

Cálculo de tensiones en el chasis de un automóvil en movimiento: comparación entre resultados numéricos y experimentales

R. Gutiérrez, J. Cuadrado, M. Landeira

*Escuela Politécnica Superior, Mendizábal s/n, 15403 Ferrol
Tel: 981337400, Fax: 981337410, E-mail: rutgut@cdf.udc.es*

Resumen

En el diseño de máquinas y mecanismos no sólo es importante conocer el movimiento, sino también las tensiones de los componentes móviles. Los métodos para el análisis dinámico de sistemas mecánicos multicuerpo por computador, permiten la obtención de las tensiones en determinados componentes del sistema durante el movimiento del mismo, siempre y cuando dichos componentes se modelicen como flexibles. En este artículo, se pretende demostrar que la aplicación de esta técnica de cálculo proporciona buenos resultados, incluso cuando se estudian complejos sistemas reales. Para ello, se ha realizado el modelo virtual de un prototipo de automóvil, comparando las tensiones medidas sobre el vehículo real con las calculadas en el modelo numérico.

Palabras Clave: simulación, dinámica, máquinas, mecanismos, cálculo de tensiones

Abstract

Not only motion, but also stress calculation, is essential for the mechanical design of machines and mechanisms. Computational methods for the dynamic analysis of multi-body systems allow for stress calculation at certain system components as the motion takes place, provided those components are modelled as flexible. This paper is aimed at showing that the described technique produces satisfactory results, even when complex realistic systems are studied. To this end, the virtual model of a prototype car has been developed, and comparison between stresses measured onboard the actual vehicle, and calculated within the numerical model, has been established.

Keywords: simulation, dynamics, multi-body systems, stress calculation

1. Introducción

En el proceso de diseño de máquinas y mecanismos no sólo es importante conocer el movimiento, sino también las tensiones de los componentes móviles. Una forma de calcular los valores de las tensiones que sufren los componentes de un sistema mecánico durante el movimiento de éste, es realizar un análisis dinámico por computador del sistema en cuestión, considerando como flexibles aquellos componentes cuyas tensiones se deseen conocer. En las últimas décadas, se han desarrollado numerosos métodos para el análisis dinámico de mecanismos con elementos flexibles [1,2]. Sin embargo, hay dos aspectos a mejorar: por un lado, la mayoría de los ejemplos propuestos son sencillos y

meramente académicos, no habiéndose abordado casos realistas de interés industrial; por otro lado, no ha existido generalmente una validación experimental de los resultados obtenidos, sino solamente, en el mejor de los casos, una validación mediante comparación con otras técnicas de cálculo, como el análisis dinámico no lineal por el método de los elementos finitos [3]. El objetivo de este trabajo es, por tanto, el cálculo de las tensiones sufridas por el chasis de un vehículo automóvil durante su movimiento, ejemplo de sistema mecánico realista y complejo, mediante técnicas de análisis dinámico de mecanismos con elementos flexibles, y la validación de los resultados obtenidos mediante su comparación con los medidos en ensayos experimentales.

2. El prototipo real

El prototipo real, que puede verse en la Figura 1, es un vehículo cuyo chasis se ha realizado en tubo de acero, y en el que los distintos componentes (motor, suspensiones, dirección, ruedas, etc.) se han obtenido del desguace y adaptado convenientemente.



Figura 1. El prototipo real.

Para medir el movimiento del vehículo se han instalado cuatro acelerómetros triaxiales en las cuatro esquinas de la base del chasis. Estas aceleraciones se integran dos veces, mediante un procedimiento que asegura el cumplimiento de las restricciones entre los cuatro puntos, y de sus dos primeras derivadas, para obtener, en cada maniobra, la posición, velocidad y aceleración del chasis en un sistema inercial.

Por otro lado, para medir las tensiones que se producen durante el movimiento, se ha recurrido al empleo de bandas extensométricas, instalando cuatro medios puentes de

Wheatstone en otros tantos puntos del chasis, con una banda superior y otra inferior cada uno, para medir momentos de flexión en las barras.

A bordo del vehículo, se ha dispuesto una tarjeta de adquisición de datos y un PC portátil para capturar las 16 señales (12 de los acelerómetros y 4 de los puentes de Wheatstone), y almacenarlas para su posterior tratamiento.

3. El prototipo virtual

El prototipo virtual, que se muestra en la Figura 2a, ha sido modelizado en coordenadas naturales, considerando únicamente el chasis como elemento flexible, al que se ha aplicado la aproximación de sistema de referencia móvil, con modos de deformación de fronteras fijas (estáticos y dinámicos). Para la obtención de dichos modos, ha sido preciso preparar un modelo de elementos finitos del chasis, que aparece en la Figura 2b.

El modelo de sistema mecánico multicuerpo resultante consta de un total de 58 puntos, 16 vectores unitarios, 5 distancias, 1 ángulo, 60 modos estáticos y 5 modos dinámicos, lo que supone un total de 293 variables.

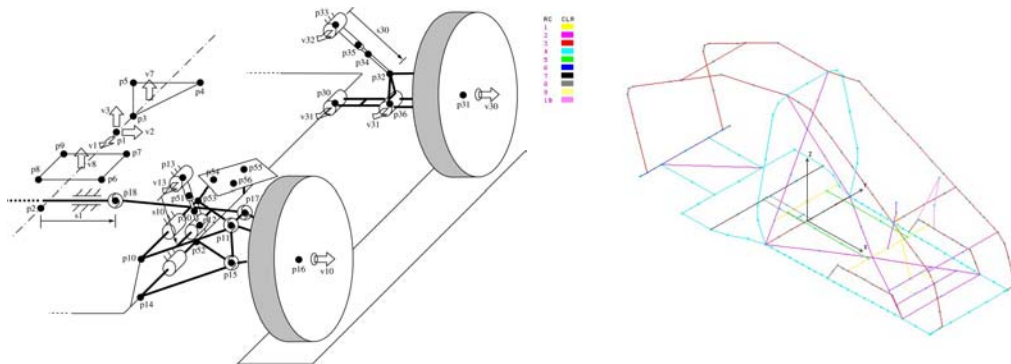


Figura 2. a) El prototipo virtual; b) Modelo de elementos finitos del chasis.

Las ecuaciones de la dinámica se obtienen en base a una novedosa formulación Lagrangiana aumentada de índice 3 que se combina con la regla trapezoidal como integrador, conduciendo a un sistema de ecuaciones algebraicas no lineal con las posiciones dependientes como incógnitas, que se resuelve según un esquema de iterativo de Newton-Raphson. Una vez alcanzada la convergencia en el paso de tiempo, se procede a la proyección (limpieza) de velocidades y aceleraciones antes de pasar al

paso de tiempo siguiente. Este método de resolución de la dinámica de sistemas multicuerpo con elementos flexibles puede consultarse en detalle en la referencia [3].

Para reproducir las maniobras ejecutadas en la realidad con el modelo de computador del vehículo, se toma la información obtenida de integrar las señales de los acelerómetros (posición, velocidad y aceleración del chasis, expresadas en el sistema inercial), y se utiliza para guiar cinemáticamente el movimiento de avance del prototipo virtual. De esta forma, se asegura que la “conducción” del vehículo es la misma en el caso real y en la simulación numérica.

4. Maniobra

Para establecer la comparación de tensiones medidas sobre el prototipo físico, y calculadas con el matemático, se ha definido una maniobra, que se ilustra en la Figura 3 en sus versiones real y virtual. El vehículo parte del reposo, acelera, alcanza una velocidad de unos 5 m/s, desciende un escalón de 8 cm que se halla perpendicular al avance del prototipo, y posteriormente frena hasta detenerse por completo. De esta forma, se pretende excitar la flexión del chasis en su conjunto. El tiempo total de medidas en esta maniobra es de 15 segundos.

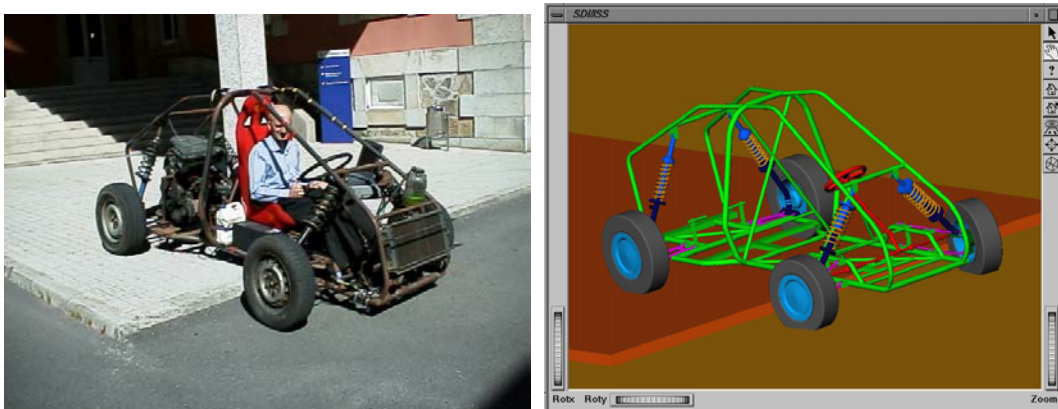


Figura 3. Maniobra de flexión: a) Real; b) Virtual.

En la Figura 4 se presenta la comparación entre los momentos de flexión medidos y calculados en dos de los puntos considerados: en la barra lateral derecha de la base del chasis, y en la barra superior delantera derecha.

A la vista de los resultados, puede afirmarse que existe una correlación aceptable entre medidas y cálculos. Se observa cómo las medidas sufren de una pequeña imprecisión, ya que deberían terminar en el mismo nivel de esfuerzo con el que comienzan, pues la situación inicial y final del vehículo es la misma. Las mayores discrepancias se producen en el momento del salto del escalón, si bien ello puede deberse a la presencia de holguras entre los distintos componentes del vehículo real, que den lugar a fuerzas de tipo percusional en la caída.

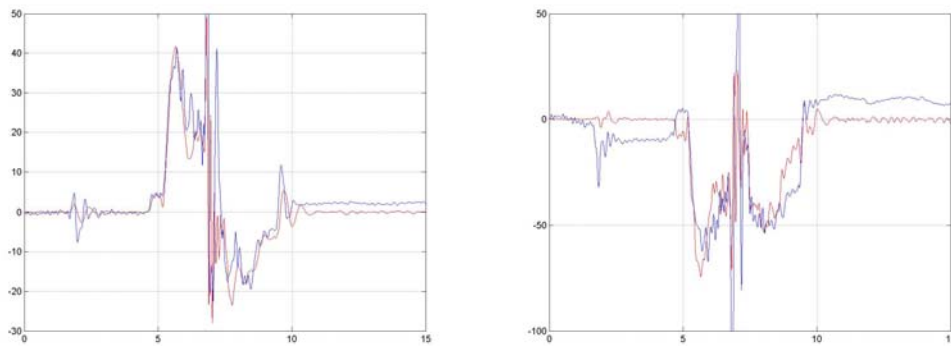


Figura 4. Comparación de momentos flectores: a) Barra superior; b) Barra inferior.

5. Conclusiones

Las conclusiones que se extraen de este trabajo son las siguientes:

- El cálculo de tensiones en los componentes de un sistema mecánico en movimiento puede realizarse mediante métodos de análisis dinámico de sistemas multicuerpo, si se modelizan como flexibles aquellos elementos cuyas tensiones interese conocer.
- Se ha construido un prototipo real de vehículo automóvil, y se ha implementado su réplica virtual en un ordenador.
- Se ha medido el movimiento y los momentos flectores que soporta el prototipo físico durante una maniobra, y se han calculado las mismas magnitudes con el modelo de computador.
- A la vista de la correlación obtenida entre medidas y cálculos, puede afirmarse que la técnica utilizada es una herramienta adecuada para el prototipado virtual de sistemas mecánicos móviles, que permite reducir el tiempo de diseño del producto.

6. Referencias

1. A. Shabana, *Dynamics of Multibody Systems*, Cambridge University Press, Cambridge, (1998).
2. J. García de Jalón, E. Bayo, *Kinematic and Dynamic Simulation of Multibody Systems*, Springer-Verlag, New York, (1994).
3. J. Cuadrado, R. Gutiérrez, M. A. Naya, P. Morer, *A Comparison in Terms of Accuracy and Efficiency between a MBS Dynamic Formulation with Stress Analysis and a Non-linear FEA Code*, *Int. J. for Numerical Methods in Engineering*, **Vol.**(51) (2001) 1033.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el contexto del proyecto DPI2000-0379, financiado por la CICYT, y del incentivo al mismo PGIDT01PXI16601PN aportado por la Secretaría General de I+D de la Xunta de Galicia.