de un sensor aislado con lo que se cubre mayor zona de medida conservando la precisión en la determinación de la posición del punto de medida.

Es recomendable la utilización de los sensores individuales en aquellos casos en que se vayan a medir las presiones plantares con un calzado o una ortesis con una geometría muy abrupta en sus elementos anatómicos, o con una forma especial que dificulte el uso de plantillas instrumentadas convencionales.

La utilización de sensores individuales tiene especial interés para evaluar el calzado con especificaciones más técnicas y concretas como, por ejemplo, el calzado deportivo, el calzado ortopédico, el calzado a medida y para el diseño y optimización de ortesis plantares. □