

MODELACIÓN DE UN CUADRO DE BICICLETA MEDIANTE MEF PARA LA UTILIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO

Autores:

Dr. Ing. César A. Chagoyen Méndez. ¹
D. Yolexis Lugo Pérez. ¹
Dr. Ing. Emilio Álvarez García. ¹
D. Eliel Pérez Pérez. ²
Dr. Raul Martín García. ³

¹ Departamento de Mecánica Aplicada y Dibujo. Facultad Ingeniería Mecánica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Empresa “Ciclos Minerva”. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Departamento de Ingeniería Industrial e Ingeniería Civil. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Cádiz, Algeciras, España. E-mail: raul.martin@uca.es, Fax: 956028038

Resumen

En este trabajo se lleva a cabo la modelación de un cuadro de bicicleta para la sustitución del acero tradicional por un material compuesto. El material compuesto es desarrollado por la Fábrica “Ciclos Minerva” de Santa Clara, en Cuba. Se simula mediante MEF los ensayos de impacto vertical y horizontal y se comparan las tensiones y desplazamientos para ambos materiales.

Abstract

In this work the modelation of the bicycle frame to substitute the traditional steel by a composite material is carried out. Vertical and horizontal impact test by FEM is simulated and to both material the stress and displacements is compared.

Keywords

modelation, composed material, finite element method

1. INTRODUCCIÓN

La bicicleta como medio de transporte es de gran importancia en gran parte del mundo, su uso es más amplio en países subdesarrollados, y generalmente se utiliza para transportarse a cortas distancias. También forma parte de un deporte reconocido y gustado por la inmensa mayoría del mundo: el ciclismo. De la bicicleta en sus inicios a la actual además de los cambios estructurales, se le han añadido cambios de velocidad, se ha disminuido su peso al utilizar materiales ligeros y los diseños son variados, gracias a la ayuda de diversos software y nuevas técnicas de diseño empleadas.

El diseño es una de las esferas más importantes de aplicación de la computación en la industria mecánica. Esta unión entre la computación y el diseño ha promovido el desarrollo de los Sistemas CAD (Computer Aided Design). El propio desarrollo de estos sistemas y de la tecnología a escala mundial ha llevado a que el diseño de las actuales bicicletas se realice sobre los mismos. En Cuba no hay tradición del diseño manual ni automatizado de bicicletas, básicamente lo que se hace es realizar modificaciones a los modelos que se fabrican. Este trabajo puede constituir la motivación para la aplicación de estas técnicas en esta rama de la industria en el país.

La aplicación de materiales compuestos es otro de los aspectos que está en continuo desarrollo en la mayoría de las industrias de todo tipo en el mundo, incluso en la de bicicletas. Dado lo anterior por lo económicos que resultan y por brindar propiedades similares o superiores a las de los materiales tradicionalmente utilizados, tanto es así que las bicicletas deportivas en su inmensa mayoría son de materiales compuestos y en el mercado muchas de las que se producen para la población también están construidas de estos materiales.

El presente trabajo trata acerca de la modelación de un cuadro de bicicleta para la sustitución del acero tradicionalmente utilizado por un material compuesto, aplicando como técnica CAD el Método de los Elementos Finitos (MEF).

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Material:

Los materiales compuestos constituyen un sistema de materiales integrados por una mezcla o combinación de dos o más micro constituyentes que difieren en forma y composición química que son esencialmente insolubles los unos en los otros. Aunque su costo es más elevado, gracias a sus especiales características, se sitúan por encima de los materiales ligeros empleados hasta ahora, pues con ellos se logra la reducción de peso, el aumento de la durabilidad y la disminución del mantenimiento, la posibilidad de trabajo a altas temperaturas, la mejora de las propiedades tribológicas, la disminución de la contaminación acústica y la facilidad del reciclado, entre otros. [1], [2], [3], [4].

El material compuesto desarrollado por la fábrica “Ciclos Minerva” de Santa Clara, consta de una matriz polimérica a base de resina de poliéster a la que se le añade como refuerzo fibra de vidrio y de yute, así como zeolita natural en polvo.

Sobre la base de un diseño de experimento de mezcla, en el cual se toman como factores objeto de estudio, la fibra de vidrio en tres de sus formas, la zeolita natural en polvo con un tamaño de partícula de 80 μm y el tejido de fibra de yute. Se estudia la

influencia de dichas variables sobre las propiedades físico mecánicas del material desarrollado.

En una segunda etapa se elaboraron, según las normas ASTM D638-03 “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics” (técnicamente equivalente a la ISO 527-1) y la ASTM E132 “Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature” [5], [6], [7], las correspondientes probetas para determinación de las propiedades físico mecánicas de los mismos. A partir del procesamiento estadístico de los resultados de los ensayos se puede decir que el material compuesto posee poco peso y buena rigidez. Se lograron determinar las siguientes características:

Módulo de Elasticidad, $E= 1.8824 \times 10^3$ MPa	Densidad, $\rho= 1630$ Kg/m ³
Coefficiente de Poisson, $\mu= 0.2$	Resistencia a la Tracción, $\sigma_{\text{máx}}= 351$ MPa

Tradicionalmente es empleado el acero AISI 1020 para el cuadro, al menos en ésta fábrica. Para poder establecer una comparación entre ambos materiales a continuación se relacionan algunas de las propiedades de este acero:

Módulo de Elasticidad, $E= 2 \times 10^5$ MPa	Densidad, $\rho= 7900$ Kg/m ³
Coefficiente de Poisson, $\mu= 0.29$	Resistencia a la Tracción, $\sigma_{\text{máx}}= 420$ MPa

Al comparar ambos materiales se observa que la mayoría de las características son diferentes, aunque no muy diferentes en todos los casos. La mayor diferencia y que es bien aprovechada se presenta en la densidad de ambos materiales, lo cual permite aliviar el peso del cuadro de la bicicleta. Si se calcula el peso aproximado (mediante el software Mechanical Desktop 6.0 [8]) del cuadro para ambos materiales, con las respectivas densidades, obtenemos:

Peso del cuadro (acero AISI 1020)	= 5.04 Kg
Peso del cuadro (material compuesto)	= 1.04 Kg

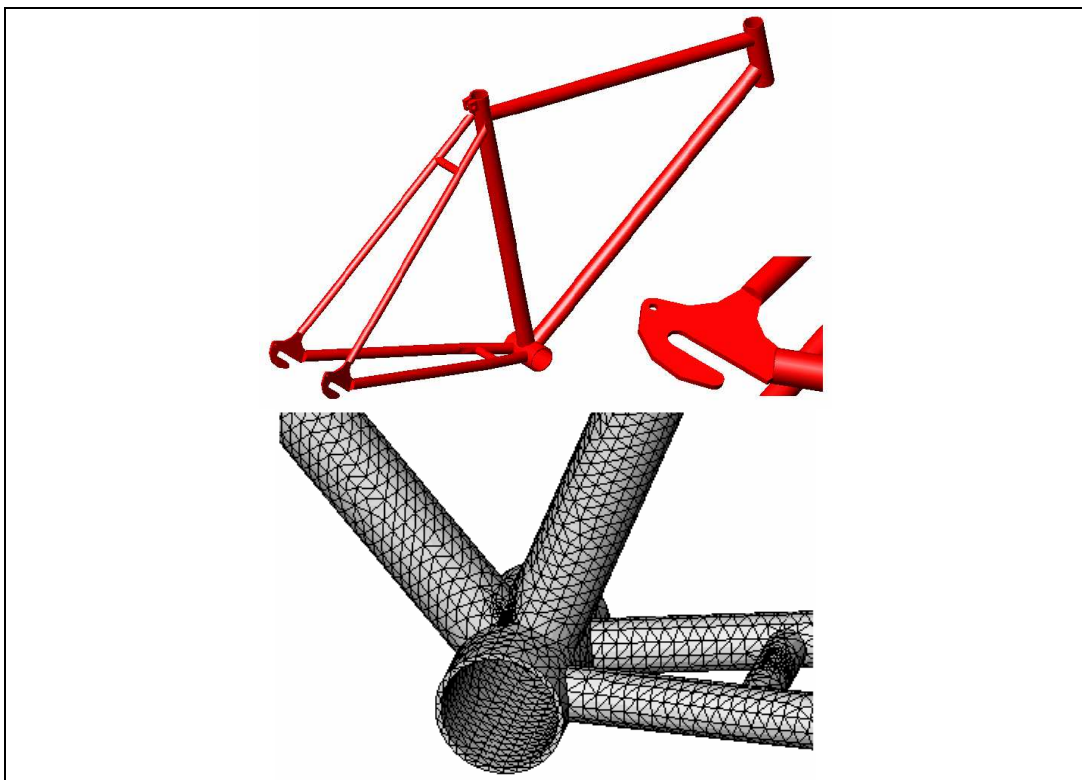
Como se puede observar la diferencia entre ambos es notable, aspecto muy conveniente en el caso de las bicicletas.

Cargas y Restricciones:

Para establecer el sistema de cargas y restricciones a que estaría sometido el modelo del cuadro de bicicleta a simular se tenían dos posibilidades: la primera era la utilización de la norma cubana NC 18-81 “Requisitos de Seguridad para Bicicletas” y la segunda, utilizar los sistemas de cargas y restricciones planteados por otros autores a partir de otras normas de seguridad para bicicletas de otros países con mayor desarrollo en esta rama.

Se analizaron las dos posibilidades. La NC 18-81 establece dos ensayos: el de deformación y el de impacto por caída. Al modelar estos ensayos con los valores de cargas y restricciones establecidos en dicha norma los resultados no fueron adecuados ya que los valores de tensiones sobrepasaron en ambos casos, por mucho, el límite del material. Al no tener resultados experimentales del empleo de esta norma que permitieran comparar los resultados de la modelación se decide utilizar definitivamente la segunda posibilidad.

Se realizó un estudio de lo planteado por varios autores [9], [10], [11], [12], [13] y [14]. A partir del análisis de esta información se decide simular el ensayo de impacto vertical con una carga de 2669N que es el valor más alto de los utilizados en las referencias y el impacto horizontal con una carga de 700N como promedio de las cargas utilizadas por diferentes autores. Las condiciones de apoyo para ambos ensayos y las cargas sólo difieren con los planteados por la NC 18-81, en los valores de las cargas y en la no consideración del tenedor en el ensayo de impacto horizontal. En la Figura 1 se muestran imágenes del modelo construido para los dos ensayos.



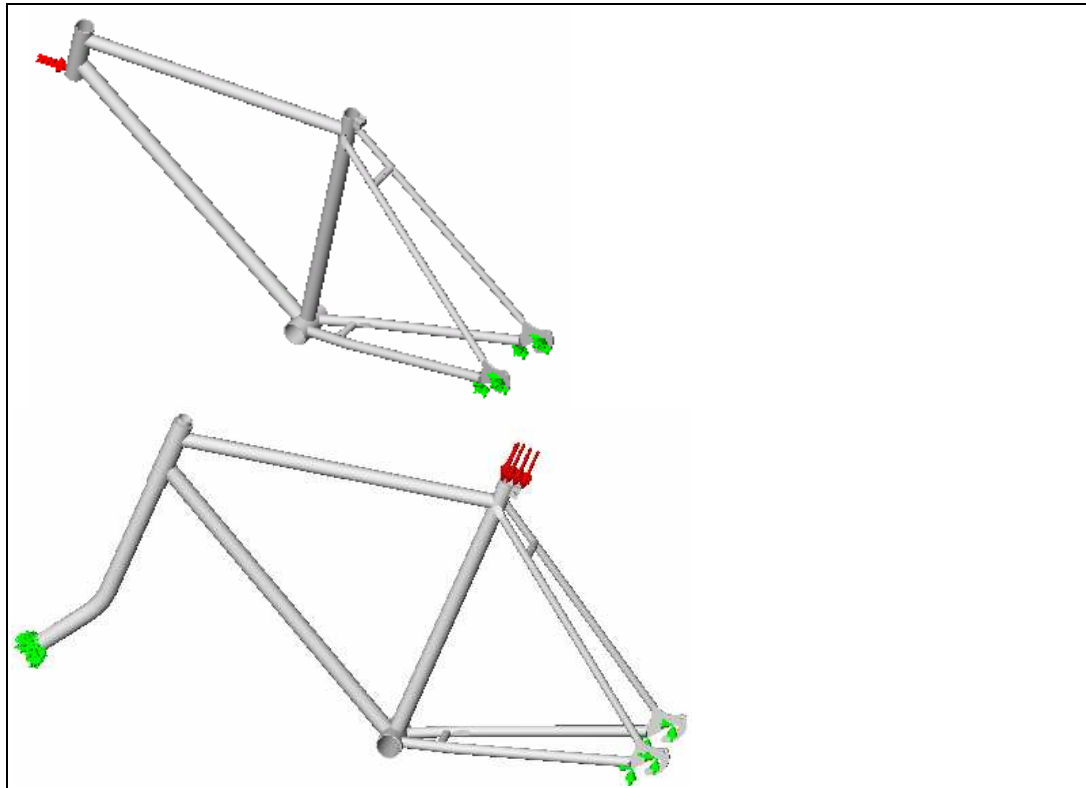


Figura 1. Modelo 3D de la bicicleta, detalle de la malla de elementos finitos y condiciones de cargas y restricciones para los Ensayos de Impacto Horizontal y Vertical

3. RESULTADOS OBTENIDOS

La modelación se efectuó utilizando el software COSMOS/DesgnStar 4.0 [15]. En él se realizaron las corridas de ambos ensayos para los dos tipos de material, obteniéndose las tensiones equivalentes Von Mises y los desplazamientos resultantes para el Acero AISI 1020 y para el material compuesto. A modo de ejemplo, las Figuras 2 y 3 muestran algunas imágenes que reflejan estos resultados gráficos.

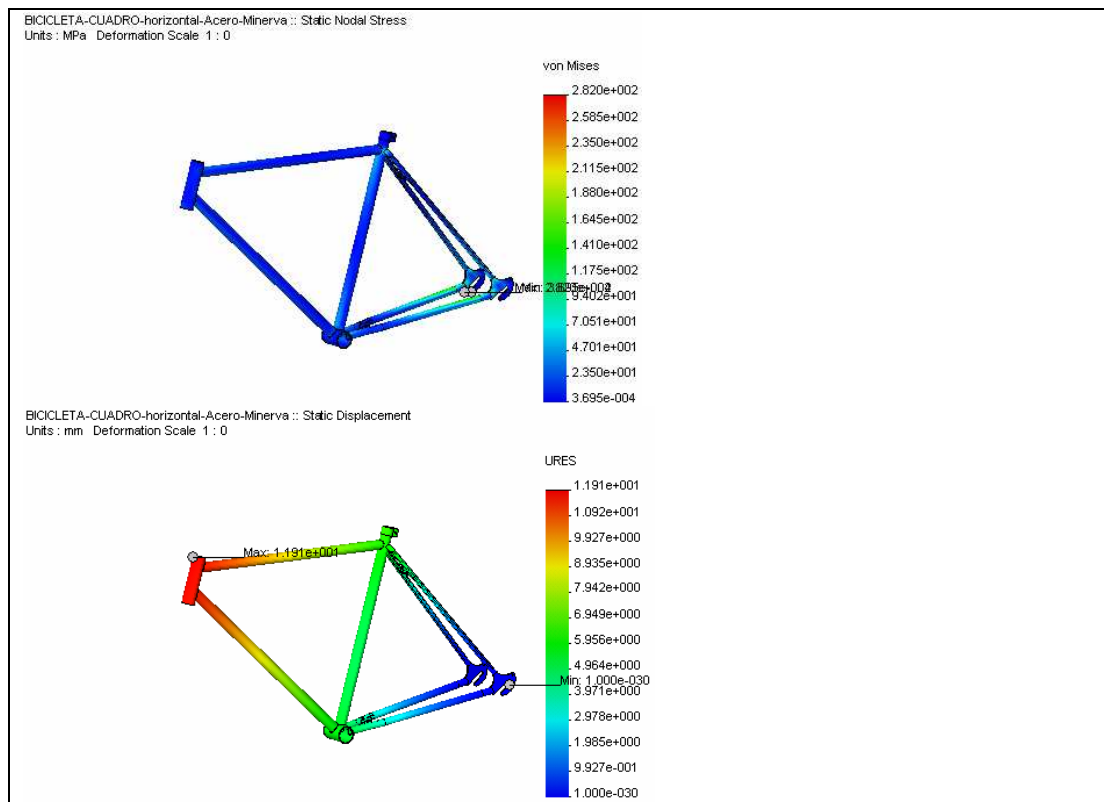


Figura 2. Tensiones Von Mises y desplazamientos resultantes para el Acero AISI 1020 en el Ensayo de Impacto Horizontal.

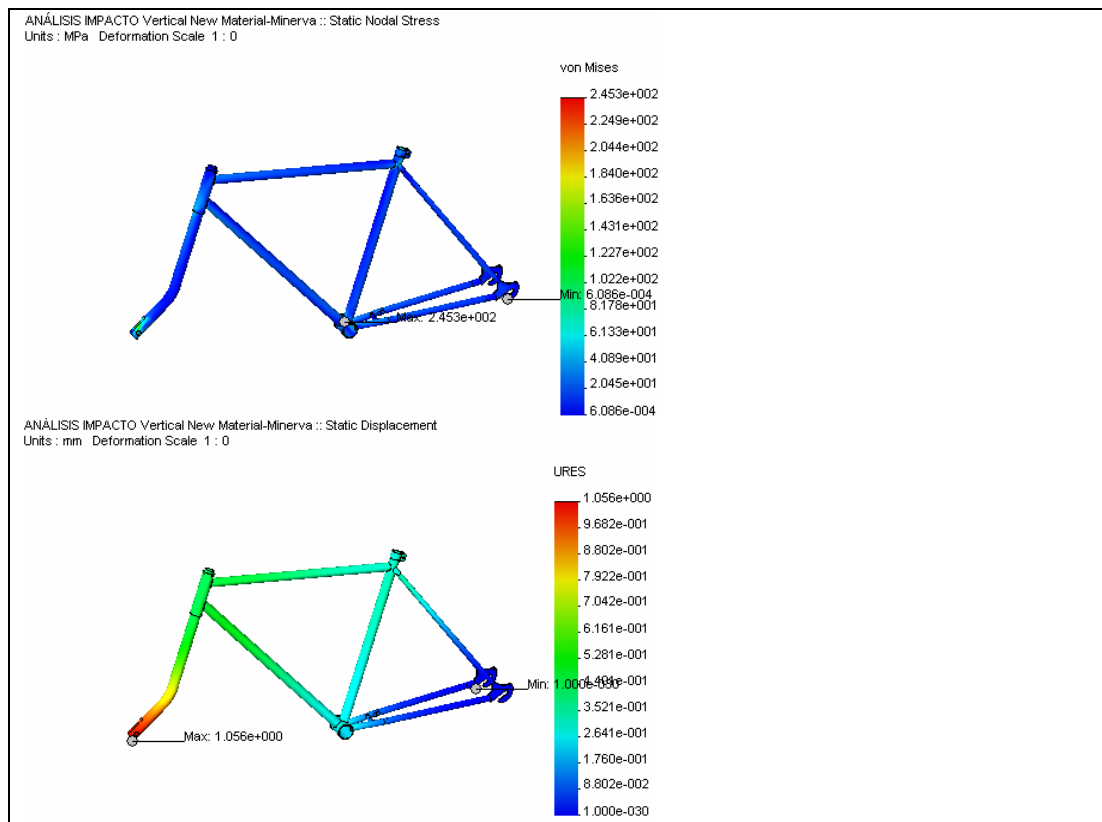


Figura 3. Tensiones Von Misses y desplazamientos resultantes para el material compuesto en el Ensayo de Impacto Vertical.

En estas imágenes se puede observar como los desplazamientos máximos ocurren en la zona cercana al tenedor o en él durante el ensayo de impacto vertical. También se observa en este mismo ensayo como las tensiones máximas ocurren en la zona inferior donde van los pedales, es decir donde se unen varios de los tubos que conforman el cuadro, aspecto este que coincide con los resultados de la mayoría de los autores.

Los resultados numéricos de las tensiones y los desplazamientos aparecen en la tabla que se muestra a continuación:

Material	Tensiones máximas (MPa)	Desplazamiento máximo (mm)
Ensayo de Impacto Horizontal		
Acero AISI 1020	282	11.91
Material Compuesto	288	12.24
Ensayo de Impacto Vertical		
Acero AISI 1020	243	1.02
Material Compuesto	245	1.05

Los valores de tensión alcanzados están dentro de los límites admisibles, obteniéndose como promedio un factor de seguridad de 1.4. Las diferencias de las tensiones y los desplazamientos de los dos ensayos para ambos materiales no superan el 3% por lo que se puede afirmar que estos dos parámetros tienen un comportamiento similar.

4. CONCLUSIONES

1. La modelación de bicicletas y el desarrollo de materiales compuestos para su construcción es un tema de actual interés por parte de los diseñadores y de las empresas productoras de las mismas, al obtener diseños variados, seguros y ligeros. En Cuba es prácticamente nulo el trabajo en esta dirección.
2. La modelación de los ensayos planteados por la norma cubana NC 18-81 no ofrecen buenos resultados sin embargo al utilizar las recomendaciones de otros autores se alcanzan resultados satisfactorios. Se recomienda la experimentación para la comprobación de lo planteado en esta norma.
3. Los resultados obtenidos durante el análisis por elementos finitos para el material compuesto son similares a los del acero AISI 1020 ya que tanto en el ensayo de impacto horizontal como vertical los desplazamientos y las tensiones equivalente se comportan de forma similar y además no sobrepasan el límite del material. Este resultado es de gran interés pues con el comportamiento mostrado de la resistencia y la rigidez y su peso que es mucho menor al del acero (4.8 veces), se pueden obtener diseños de gran calidad y ligeros, lo que puede ser aplicado tanto en bicicletas como en alguna otra rama de la industria mecánica.
4. Finalmente se concluye que desde el punto de vista de la resistencia y la rigidez es posible utilizar el material compuesto en sustitución del acero AISI 1020. Le corresponde ahora a los tecnólogos realizar su análisis para llevar a cabo la construcción del cuadro.

REFERENCIAS

- [1]. Hervé Chalaye, Los materiales compuestos: dinamismo e innovación, Oficina Nacional de Estudios e Investigaciones Aeroespaciales. N° 158 - febrero 2002. http://www.industrie.gouv.fr/ac_cueil.htm. N ° ISSN:1241-1515. Consultada el 15/08/2006.
- [2]. <http://www.hangar57.com/MateialesCompuestos.htm>. Consultada el 15/08/2006.
- [3]. <http://www.arrakis.es/~palarra/mcompuestos.htm>. Consultada el 15/08/2006.
- [4]. <http://www.aemac.org/html/info.htm>. Consultada el 15/08/2006.
- [5]. Solís M. E., Lisperguer J. H. “Resistencia al Impacto y a la Tracción de Materiales Compuestos Plástico-Madera”. Información Tecnológica. Vol.16. No.6 2005. págs.: 21-25. ISSN 0718-0764.
- [6]. ASTM D 638-03, American Society For Testing Materials, Standard test method for tensile properties of plastics, Philadelphia, PA.
- [7]. ASTM E132, American Society For Testing Materials, Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature, Philadelphia, PA.
- [8]. http://autodesk.com/adsk/autoindex/0,616042_002155,0_0.html. Consultada el 21/07/2006.
- [9]. <http://cprmerida.juntaextremadura.net/ApendiceE.pdf>. Tutorial #3. Cuerpo de Bicicleta en 3 Di mensiones. Maldonado Jaean, Raymundo. Consultada el 29/06/2006.
- [10]. <http://www.satd.uma.es/matap/svera/temas/calculo.pdf> “Simulación computacional del comporta miento estructural de una bicicleta. Cálculo de tensiones”. Presidencia INTI Proyecto Bicicleta. Consultada el 02/07/2006.
- [11]. http://www.eng.livjm.ac.uk/Teaching%20Development%20Website/stressConc/Coursework-File/FEMod_elling%20of%20a%20Bicycle%20Frame.pdf. Finite Element Modeling of a Bicycle Frame using ANSYS. Consultada el 02/07/2006.
- [12]. <http://design1.mae.ufl.edu/~nkim/eml5526/solution/project1.pdf>. Project #1 Bicycle Frame Design. Consultada el 03/07/2006.
- [13]. Sporting Composites. Rev. Reinforced Plastics. Mayo 05. Vol.49. No.5. págs.: 46-49. UK.
- [14]. <http://www.sheldonbrown.com/rinard/fea.htm>. Análisis estructural por elementos finitos. Leisha A. Peterson y Kelly J. Londry. Consultada el 02/07/2006.
- [15]. <http://www.cosmosm.com/>. Consultada el 20/07/2006.