

## APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS (MEF) AL DESARROLLO DE NUEVOS PAVIMENTOS DEPORTIVOS

*Sandra Alemany*

*José Solaz*

Instituto de Biomecánica de Valencia

**EL INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA (IBV) HA REALIZADO UNA INVESTIGACIÓN** sobre la aplicación de herramientas de simulación en el diseño de pavimentos deportivos. Uno de los objetivos del proyecto, realizado en colaboración con la empresa fabricante de pavimentos Mondo Ibérica, ha consistido en emplear técnicas de simulación por elementos finitos que permiten comprender la influencia de distintas variables de diseño en la respuesta de los pavimentos ante el gesto deportivo. Estas herramientas también permiten predecir el comportamiento de los pavimentos frente a distintos ensayos normativos, sin necesidad de construir prototipos, ahorrando costes en materiales y ensayos”.

### **Applying simulation tools using finite elements (FEM) to develop new sports paving.**

The Institute of Biomechanics of Valencia (IBV) has carried out research on applying simulation tools to the design of sports surfaces. One of the objectives of the project, carried out in collaboration with the enterprise Mondo Ibérica, sport surface manufacturer, has involved using finite element analysis techniques. Such techniques enable us to understand how the different variables in influence the design surface's response to sports use. These tools also allow accurate prediction of how sport surface will behave when faced with different quality-control regulation tests, without needing to construct prototypes, thus making important savings on materials and trials.

Los pavimentos deportivos de madera están formados por una estructura de dos placas de madera superpuestas, que se apoyan sobre tacos de material viscoelástico, cuya distribución proporciona a la estructura las propiedades necesarias de amortiguación y areaelasticidad. El proceso de desarrollo de un nuevo pavimento es largo y costoso, ya que requiere el montaje de las muestras de pavimentos con las distintas combinaciones de diseño posibles, y realizar las baterías de ensayos normalizados con todas ellas.

&gt;

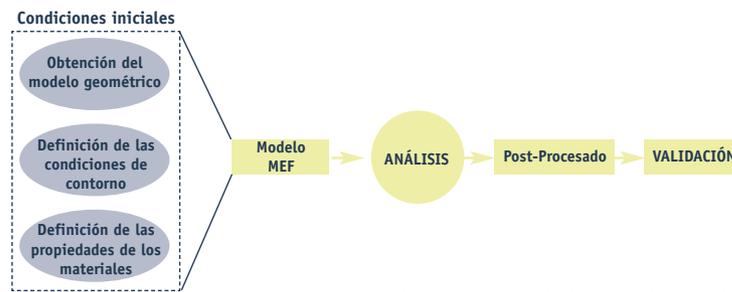


Figura 1. Esquema de desarrollo de un modelo MEF.

> Por este motivo, la simulación de pavimentos deportivos mediante modelos de elementos finitos (MEF) constituye una herramienta de ayuda al diseño, que permite estudiar la influencia de las distintas variables en su comportamiento sin tener que realizar el montaje de todos los pavimentos que se quieren analizar. Esto supone un ahorro tanto en el coste como en el tiempo de desarrollo del producto.

En el presente artículo se expone el desarrollo y la validación de un modelo MEF que permite analizar la influencia de tres variables (material, espesor y distribución de apoyos) en el comportamiento de pavimentos de madera.

## MATERIAL Y MÉTODOS: PUESTA A PUNTO Y VALIDACIÓN DEL MODELO MEF

El proceso general a seguir en el desarrollo de un modelo de simulación comprende, en primer lugar, la generación del modelo MEF, lo que incluye el *modelo geométrico*, el *mallado*, el *modelo de los materiales* y las *condiciones de contorno*, para, posteriormente, llevar a cabo el *análisis*, *post-procesado* y la *validación* (Figura 1).

### Modelo geométrico

La simulación MEF del pavimento se ha realizado con el software de modelado y simulación I-deas-8 de SDRC. El modelo geométrico consta de una placa delgada de 1.250 x 1.250 mm mallada con elementos rectangulares lineales de espesor 24 mm. Se ha realizado un análisis de sensibilidad de la malla buscando aquella que genere los mejores resultados con un tiempo de computación mínimo, obteniéndose un modelo que concentra los elementos en la zona de aplicación de la carga y los puntos de apoyo. La distribución de los apoyos se corresponde con la configuración comercial 4 X 8 que se traduce en una distancia entre tacos de 313 mm. Estos apoyos se han modelizado como resortes lineales.

### Modelo del material

El modelo de elementos finitos del pavimento incluye por un lado el material de la placa de madera y por otro, el material de los tacos.

Como se ha comentado anteriormente, los pavimentos de madera están constituidos por dos placas superpuestas y con orientaciones de fibra distintas. Para obtener las propiedades mecánicas del pavimento se ha empleado la teoría de materiales compuestos, aplicando en primer lugar el cálculo de la rigidez transformada en función del ángulo de orientación de la fibra y, seguidamente, el cálculo de laminados cruzados no simétricos (Tsai S.W.; Miravete, A, 1992). Aplicando esta teoría se ha desarrollado una aplicación informática que permite obtener las propiedades mecánicas de un pavimento compuesto por dos capas, introduciendo las características mecánicas y la orientación de las fibras de cada capa. En el modelo el material se consideró ortotrópico con las propiedades mecánicas resultantes de dos placas de madera comercial Wisa Abeto orientadas a 0-45°.

Los tacos de goma en este modelo se idealizan como resortes lineales de modo que la caracterización mecánica necesaria para el modelo se ha realizado mediante un ensayo tensión-deformación obteniendo su curva de comportamiento y el valor de la constante elástica K (fuerza / desplazamiento). Únicamente se ha introducido el valor de la rigidez en la dirección perpendicular al pavimento, mientras que en las direcciones paralelas se ha multiplicado el valor de K por 100 para que se consideren rígidos en el cálculo.

### Condiciones de contorno

El modelo del pavimento se ha definido con los tacos anclados en el suelo, eliminando la posible movilidad lateral de los mismos.

Se han aplicado diferentes cargas del orden de magnitud del impacto al que es sometido el pavimento en un ensayo, distribuidas uniformemente sobre un área circular de 70 mm de diámetro (corresponde al pie de impacto de la máquina de ensayos normalizados "Atleta Artificial").

### Análisis y post-procesado

Se ha realizado un análisis de tipo estático lineal, obteniendo como resultados los parámetros  $D_0$  (deformación en el punto de impacto) y  $D_{500}$  (deformación a 500 mm. del punto de impacto) que pueden obtenerse también de forma experimental mediante los ensayos normalizados (Figura 2).

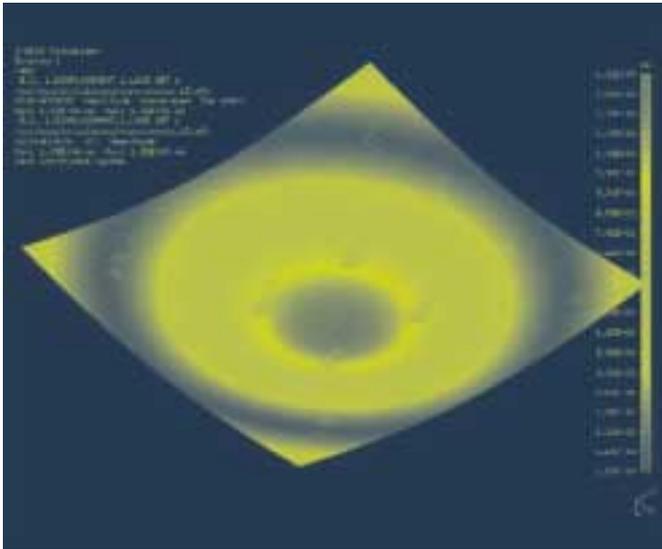


Figura 2. Distribución de deformaciones resultante del análisis MEF.

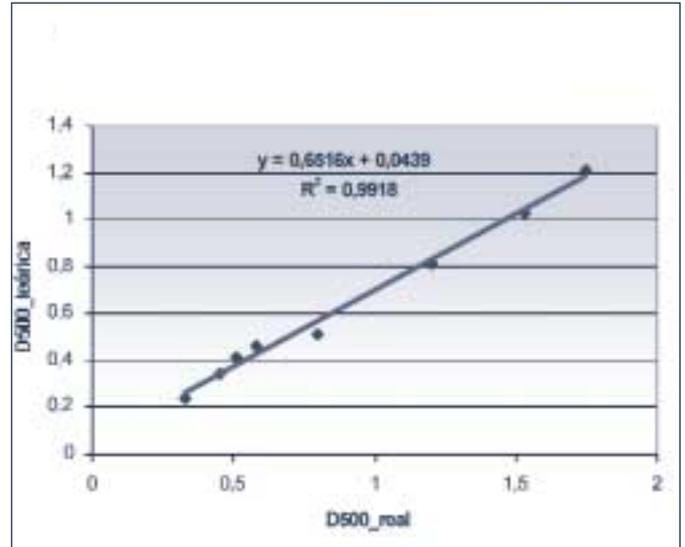


Figura 3. Diagrama de correlaciones entre deformación real y teórica a 500 mm del punto de impacto.

### Validación del modelo

La validación del modelo se ha realizado con ocho condiciones de carga que se corresponden con los valores de la carga de impacto obtenidos para 4 alturas de caída del impactador del “Atleta Artificial” con dos muelles de rigidez distinta. Una vez obtenidos los resultados, el primer análisis ha sido comprobar la correlación entre los parámetros teóricos y los obtenidos en el modelo. El coeficiente de correlación es de 0,997 para  $D_0$  y 0,996 para  $D_{500}$  (Figura 3). Finalmente, se ha realizado una regresión lineal para obtener las ecuaciones que relacionan los parámetros experimentales y los del modelo. Además se han evaluado la gráfica y valores de los residuos.

### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del análisis se consideran válidos, con una discrepancia de alrededor de un 10% entre los valores teóricos y experimentales de las deformaciones. El modelo queda validado pudiendo utilizarse como herramienta para el desarrollo de nuevos pavimentos de madera. El uso de las ecuaciones obtenidas en la regresión lineal permitiría, a pesar de las desviaciones del modelo, predecir los valores de las deformaciones reales obtenidas en los ensayos, siendo, además, un buen indicador de mejoras relativas, lo que permite entender el efecto de cambios en variables de diseño.

No obstante, podría mejorarse el ajuste entre los valores del modelo MEF y los experimentales realizando un modelo viscoelástico en los tacos, incorporando cargas dinámicas y utilizando tipos de soluciones no-lineales; de este modo los resultados podrían acercarse más a la realidad y obtener un modelo de predicción más fiable.

Una vez validado el modelo se ha realizado un estudio que ha permitido conocer la influencia de las variables de diseño (tipo de madera, espesor y distribución de apoyos) en el comportamiento de los pavimentos. Este estudio ha sido realizado en el marco de un proyecto de investigación financiado por la empresa MONDO IBÉRICA, S.A.

Actualmente se está trabajando en la mejora del modelo MEF para que sea más preciso incorporando las siguientes variaciones:

- Modelización de los tacos como materiales viscoelásticos a partir de las curvas de histéresis que han sido obtenidas de ensayos realizados en el IBV.
- Condiciones de carga introducidas en el modelo dinámico (curva fuerza-tiempo) que se obtiene del ensayo de reducción de fuerzas (UNE 41958IN) realizado en el IBV.
- Aplicación de teorías de cálculo no lineal.

A partir de los resultados obtenidos en este modelo mejorado se podrá analizar la evolución de la energía aplicada, absorbida y devuelta en el proceso. Estos modelos avanzados permitirán analizar el retorno de energía de los pavimentos deportivos para diferentes actividades, aspecto de gran influencia sobre el rendimiento deportivo (G. Baroud, B.M. Nigg and D. Stefanyshyn, 1999).

### BIBLIOGRAFÍA

- Baroud, G; Nigg, B.M. y Stefanyshyn, D: Energy storage and return in sport surfaces. Sports Engineering, 2(3): 173-180, 1999.
- Tsai,S.W.; Miravete, A.: Teoría del diseño de materiales compuestos. Universidad de Zaragoza, 1992.