



La nanotecnología mejora las propiedades antideslizantes del calzado de uso profesional

José María Baydal Bertomeu, Néstor Arroyo Gómez, Sergio Puigcerver Palau, Clara Solves Camallonga, Juan Carlos González García, Javier M. Ferrís Oñate, Francisco J. Matey González, Sara Gil Mora

La ciencia de los nanomateriales ha abierto las puertas a nuevas soluciones, ya que las superficies nano-estructuradas han demostrado tener propiedades específicas en cuanto a desgaste, lubricación y fricción. Estas superficies pueden ser moduladas dependiendo de las nanopartículas que se utilicen en su obtención, y en las que se pueden incluir, por ejemplo, características hidrofóbicas o lipofóbicas. En el proyecto NANOFRICTION se ha combinado el uso de nanomateriales con el diseño biomecánico de suelas para mejorar la fricción del calzado y reducir el riesgo de caídas en entornos industriales.

Instituto de Biomecánica (IBV)



INTRODUCCIÓN

Estadísticamente, las caídas por resbalamiento son los accidentes más comunes en ambientes de trabajo y, en consecuencia, son responsables de un elevado porcentaje de lesiones. Existen varios factores involucrados en el riesgo de sufrir caídas por resbalamiento, siendo la fricción entre el suelo y la suela del calzado el factor más importante.

La mayoría de los accidentes ocurren cuando se produce un cambio inesperado en las condiciones de fricción de una superficie (por ejemplo al pasar de una superficie seca a una zona mojada) y el usuario es incapaz de adaptar su patrón de actividad a las nuevas condiciones. En ambientes industriales, normalmente, este cambio en el coeficiente de fricción (definido como el cociente entre la fuerza horizontal y vertical) se debe a la presencia de contaminantes como agua, aceites, jabones, etc.

En este sentido, los materiales convencionales utilizados en la fabricación de calzado profesional (PUs, TPUs o PVCs) y los diseños de suelas actuales, presentan problemas para cumplir con los estándares de calidad de seguridad antideslizamiento, no siendo capaces de reducir el riesgo

de resbalamientos y de caídas en el trabajo. El avance de la ciencia de los nanomateriales ha abierto las puertas a nuevas soluciones, ya que las superficies nano-estructuradas han demostrado poseer propiedades tribológicas muy particulares en cuanto a desgaste, lubricación y fricción. Estas superficies pueden ser modificadas dependiendo de las nanopartículas que se utilicen en su obtención, y en las que se pueden incluir, por ejemplo, características de repelencia al agua (hidrofóbicas) o a las grasas y aceites (lipofóbicas). En el proyecto NANOFRICTION se ha combinado el uso de estos nanomateriales junto con criterios biomecánicos para conseguir una mejora sustancial en las propiedades de fricción de las suelas.

El proyecto NANOFRICTION ha sido coordinado por la empresa riojana AVANZARE, especializada en nanotecnología. También participan la empresa ilicitana ANALCO, fabricante de componentes para el calzado, y el fabricante italiano de calzado de seguridad BASEPRO, en colaboración con el Instituto de Biomecánica (IBV), que aporta sus conocimientos sobre biomecánica, análisis de la fricción y diseño de suelas antideslizantes.





DESARROLLO Y RESULTADOS

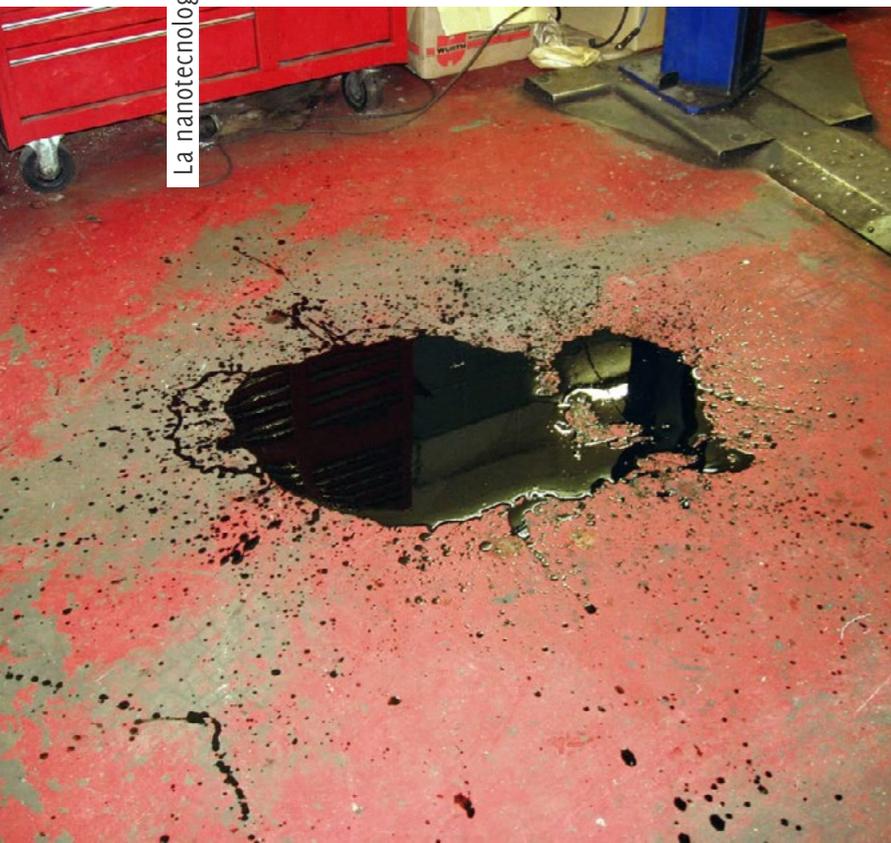
El proyecto se ha organizado en seis fases, en las que el IBV ha participado activamente. A continuación, se describe el desarrollo y los principales resultados obtenidos en cada una de las fases.

1. Caracterización del entorno de trabajo industrial.

El IBV ha participado en la realización de un estudio sobre una amplia muestra de empresas que representan los principales sectores industriales: transporte aéreo, embalaje, automóvil, distribución y logística, química industrial, industria de la restauración, construcción, industria de alimentos y cerámica. Sobre esta muestra de empresas se ha realizado un estudio para determinar

cuáles son las combinaciones de contaminantes y tipos de suelos más habituales en ambientes industriales y que aumentan el riesgo de producir caídas por deslizamiento. En este sentido los resultados indican que las combinaciones con mayor riesgo, en términos de peligrosidad y frecuencia, para los trabajadores son: terrazo-agua y acero-glicerina. La figura 1 muestra algunos contaminantes habituales en ambientes industriales. Además, se ha realizado un análisis de las actividades que provocan mayor número de caídas por resbalamiento. Estas han sido: marcha, carrera, giros de 90° y de 180°, bajar escaleras y bajar pendientes.

Figura 1
Contaminantes detectados en ambiente industrial.





2. Caracterización biomecánica del proceso de resbalamiento.

La fricción del calzado con el suelo es imprescindible para que exista un impulso mecánico, necesario para producir el desplazamiento de la masa corporal. Así, si el Coeficiente de Carga (COC), que representa la fuerza mínima de fricción necesaria para realizar una actividad específica, es superior a la fricción proporcionada por la combinación suelo-calzado, se puede producir un resbalamiento que conlleve una caída. La tabla 1 muestra

los resultados obtenidos sobre los valores COC mínimos para que no se produzcan caídas en función del tipo de actividad realizado.

Por otro lado, las zonas en las que se produce la transferencia de fuerzas entre la persona y el suelo son también diferentes dependiendo de la actividad realizada. Conocer la distribución de las zonas de la suela que permanecen en contacto con el suelo es muy importante para optimizar la localización de las nanopartículas.

Tabla 1

Coeficiente de carga requerido para diferentes actividades.

| | Marcha | Carrera | Giro 90° | Giro 180° | Bajar escaleras |
|-------------------------------|--------|---------|----------|-----------|-----------------|
| Antero-posterior (frenado) | 0.276 | 0.752 | 0.583 | 0.577 | 0.077 |
| Antero-posterior (propulsión) | 0.879 | 0.979 | 0.474 | 0.325 | 0.077 |
| Medio-lateral | 0.080 | 0.247 | 0.089 | 0.168 | 0.309 |



El IBV ha participado en determinar las zonas de apoyo en las actividades con mayor riesgo de sufrir caídas en ambientes industriales. Para ello se ha realizado un estudio con 10 sujetos, varones, de edades comprendidas entre 20 y 40 años. La instrumentación utilizada fue el sistema de plantillas Biofoot/IBV y la plataforma de presiones Footscan® System. Para poder superponer las diferentes pisadas de un mismo sujeto con las pisadas del resto de sujetos, se diseñó un algoritmo matemático basado en Análisis de Componentes Principales. La figura 2 muestra las zonas donde se producen mayores apoyos en función de la actividad analizada.

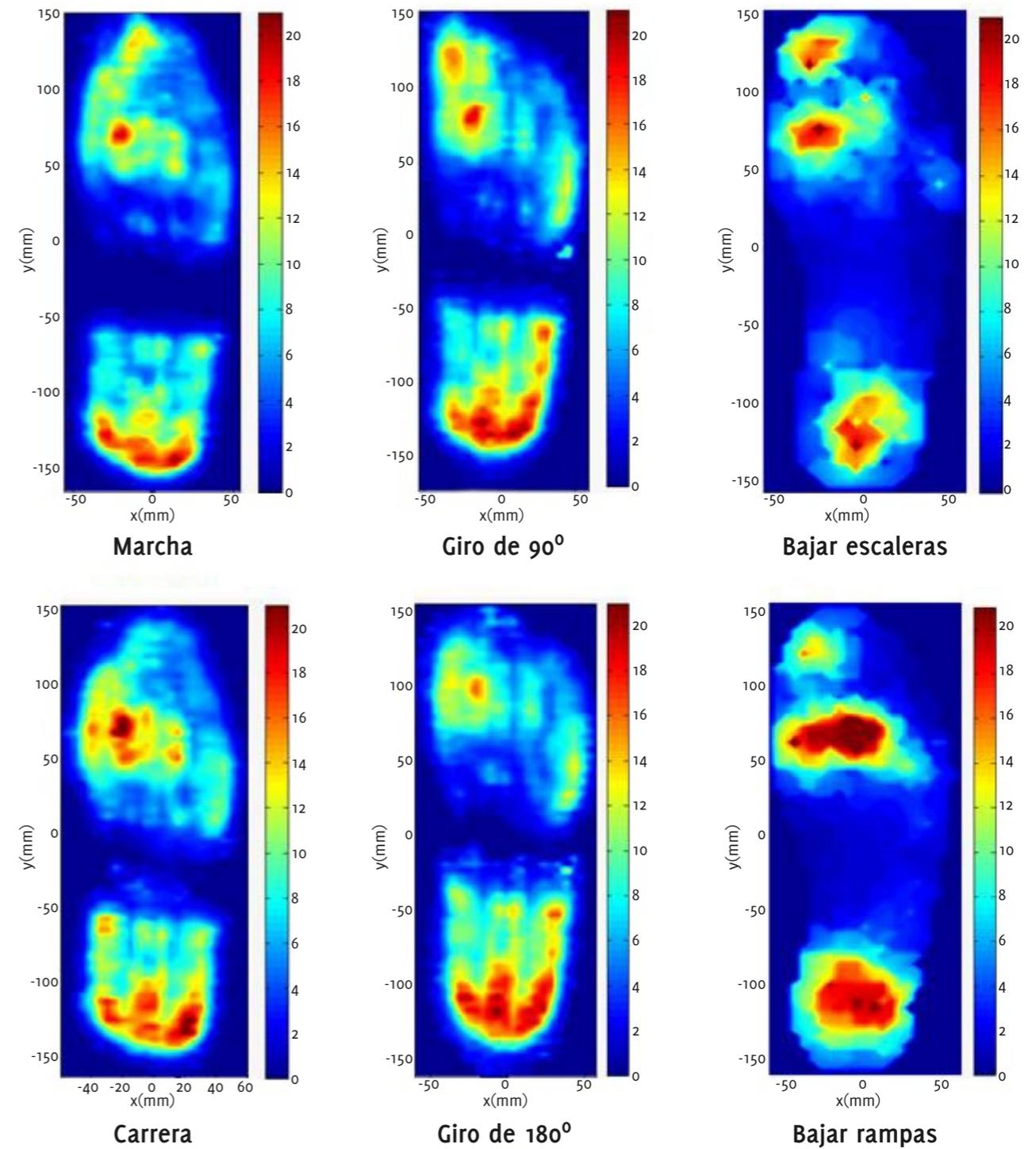


Figura 2

Zonas de contacto entre el calzado y el suelo en función del tipo de actividad.



3. Selección y caracterización mecánica de nanocompuestos.

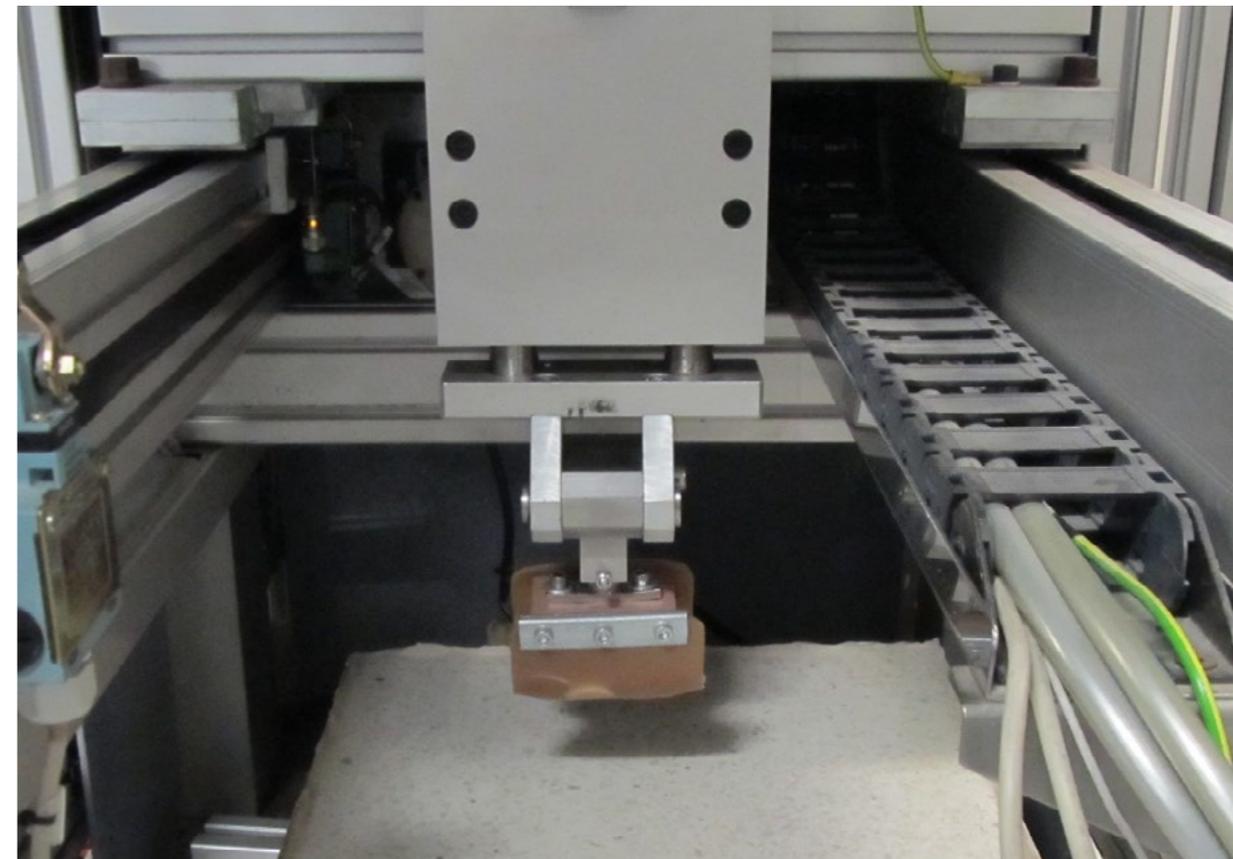
En esta fase se realizó una selección de las nanopartículas más apropiadas en términos de integración, a nivel químico, con los materiales de suelas seleccionados en el proyecto (caucho y TPU). Las nanopartículas también se seleccionaron según su capacidad para repeler el agua o los aceites. Una vez fabricados los nanocompuestos

con las nanopartículas seleccionadas (Figura 3) se realizó un estudio para determinar su coeficiente de fricción. Para ello se utilizó una máquina de ensayos de fricción desarrollada por el IBV que permite simular las fuerzas actuantes y la posición que adopta el pie en diferentes fases del ciclo de marcha (Figura 4). De esta forma fue posible determinar el coeficiente de rozamiento de los nanocompuestos.



Figura 3
Compuestos con nanopartículas en base de caucho.

Figura 4
Máquina de ensayos de fricción.





A partir del estudio de fricción se seleccionaron los nanocompuestos de caucho y TPU con mejores características de fricción en las condiciones de terrazo seco, terrazo con agua y acero con glicerina. La tabla 2 muestra los resultados de fricción de los nanocompuestos de caucho. En ella se pueden apreciar mejoras de fricción de hasta un 626% con respecto a los materiales sin nanopartículas en la condición de acero con glicerina. En la condición de terrazo mojado con agua los resultados muestran mejoras de fricción del 193%. En la condición de terrazo seco los resultados son similares al material de referencia sin nanopartículas.

4. Desarrollo de criterios de diseño de suelas.

En esta fase del proyecto el IBV realizó un estudio comparativo del nivel de fricción de diferentes diseños de suelas. A partir de este estudio se obtuvieron recomendaciones y criterios de diseño para suelas de calzado antideslizamiento. Estos criterios se centraron en:

- Recomendaciones generales para la suela.
- Recomendaciones dirigidas a favorecer la amortiguación del impacto.
- Recomendaciones dirigidas a favorecer la flexibilidad.
- Recomendaciones dirigidas a favorecer la fricción entre el suelo y la suela.

Tabla 2

Mejora del comportamiento de fricción de los nanocompuestos desarrollados en base de caucho.

| Nanocomposite (ejemplos codificados por protección TPR) | Condición | | |
|---|-------------------------|--------------------|------------------|
| | Acero con glicerina (%) | Terrazo húmedo (%) | Terrazo seco (%) |
| | Media | Media | Media |
| NFRIC-06 | 626 | 116 | 102 |
| NFRIC-07 | 471 | 147 | 106 |
| NFRIC-08 | 514 | 102 | 100 |
| NFRIC-011 | 233 | 193 | 114 |
| NFRIC-014 | 531 | 114 | 102 |





5. Diseño geométrico de una suela antideslizamiento.

A partir de los criterios de diseño generados en la fase anterior y teniendo en cuenta la selección de nanopartículas para cada material (caucho y TPU), se realizó el diseño geométrico de una suela antideslizamiento (Véase figura 5). Este diseño es válido tanto para suelas de caucho como de TPU.

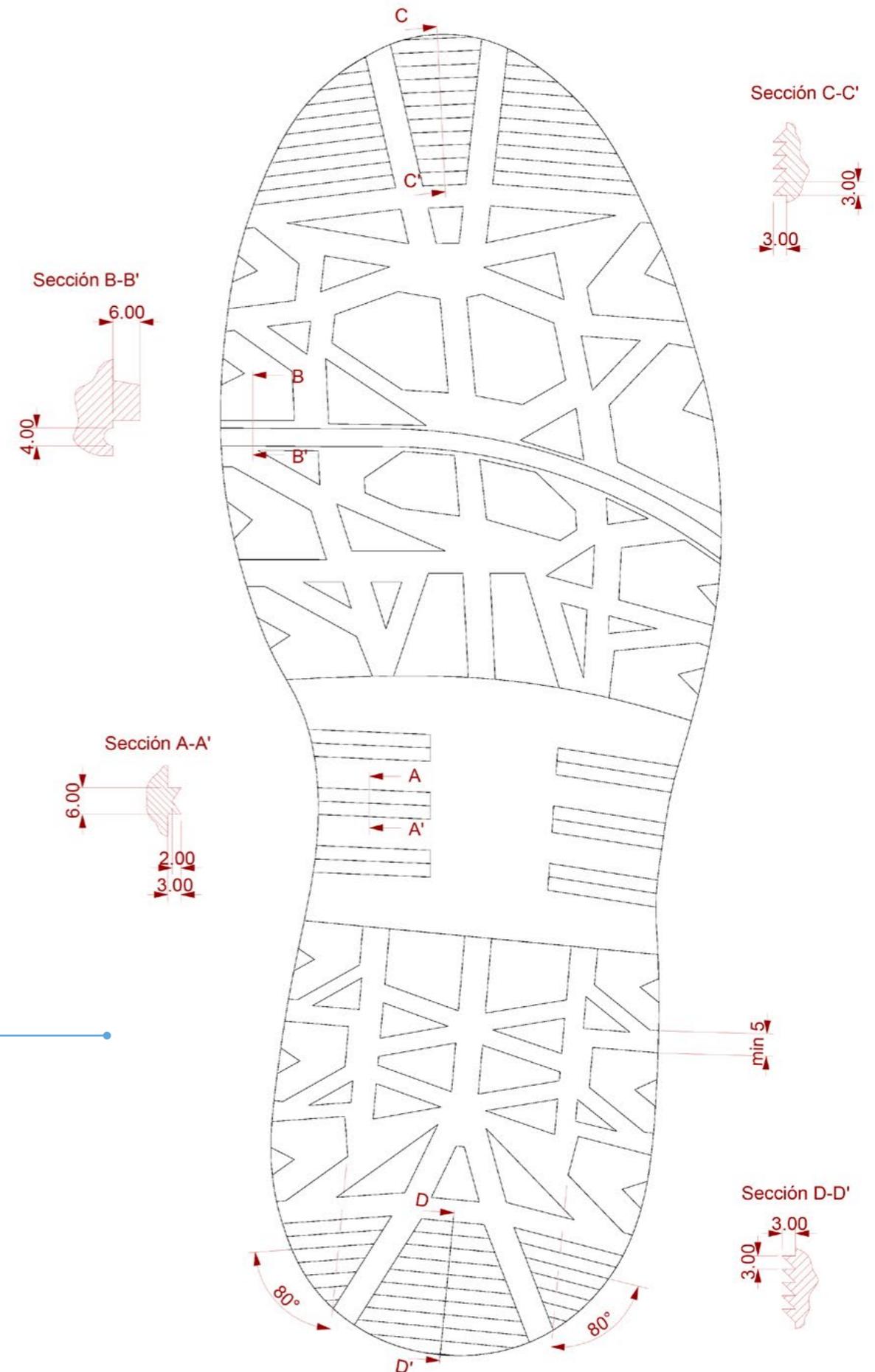


Figura 5

Diseño de suela antideslizamiento.



CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto NANOFRICTION ha permitido obtener combinaciones de nanocompuestos en base caucho y base TPU que mejoran notablemente la fricción de los materiales convencionales actuales, sobre todo ante la presencia de contaminantes como agua y aceite. Este proyecto también ha permitido avanzar en el conocimiento sobre las actividades con mayor riesgo de caídas y que se desarrollan en entorno industrial, así como la interacción biomecánica entre el trabajador, el calzado, la suela y la superficie. A partir de la información sobre las zonas de la suela que están sometidas a mayores requerimientos de fricción para diversas actividades, se ha propuesto un nuevo diseño de una suela que incorpora las nanopartículas que han mostrado un mejor comportamiento antideslizamiento y que presenta un gran potencial para reducir el riesgo de caídas ante la presencia de contaminantes en ambientes industriales. □

Agradecimientos

Este proyecto ha sido subvencionado por CDTI en el marco de actuación del subprograma Interempresas Internacional-EUROSTARS y apoyado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) con cofinanciación comunitaria (Referencia E7926).



Más información en <http://nanofriction.ibv.org>

