

03-021

DESIGN, ANALYSIS AND EXPERIMENTAL TEST OF A 5 METERS FLOOR FOR CARGO AREA OF TRUCKS

Cuartero Salafranca, Jesús ¹; Castejón Herrer, Luis ¹; Malón Litago, Hugo ¹;
Perez, Víctor ² ¹ Universidad de Zaragoza, ² BRAUSA

In recent years, fuel consumption and competition in transport have generated that the vehicles optimization is a critical phase in the design of all types of vehicles. The developed study include the design, numerical analysis by means of the Finite Element Method and experimental test of an optimized floor for cargo area of a 5 meters traditional vehicle intended for the carriage of goods. Traditionally these floors are composed by steel I-beams and plywood with low performance. In the developed study, a complete redesign has been carried out. I-beams and plywood have been replaced by folded profiles of high strength steel and plywood with low thickness and high performance. The obtained results show a 35% reduction in weight of the optimized floor of the cargo area compared to traditional floor. This weight reduction entails a reduction of manufacturing cost, which compensates the higher cost of materials. As result of study, a lightened floor with a performance slightly higher with respect to a traditional floor for trucks has been obtained

Keywords: *Design; experimental test; FEM, floor for cargo area; truck*

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE UN SUELO OPTIMIZADO DE 5 METROS PARA LA ZONA DE CARGA DE UN CAMIÓN

En los últimos años, el consumo de combustible y la competencia en el transporte hace que la optimización de vehículos resulte ya no interesante, sino crítica a la hora de comercializar todo tipo de vehículos. En este estudio se muestra el diseño, análisis numérico mediante el Método de los Elementos Finitos y ensayo del suelo de la zona de carga para un vehículo tradicional de 5 metros, destinado al transporte de mercancías. Tradicionalmente los suelos se componen de vigas en I de acero convencional y madera laminada de bajas prestaciones. En el estudio desarrollado se realiza un completo rediseño con perfiles plegados en acero de alta resistencia y madera laminada de bajo espesor y altas prestaciones, obteniendo como resultado una reducción del 35% del peso del suelo de la zona de carga respecto a los suelos tradicionales. Esta reducción de peso lleva asociada una reducción de coste de fabricación, lo que en conjunto compensa el coste superior de la materiales. Como conclusión del estudio se consigue un vehículo con prestaciones ligeramente superiores al convencional, el cual ha sido aligerado.

Palabras clave: *Diseño; ensayo; MEF; suelo de zona carga, camión*

Correspondencia: Hugo Malón Litago hml@unizar.es

Agradecimientos: A BRAUSA por la financiación aportada para el desarrollo de este proyecto.

1. Introducción

En la actualidad el sector del transporte de mercancías demanda vehículos más ligeros, principalmente camiones, que permitan el transporte de mayor cantidad de mercancías. En vehículos destinados al reparto o la mensajería, la reducción de tara del vehículo implica adicionalmente una reducción considerable en el consumo de combustible, debido a que estos vehículos normalmente realizan descargados el viaje de vuelta.

Por esta razón, el diseño de nuevos modelos de carrocerías para camiones de pequeñas dimensiones no es sólo una herramienta comercial, sino una necesidad existente en el mercado actual debido a la competencia del sector.

La dificultad que presenta el desarrollo de nuevos modelos de carrocerías es conseguir un diseño que manteniendo o mejorando el comportamiento de los vehículos actuales según criterios de rigidez y resistencia presente una reducción de la tara. Para ello es necesario combinar la incorporación de aceros con mejores propiedades mecánicas que los usados convencionalmente, con diseños geométricos que optimicen el uso de estos aceros.

El desarrollo de estos nuevos modelos de carrocerías requiere un proceso de diseño y optimización de las mismas, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de sus componentes ante las sollicitaciones del trabajo diario.

2. Objetivo

El principal objetivo del estudio es desarrollar un nuevo modelo de suelo para la zona de carga de camiones de pequeñas dimensiones, destinados al reparto de productos o mensajería.

Para alcanzar el objetivo principal es necesario realizar dos fases en el estudio. La primera consiste en el diseño y optimización del modelo geométrico del nuevo suelo para la zona de carga, la cual se realiza mediante técnicas numéricas basadas en el Método de los Elementos Finitos.

En la segunda fase se realiza un ensayo experimental que permita validar el correcto comportamiento del diseño realizado, antes de ser lanzado al mercado. La figura 1 muestra el camión empleado en los ensayos experimentales, el cual va equipado con el suelo desarrollado en el estudio.

Figura 1: Camión equipado con el prototipo del suelo desarrollado



3. Análisis numérico del suelo para la zona de carga de camiones

El análisis numérico mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF) es una técnica aplicada frecuentemente en el análisis estructural de chasis de semirremolques, camiones, maquinaria y aperos agrícolas (Beermann, (1984); Kodiyalam & Sobieszczanski-Sobieski, (2001); Karaoglu & Kuralay, (2002); Capello et al (2005); Li et al, (2007); Valladares et al (2009); Carrera et al, (2010); Miralbes, & Castejon, (2010); Deng et al, (2011); Hoefinghoff et al, (2011); Miralbes, Malon & Castejon (2011); Vidal et al, (2011)), y que ha sido empleada con antelación en el diseño y optimización de suelos para la zona de carga de camiones (Malón et al, (2013)).

En el presente estudio se ha empleado la citada técnica numérica en el diseño y optimización de un suelo para la zona de carga de camiones de pequeñas dimensiones, destinados al reparto de mercancías o la mensajería.

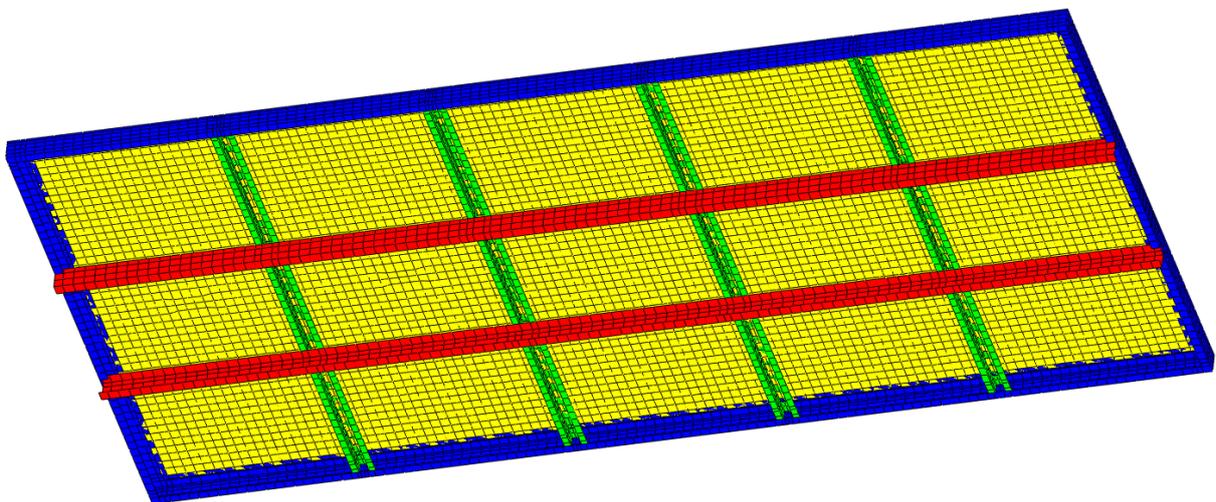
Los casos de carga analizados corresponden a maniobras habituales a las cuales están sometidos los suelos de las carrocerías de este tipo de camiones, y que corresponden con las maniobras críticas para estos componentes según criterios de resistencia y rigidez.

3.1 Modelo de elementos finitos

En el proceso de diseño y optimización de un suelo para la zona de carga de un camión, ha sido desarrollado un modelo inicial de elementos finitos del mismo, figura 2, el cual consta de 100.000 nodos y 80.000 elementos

El diseño inicial de suelo, está formado por dos sobrestidores (en rojo la figura 2), sobre los cuales se instalan cuatro travesaños (en verde en la figura 2). El perímetro del suelo está compuesto por unas bandas de cierre (en azul en la figura 2). Para finalizar, la zona sobre la cual se apoya la carga son chapas de madera (en amarillo en la figura 2), las cuales van ancladas a los travesaños y las bandas laterales.

Figura 2: Modelo numérico inicial del suelo para zona de carga

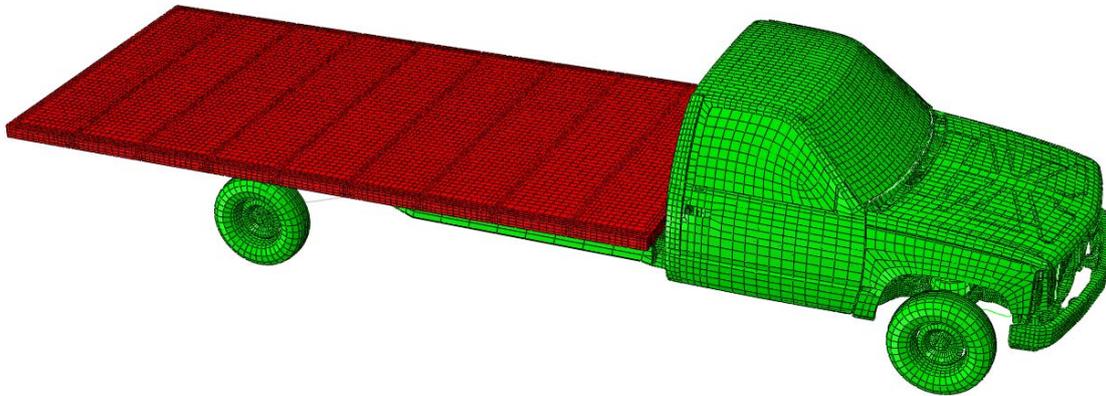


La discretización del modelo se ha realizado a partir de las dimensiones generales de un modelo comercial, las cuales han sido proporcionadas por la empresa BRAUSA.

Con el fin de realizar una correcta simulación de los caso de carga ha sido necesario incorporar al modelo numérico la discretización de la geometría de un camión, sobre el cual se instala el modelo numérico del suelo inicial realizado. El modelo completo empleado en

los cálculos numéricos se muestra en la figura 3, en la cual se muestra en rojo el suelo y en verde el camión.

Figura 3: Modelo completo de elementos finitos



Los elementos empleados en el mallado del suelo son en su totalidad elementos tipo lamina (*Shell*), así como en la discretización del camión, con la excepción de algunos componentes del mismo que se han sido realizados con elementos volumétricos. La unión del suelo al chasis del camión se ha realizado en los puntos de anclaje destinados a esta función en el chasis mediante Multi Point Constraints (MPC's).

Los materiales empleados en el diseño del nuevo suelo son acero S355JR, cuyas propiedades mecánicas han sido obtenidas de la norma EN 10025-2006, para la totalidad de los componentes en acero, y material contrachapado para la madera suelo.

3.2 Condiciones de contorno

A fin de reproducir correctamente el comportamiento del suelo de la zona de carga del camión en las maniobras a simular, se han impuesto una serie de condiciones de contorno que reproducen las existentes en la realidad. En concreto se han restringido la totalidad de los desplazamientos de los nodos inferiores de las ruedas del camión, lo que simula el contacto real existente entre las ruedas y el suelo cuando el vehículo está parado.

3.3 Casos de carga

Los casos de carga analizados en el proceso de diseño y optimización del suelo para la zona de carga de camiones de pequeñas dimensiones corresponden al caso de carga de reposo y los dos casos de carga más críticos desde el punto de vista estructural para los componentes del suelo. En los siguientes puntos se describen los casos de carga analizados.

El primer caso de carga, denominado "*reposo*", corresponde a la situación en la cual el camión está cargado con 2000 kg, distribuidos uniformemente en la zona de carga, sin haber movimiento del vehículo. Este caso de carga sirve como punto de partida para el segundo caso de carga analizado.

El segundo caso de carga, denominado "*escalón*", corresponde a la situación en la cual el camión está parado para realizar el proceso de descarga, pero una de sus ruedas traseras esta subida a una acera. Esta maniobra, muy frecuente en camiones destinados al reparto en ciudades, genera una torsión en la estructura del suelo, lo que provoca concentraciones de tensiones en zonas muy concretas de la estructura. La figura 4 muestra un camión ante este caso de carga, imagen que se ha obtenidos de los ensayos experimentales realizados.

Para realizar la correcta simulación del caso de carga, se parte de los resultados obtenidos del caso de carga de "reposo" y se introduce un desplazamiento ascendente de 150mm en una de las ruedas traseras del camión.

Figura 4: Caso de carga "escalón"



El tercer y último caso de carga analizado, "huella de carretilla", es el caso en el cual se introduce una carretilla en el camión para descargar las mercancías. El problema que presenta esta maniobra es que concentra una carga vertical de magnitud considerable en una superficie muy reducida, en concreto la zona de contacto de las ruedas de la carretilla con la madera del suelo del camión. En la simulación del caso de carga se introduce una fuerza vertical descendente de 850kg en una superficie de 180x80mm, localizada en el centro del penúltimo vano de la estructura del suelo, el cual está entre los dos últimos travesaños de suelo.

4. Resultados del análisis numérico

Una vez que el modelo de elementos finitos inicial del suelo para la zona de carga de un camión de pequeñas dimensiones ha sido realizado se procede a realizar los cálculos numéricos de los casos de carga a analizar.

En este apartado se muestran los resultados obtenidos mediante el Método de los Elementos Finitos del diseño inicial de suelo, así como los resultados finales del proceso de optimización realizado hasta obtener un diseño óptimo del mismo.

En el proceso de optimización desarrollado se ha realizado mediante criterios de rigidez y resistencia

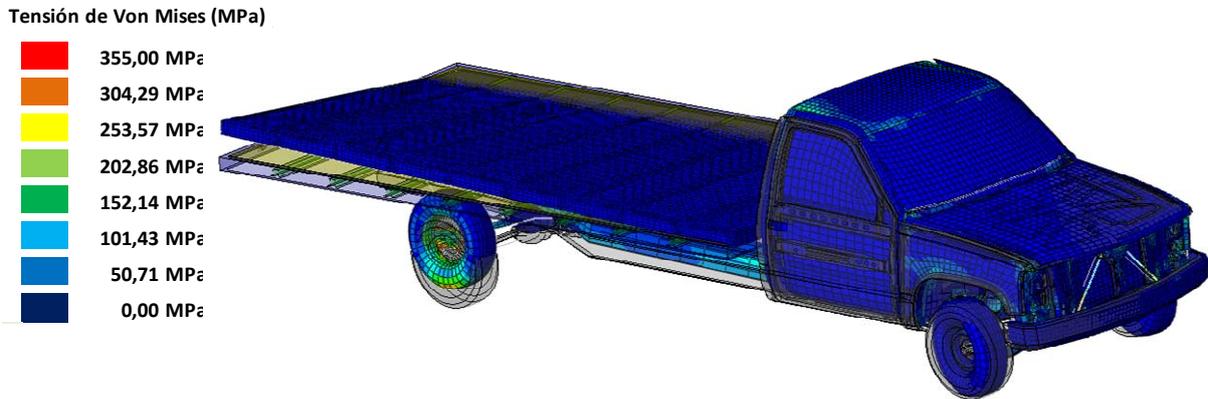
4.1 Diseño inicial

Una vez que los cálculos numéricos del modelo inicial han sido realizados, se procede a analizar los resultados obtenidos del chasis inicial con el fin de optimizar la geometría de los componentes del mismo.

Los cálculos numéricos realizados proporcionan, entre otros resultados las tensiones equivalentes de Von Mises, así como los desplazamientos del modelo global analizado y de cada uno de sus componentes por separado.

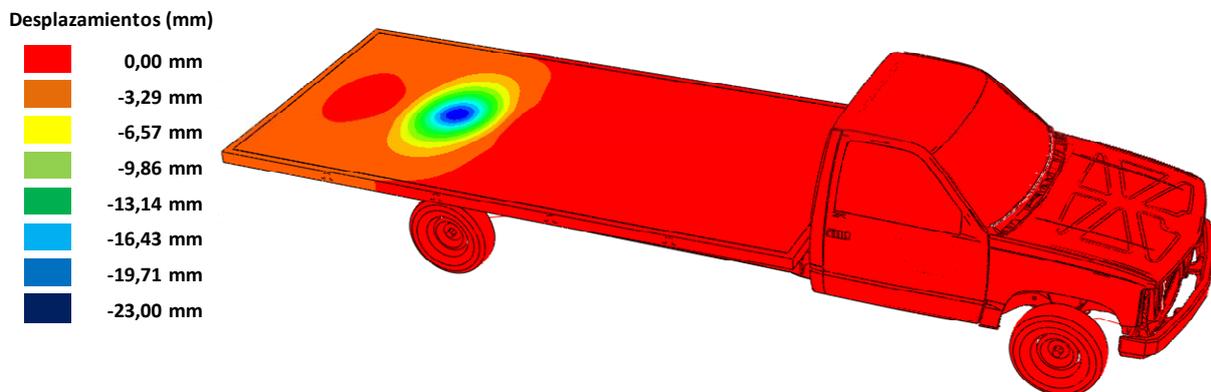
La figura 5 muestra las tensiones equivalentes obtenidas del caso de carga “escalón”, que es el más crítico a nivel global desde un punto de vista resistencia y rigidez. Además se muestra la deformada del vehículo frente a la posición inicial del mismo, apreciándose la torsión a la que está sometida

Figura 5: Tensiones de Von Mises del caso de carga “escalón”



La figura 6 muestra los desplazamientos verticales del caso de carga “huella de carretilla”, el cual es el más crítico para la madera del suelo según los criterios de rigidez y resistencia.

Figura 6: Desplazamientos verticales del caso “huella de carretilla”



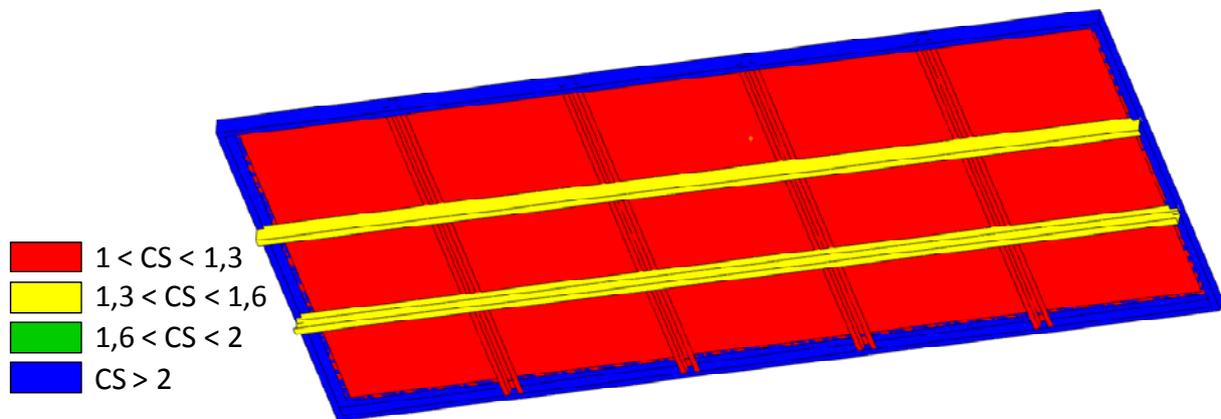
Analizando los valores máximos de tensiones de Von Mises obtenidos en la estructura metálica del suelo, destacan las tensiones en los travesaños del caso de carga “escalón”. En este caso las tensiones máximas registradas se localizan en las uniones de los travesaños con los largueros del sobrebastidor en la zona de eje trasero.

Por otro lado los resultados obtenidos del caso “huella de carretilla” presentan valores de tensiones y desplazamientos muy elevados en la madera del suelo, llegando a la rotura del material.

En resumen, el caso de carga “escalón” es crítico según el criterio de resistencia para la estructura metálica del suelo, mientras que el caso de “huella de carretilla” es crítico para la madera del suelo según criterios de rigidez y resistencia.

Con el fin de agilizar el proceso de optimización, en la figura 7 se muestra una imagen en la que se representa por colores el coeficiente de seguridad mínimo de los componentes de la estructura del suelo inicial para la totalidad de los casos de carga.

Figura 7: Coeficientes de seguridad mínimos de los componentes del suelo inicial



4.2 Diseño optimizado

Una vez han sido analizados los resultados obtenidos de los cálculos numéricos del chasis inicial se procede con el proceso de optimización del mismo.

Conocido el fallo por rotura del piso de madera se decide reducir la longitud de los vanos entre travesaños del diseño inicial del suelo. En concreto se pasa de 4 travesaños del modelo inicial a 8 travesaños del modelo optimizado, lo que reduce la distancia de los vanos a la mitad. Para conseguir este diseño, los 8 travesaños del modelo optimizado se distribuyen uniformemente a lo largo de la longitud del suelo optimizado.

En referencia la geometría o los materiales de la madera o de los perfiles que componen la estructura metálica del suelo, se decide no realizar modificaciones. En el caso de la estructura metálica el único componente que podría presentar problemas son los travesaños, pero al duplicar el número de los mismos se reduce el estado tensional de los mismos. Por otro lado al reducir el vano entre travesaños, los esfuerzos se transmiten a los travesaños impidiendo deformaciones excesivas en la madera del suelo.

Las figuras 8 y 9 muestran una comparativa de los resultados obtenidos de tensiones de Von Mises del caso de carga más desfavorable para la estructura metálica del suelo, "escalón", de los modelos "inicial" y "optimizado". Como se aprecia en las imágenes al aumentar el número de travesaños se consigue un comportamiento más uniforme de la zona central de la estructura metálica, lo que implica una reducción de las tensiones máximas en estos componentes.

Los desplazamientos verticales máximos obtenidos de los modelos "inicial" y "optimizado" del caso de carga "huella de carretilla" se muestran las figuras 10 y 11. En ellas se muestra un comportamiento claramente diferenciado. En el caso del modelo inicial la huella de la carretilla genera un desplazamiento vertical muy localizado de gran magnitud, mientras que el modelo optimizado consigue reducir la magnitud del desplazamiento al comportarse como una estructura más uniforme.

Figura 8: Tensiones del Von mises en los componentes de acero del suelo inicial en el caso de carga “escalón”

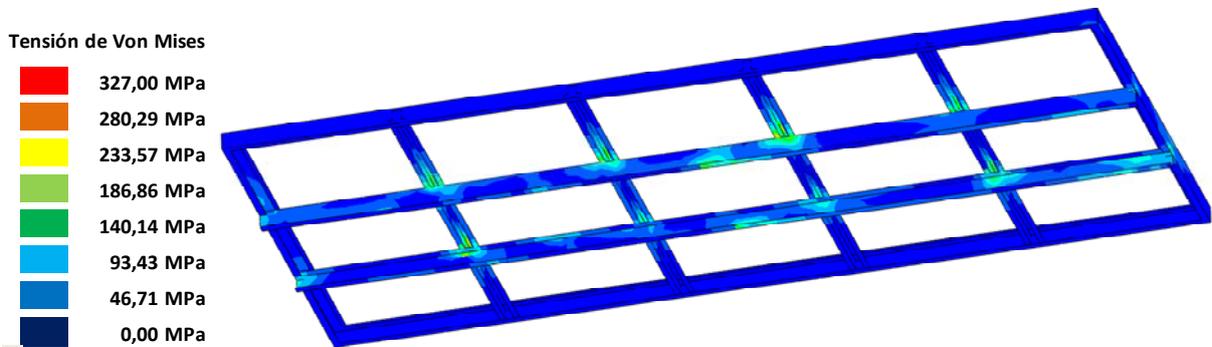


Figura 9: Tensiones del Von mises en los componentes de acero del suelo optimizado en el caso de carga “escalón”

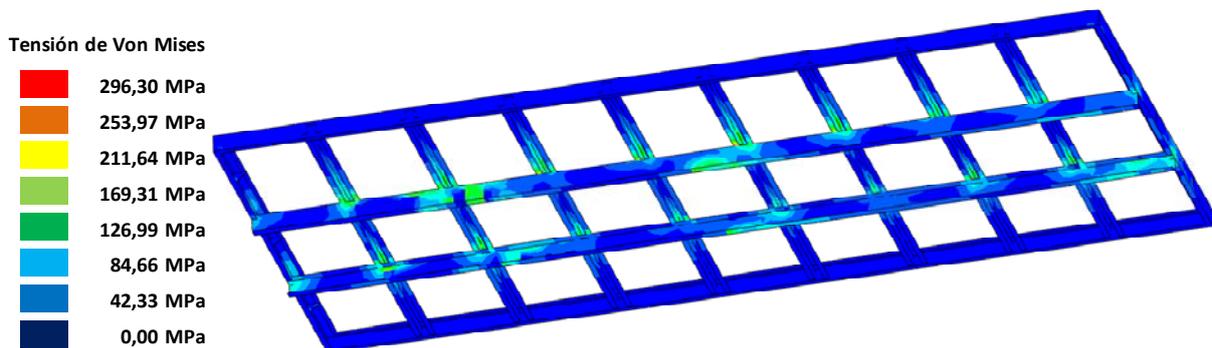


Figura 10: Desplazamientos verticales en el caso de “huella de carretilla” del suelo inicial

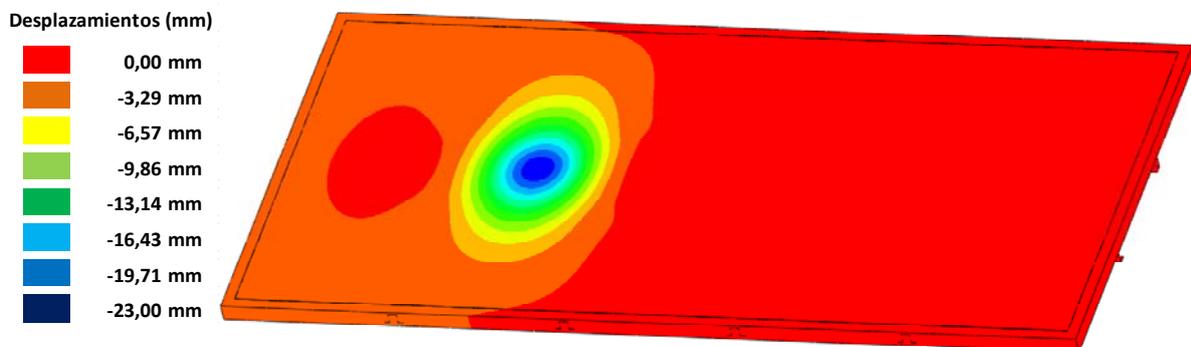
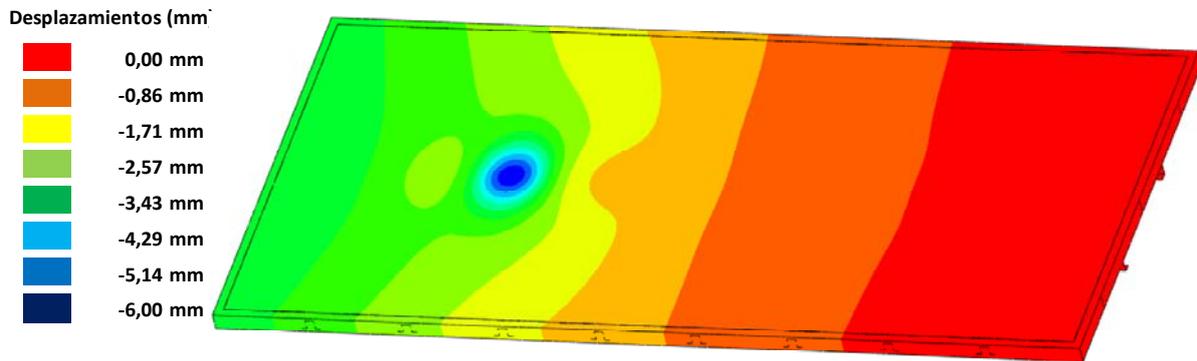


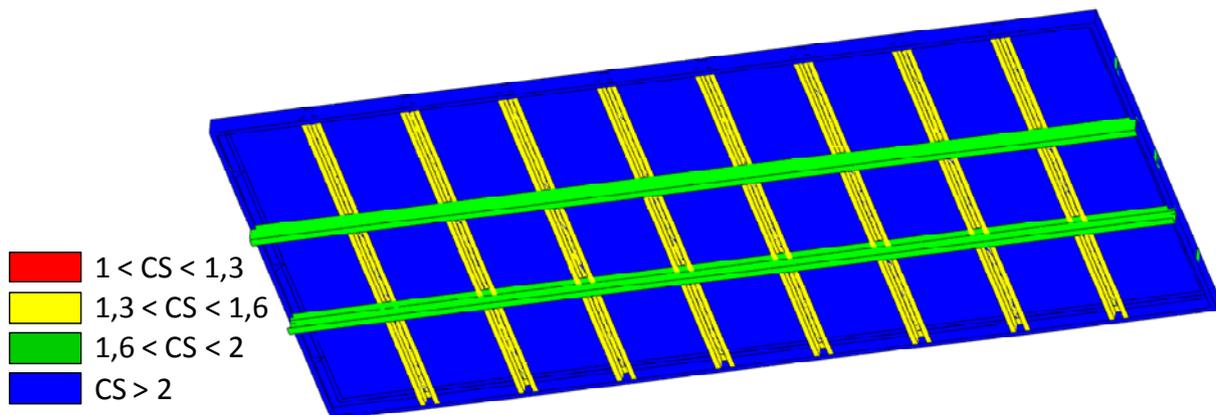
Figura 11: Desplazamientos verticales en el caso de "huella de carretilla" del suelo optimizado



Análogamente al modelo inicial, la figura 12 muestra los coeficientes de seguridad mínimos de cada uno de los componentes del chasis optimizado.

En ella se muestra como se ha optimizado el comportamiento de todos los componentes de la estructura del suelo, consiguiendo un coeficiente de seguridad mínimo de 1,3 para el modelo optimizado.

Figura 12: Coeficientes de seguridad mínimos de los componentes del chasis optimizado



5. Ensayo experimental

Una vez se ha obtenido un diseño óptimo de suelo para la zona de carga para camiones de pequeñas dimensiones, se procede a la fabricación y ensayo de un prototipo el cual permita validar el proceso de diseño y optimización realizado.

El prototipo del suelo se instala en un camión (figura 1) y es instrumentalizado con 8 galgas extensométricas unidireccionales. Cuatro de las galgas se colocan en uno de los largueros y otra tres en los travesaños segundo y tercero de la parte trasera de la estructura del suelo. La octava galga se emplea como galga de referencia, para poder corregir efectos debidos a la temperatura.

En el ensayo experimental se reproducen los casos analizados en el análisis numérico: "reposo", "escalón" (figura 4) y "huella de carretilla". La carga en los casos de "reposo" y "escalón" corresponde a dos palets de 1000kg cada uno.

La figura 13 muestra los resultados registrados en la realización del ensayo de las maniobras "reposo" y "escalón".

Figura 13: Datos registrados del ensayo experimental de las maniobras "reposo" y "escalón"

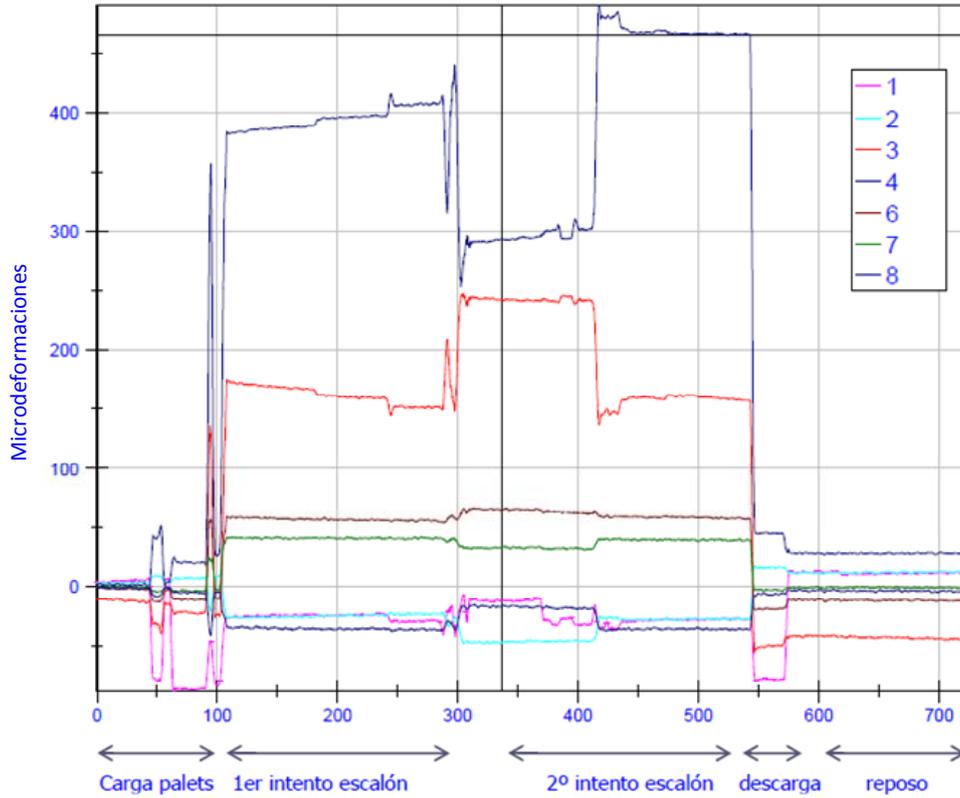


Tabla 1. Tensiones de Von Mises máximas obtenidas de los ensayos experimentales

Canal de medida	Tensiones de Von Mises máximas (MPa)		
	Reposo	Escalón	Huella Carretilla
1	19	19	25
2	2	13	23
3	4	34	29
4	11	97	82
6	3	17	54
7	1	8	34
8	2	7	15

Los valores registrados en los ensayos no presentan problemas de resistencia, como se muestra en la tabla 1. Del ensayo también se concluye que el suelo tiene un comportamiento satisfactorio según el criterio de rigidez. Por estas razones se puede validar el diseño optimizado de suelo para la zona de carga de camiones de pequeñas dimensiones.

6. Conclusiones

En el estudio realizado se ha diseñado, optimizado y ensayado experimentalmente un suelo para la zona de carga de un camión de pequeñas dimensiones destinado al reparto o a la mensajería.

El modelo inicial ha sido diseñado en función de las dimensiones generales de un suelo actual, las cuales han sido proporcionadas por la empresa BRAUSA.

En el proceso de análisis y optimización se han empleado técnicas numéricas basadas en el Método de los Elementos Finitos. Estas técnicas han permitido obtener resultados de tensiones equivalentes de Von Mises y desplazamientos, los cuales han permitido optimizar el la estructura del suelo según criterios de rigidez y resistencia.

En este proceso se han analizado tres casos de carga, los cuales corresponden a un caso de “reposo” y a las dos maniobras más críticas para este tipo de suelos, como son “escalón” y “huella de carretilla”.

Se ha comprobado que el caso de carga “escalón” es el más restrictivo para la estructura metálica del suelo según el criterio de resistencia. Por el contrario, el caso de carga “huella de carretilla” es el más crítico según criterios de rigidez y resistencia para la madera del suelo.

Los ensayos experimentales han permitido validar el prototipo fabricado a partir del análisis numérico desarrollado, pero no así el análisis numérico desarrollado, debido a que las cargas aplicadas en los ensayos experimentales no se correspondían con las aplicadas en los cálculos numéricos.

El diseño optimizado de suelo para la zona de carga de un camión de pequeñas dimensiones no presenta problemas según criterios de rigidez y resistencia.

Referencias

- Beermann, H.J. (1984) Static Analysis of Commercial Vehicle Frames –A Hybrid Finite-Elements and Analytical Method. *International Journal of Vehicle Design* 5(1–2) pp 26–52.
- Cappello, F. Ingrassia, T. Mancuso, A. et al. (2005) Methodical Redesign of a Semitrailer. *9th International Conference on Computer Aided Optimum Design in Engineering. Computer Aided Optimum Design in Engineering IX Book Series: Wit Transactions on the Built Environment*, Volume 80, pp. 359–369.
- Carrera, M. Castejon, L. Miralbes, R. et al. (2010) Behaviour IA Rear Underrun Protection System on Car-to-Tank Vehicle Impact Used for Fuel Transportation, “*International Journal of Heavy Vehicles Systems*” 17(3–4). pp. 199–215.
- Deng, Y.D. Wang, J. Wen, Y. et al. (2011). The Static and Dynamic Characteristics Study of Aluminum Tank Semitrailer. *2nd International Conference on Manufacturing Science and Engineering. Manufacturing Process Technology*, PTS 1–5 Book Series: Advanced Materials Research, Volume 189–193, pp. 2233–2237.
- Hoefinghoff, J. Jungk, A. Knop, W. et al. (2011). Using 3D Field Simulation for Evaluating UHF RFID Systems on Forklift Trucks. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 59(2), pp.689–691.

- Karaoglu, C. & Kuralay, N.S. (2002). Stress Analysis of a Truck Chassis with Riveted Joints. *Finite Elements in Analysis and Design* 38(12), pp1115–1130.
- Kodiyalam, S. & Sobieszczanski-Sobieski, J. (2001). Multidisciplinary Design Optimization - Some Formal Methods, Framework Requirements, and Application to Vehicle Design. *International Journal of Vehicles Design* 25(1–2), pp. 3–22.
- Li, M.H. Lam, F. & Lee, G. (2007). Structural Assessment of Van Trailer Floor Systems with Aluminium Frame and Wood Decking. *International Journal of Heavy Vehicles Systems* 14(2). pp 216–226.
- Malon, H. Castejon, L. Cuartero, J. & Martin-Buro, P. (2013) Numerical-experimental analysis of two floor platform designs for Auxiliary construction truck. *Experimental techniques*. IN PRESS
- Miralbes, R. & Castejon, L. (2010). Fatigue Design of Tanker Semi-Trailers, *Dyna* 85(6). pp. 480–488.
- Miralbes, R. Malon, H & Castejon L. (2011) Diseño de accesorios para el acoplamiento en carretillas manipuladoras: plumines y portapalets. En: *Libro de resúmenes del XV International Congress on Project Engineering*. ISBN 978-84-615-4542-1
- Valladares, D., Castejon, L., Carrera, M., et al. (2009). Comparative analysis of two numerical methods of rollover simulation of a semitrailer for hydrogen transport. En *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences/Computers and Information in Engineering Conference*, pp. 1011–1019. San Diego, CA.
- Vidal, M. Bone, A. Garcia-Ramos, F.J. Malon, H & Villacampa, R.(2011) Desarrollo de máquina para la aplicación localizada de cebo rodenticidas en parcelas agrícolas. En: *Libro de resúmenes del XV International Congress on Project Engineering*. ISBN 978-84-615-4542-1