

## ASPECTOS DE FRICCIÓN EN CALZADO DE CALLE

Por Sección Calzado

INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

**S**e entiende por rozamiento o fricción la fuerza que actúa entre dos superficies en contacto y que se opone al movimiento relativo entre ellas. En otras palabras: cuando se intenta mover un objeto sobre una superficie aparece una fuerza que intenta frenarlo. A esta fuerza se le denomina fuerza de rozamiento o fuerza de fricción.

La teoría clásica sobre el rozamiento supone que la fuerza de rozamiento es directamente proporcional a la fuerza perpendicular que hay entre las dos superficies. El coeficiente de proporcionalidad se llama coeficiente de rozamiento y depende del tipo de materiales en contacto. Esta teoría se expresa en una ley denominada ley de Coulomb.

Sin embargo la ley de Coulomb es sólo una aproximación que en la mayoría de los casos queda muy alejada de la realidad. La fuerza de fricción que aparece entre dos superficies dependerá de muchos factores:

- Fuerza perpendicular entre las superficies.
- Tipo de materiales.
- Dimensiones de las superficies de contacto.
- Acabado superficial de las superficies.
- Velocidad del movimiento de las superficies.
- Condiciones ambientales: temperatura, humedad, etc.

En ausencia de rozamiento entre el calzado y la superficie no sería posible la marcha, baste recordar la dificultad que tiene ca-

**E**l IBV dispone de dos máquinas de ensayos de fricción, una longitudinal y otra para estudios de fricción en giros. Estas máquinas permiten determinar los coeficientes de fricción estática y dinámica en condiciones similares a las de uso. Pueden realizarse ensayos tanto con probetas de materiales como con calzado acabado y permiten así mismo variar los pavimentos con el fin de estudiar la fricción del binomio suelo-calzado.

minar con un calzado normal sobre el hielo. Sin embargo, excesivas fuerzas de rozamiento como las que, en ocasiones, se producen en el ámbito deportivo, son origen de un gran número de lesiones.

¿Y cuál es el rozamiento que debe existir entre la suela y los diferentes pavimentos?.

Esta pregunta tiene diferentes respuestas según el tipo de calzado y el uso al que va destinado. Básicamente se puede decir que es necesario un rozamiento mínimo para evitar caídas y que se encuentra entre 0.3 y 0.5 de coeficiente de rozamiento para un zapato destinado para andar.

El rozamiento necesario será mayor para el calzado de carrera o cuando se necesita incrementar la seguridad, como es el caso de los calzados destinados al ámbito laboral.

La elección del material de la suela dependerá, por tanto, y de forma determinante, del tipo de superficie sobre el que se vaya a desempeñar la actividad y de la presencia de contaminantes.

Como criterio general se puede decir que para aumentar el rozamiento se pueden utilizar materiales blandos y rugosos. También se puede recurrir al incremento de la superficie de contacto entre la suela y la superficie. En superficies contaminadas por la presencia de agua, polvo o aceites que son, ocasionalmente, casi todas, se debe recurrir a la inclusión de dibujos en la suela destinados a la dispersión de dichos contaminantes.

Por último es necesario distinguir entre Rozamiento y Abrasión. El termino abrasión se utiliza relacionándolo con el desgaste o deterioro del material causado por el rozamiento. Normalmente si el rozamiento es grande y el material utilizado en la suela es demasiado blando se provoca mucha abrasión y el material se desgasta antes, pero no siempre tiene por que ser así. La abrasión afecta a la durabilidad del calzado y no a su influencia sobre las cargas actuantes sobre el sujeto y a sus movimientos.

### Calzado urbano

Tanto desde el punto de vista del confort como desde la perspectiva de su adecuación



**El rozamiento necesario será mayor para el calzado de carrera o cuando se necesita incrementar la seguridad.**

biomecánica, dos son los aspectos asociados al rozamiento que deberán tenerse en cuenta en el diseño de un calzado urbano:

- el rozamiento actuante entre la suela y la superficie de apoyo, y
- la fricción existente entre el pie y el interior del zapato.

En cuanto a los factores de diseño que determinan el rozamiento de la suela del zapato con la superficie, éstos son fundamentalmente dos:

- las características del material de la suela, y
- la geometría de la suela, incluyendo su dibujo y forma.

En cuanto al material a utilizar, deberá tenerse en cuenta el compromiso entre características, en ocasiones contrapuestas, asociadas al tipo de material. Es decir, los materiales de la suela deberán presentar un coeficiente de fricción adecuado a los pavimentos urbanos y, a su vez, resistencia a la abrasión o desgaste de dicho material.

En este sentido se ha constatado que, en general, las suelas de goma tienen un buen comportamiento frente al rozamiento, es decir, tienen un buen coeficiente de fricción y son resistentes a la abrasión.

Para obtener un coeficiente de fricción adecuado a las superficies urbanas, en el diseño de las suelas es necesario considerar el área de contacto entre la suela y la superficie. El área de contacto determinada por el diseño de la suela es uno de los factores de mayor influencia en el comportamiento de los materiales sometidos a fricción. Cuanto mayor sea este área, mayor será el coeficiente de fricción que puede obtenerse y menor por tanto el riesgo de caídas por un deslizamiento fortuito.

Así por ejemplo, en el diseño de calzado para caminar por ambientes urbanos, se recomienda un corte en cuña (30-45 grados) del tacón para mejorar la fricción en el momento de contacto inicial. De

este modo se aumenta la superficie de contacto disminuyendo el riesgo de caídas en el momento en el que el tacón toca el suelo para abordar un nuevo apoyo.

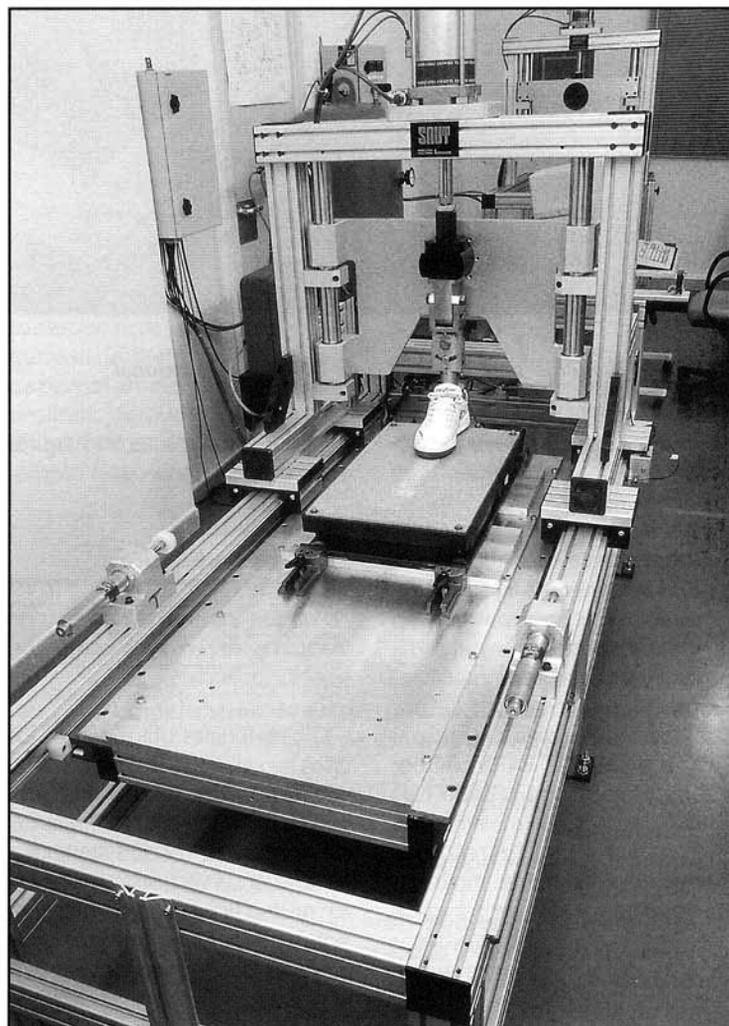
Para superficies limpias y secas lo mejor es una suela lisa y sin dibujos que proporciona un rozamiento mayor al utilizar toda su superficie en contacto con el suelo. Sin embargo, para ambientes urbanos en los que son muy frecuentes los contaminantes, es necesario darle a las suelas cierta rugosidad o diseñar huellas con ranuras y dibujos destinados a la dispersión de dichos contaminantes.

Para evitar roturas en uso, los dibujos o ranuras situados en la zona del antepié no deben ser

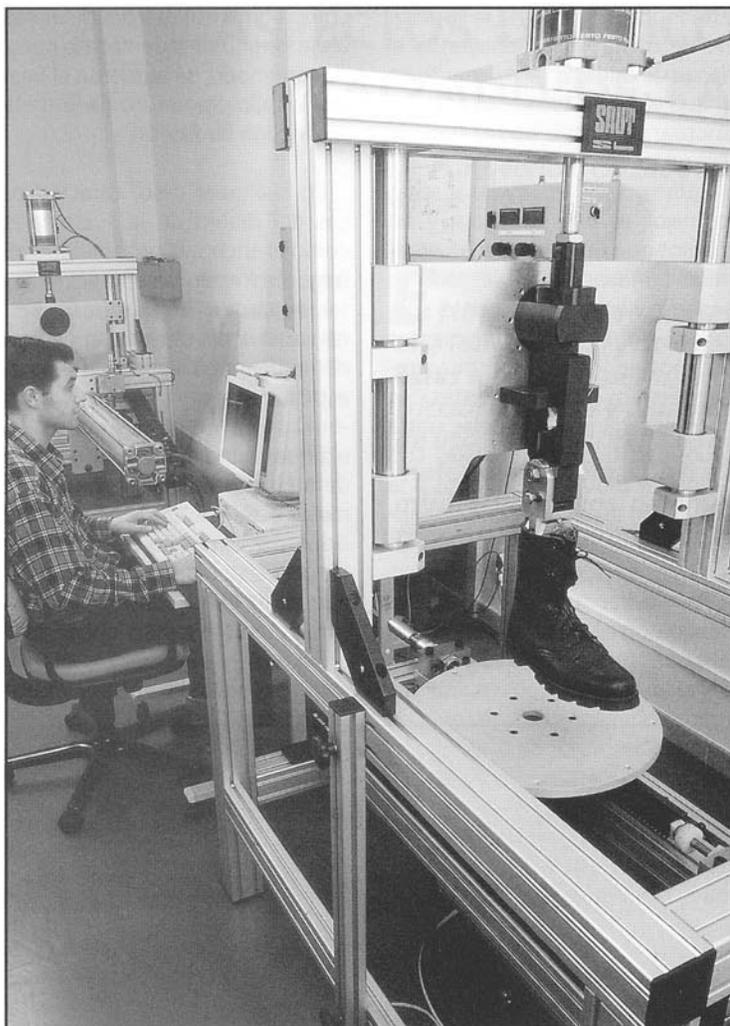
completamente perpendiculares al eje longitudinal del zapato pues, de este modo, se aumenta el riesgo de fallo prematuro de la suela en la zona de flexión.

En cualquier caso, características del dibujo de la suela tales como el ancho, la profundidad, el largo, la forma, la separación entre ranuras y el ángulo que forman respecto al eje del zapato dependerán del tipo de material y de su espesor.

En la actualidad, la utilización de métodos de análisis por ordenador (CAD, CAE, MEF) permite optimizar el diseño del dibujo de la suela, estudiando su comportamiento en condiciones de uso, sin



**FIGURA 1. Máquina para el estudio de la fricción longitudinal**



**FIGURA 2.** Máquina para el estudio de la fricción rotacional

necesidad de recurrir a largas series de pruebas con prototipos en máquinas de ensayos.

El otro aspecto a tener en cuenta en el diseño de calzado urbano, asociado al rozamiento, es la fricción interior entre el pie y el zapato. Ésta juega un papel importante en la salud y la actuación del pie. Una fricción elevada puede dar lugar a problemas en la piel por rozaduras, pero una fricción baja puede dar lugar a movimientos relativos entre pie y zapato que producirán, finalmente, molestias en empeine y dedos. Una fricción adecuada evitará problemas en la piel y ayudará a que el pie se ubique correctamente en el calzado. Por ejemplo, el contrafuerte posterior se verá ayudado a evitar el destalonamiento si el material del

forro presenta características apropiadas de fricción.

### **Ensayos de Fricción**

Pueden realizarse tanto con máquinas de ensayos como con sujetos.

Los materiales utilizados en los pisos de calzado a diferencia de lo que ocurre con los metales presentan la característica de que sus coeficientes de fricción dependen de las fuerzas verticales aplicadas. Así mismo la relación entre la fricción longitudinal y la de giro no es directa y deben medirse ambas.

En los ensayos de fricción realizados con máquinas es necesario simular las fuerzas verticales y

horizontales aplicadas en las situaciones reales. El IBV dispone de dos máquinas específicamente diseñadas para simular tanto las fuerzas horizontales como las verticales que aparecen tanto en la marcha como en distintos gestos deportivos: una de ensayos de fricción longitudinal y otra para estudios de fricción en giros. Estas máquinas permiten determinar los coeficientes de fricción estática y dinámica en condiciones similares a las de uso. Pueden realizarse ensayos tanto con probetas de materiales como con calzado acabado y permiten así mismo variar los pavimentos con el fin de estudiar la fricción del binomio suelo-calzado.

Los ensayos de fricción realizados con máquinas permiten la comparación entre materiales o entre dibujos de la suela sin necesidad de disponer de prototipos de calzado acabado. Pueden también realizarse ensayos con calzado terminado mediante la utilización de una mordaza-pie.

También es posible realizar ensayos de fricción con la participación de sujetos. Para ello se hace uso de plataformas dinamométricas que permiten medir las fuerzas horizontales de frenada del pie o de impulso para el despegue. Estos ensayos permiten evaluar calzado acabado con el fin de seleccionar entre varios diseños o para determinar la adecuación de un calzado terminado.

Estos ensayos suelen realizarse con la participación de sujetos ya que existen interacciones complejas entre fuerzas y movimientos extremadamente difíciles de simular con máquinas.

Para realizarlos se hace uso de técnicas como la fotogrametría, que permite analizar los movimientos producidos tras el análisis de imágenes filmadas en condiciones de uso del calzado. El análisis de estas imágenes permite conocer la evolución de los parámetros seleccionados durante el apoyo. □