

**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Departamento de Mecánica Aplicada y Dibujo**



Trabajo de Diploma

**Título: Modelación de un cuadro de bicicleta "Minerva"
para la utilización de un nuevo material
aplicando el MEF.**

Autor: Yolexis Lugo Pérez.

Tutor: Dr. Ing. Cesar A. Chagoyén Méndez.

Curso 2005-2006

Julio, 2006

Índice

<u>Contenido</u>	<u>página</u>
Resumen	I
Introducción	II
CAPITULO I: "Estado actual del diseño y modelación de bicicletas"	1
1.1 Evolución de la bicicleta	1
1.2 Partes componentes de la bicicleta	3
1.3 Diseño tradicional de la bicicleta	4
1.4 Diseño automatizado de bicicletas	4
1.5 Utilización de materiales compuestos en el diseño de bicicletas	7
1.6 Conclusiones parciales	8
CAPITULO II: Desarrollo de un nuevo material para el cuadro de bicicleta "Minerva"	9
2.1 Materiales Compuestos	9
2.2 Componentes del nuevo material para la bicicleta Minerva	10
2.3 Desarrollo del nuevo material	11
2.4 Propiedades del nuevo material y del acero	11
2.5 Conclusiones parciales	13
CAPITULO III: Modelación mediante MEF del modelo de bicicleta "Minerva"	14
3.1 Acerca del MEF	14
3.2 Dibujo 3D del modelo de bicicleta "Minerva"	15
3.2.1. Consideraciones para el dibujo del modelo de la bicicleta "Minerva"	15
3.3 Modelación mediante MEF del cuadro de bicicleta "Minerva" utilizando la Norma Cubana NC-18-81	16
3.3.1. Análisis se los resultados	22
3.4 Modelación mediante el MEF a partir de recomendaciones de otros autores	23
3.4.1. Análisis se los resultados	28
3.5 Conclusiones parciales	34
Conclusiones Generales	40
Recomendaciones	41
Referencias Bibliográficas	42
Bibliografía	43

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo "Modelar el cuadro de la bicicleta "Minerva" aplicando técnicas CAD para la utilización de un nuevo material". En el se abordan teóricamente el diseño de bicicletas y las técnicas de modelación actuales.

A partir del conocimiento existente sobre la modelación y los nuevos materiales se logró la modelación de un cuadro de bicicleta valorando sobre todo las ventajas de los nuevos materiales y de las técnicas CAD.

Summary

"Simulation of the "Minerva" bicycle frame applying CAD technical for the use of a new material" is the objective of the research presented. The bicycle frame design and the current modeling techniques are theoretically approached in this work.

From the existing knowledge on the simulation and the new materials the modeling of a bicycle frame was obtained mainly valuing the advantages of the new materials and CAD techniques.

Introducción

La bicicleta como medio de transporte es de gran importancia en gran parte del mundo, más ampliado su uso en países subdesarrollados, y generalmente se utiliza para transportarse a cortas distancias. Ésta en sus inicios varios años atrás, fue utilizada para todo tipo de tareas y hasta llegó a costar el salario de tres meses de trabajo. Luego con la aparición de los medios de transporte motorizados, lógicamente la bicicleta fue disminuyendo su uso y fue quedando atrás, en este entonces se redujo su uso simplemente a la diversión, a no ser en el caso de las clases más pobres que para estas su uso nunca ha cambiado. Ya en la actualidad además de ser un medio de transporte o diversión, forma parte de un deporte reconocido y gustado por la inmensa mayoría del mundo: el ciclismo, donde se han impuesto records de velocidad increíbles. De la bicicleta en sus inicios a la actual además de los cambios estructurales, se le han añadido cambios de velocidades, los materiales empleados hacen que su peso sea mínimo, 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 diseño de bicicletas mediante sistemas CAD, no es muy popular ya que este es un nuevo concepto que se viene desarrollando, pero poco a poco el propio desarrollo de los sistemas computacionales y tecnológicos, irá obligando a los diseñadores a utilizar este método que resulta ser más eficiente que los métodos tradicionalmente usados, ya que permite corregir fácilmente cualquier error que surja y hacer pruebas para distintos tipos de cargas y materiales mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF). En Cuba no hay tradición del diseño manual ni automatizado de bicicletas, principalmente debido a la poca tecnología existente. Este proyecto puede ser el inicio del trabajo en esta dirección.

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. Debido a que son más económicos y brindan propiedades similares o superiores a la 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 empleando estos materiales.

El presente proyecto trata acerca de la modelación del cuadro de bicicleta "Minerva", para la utilización de un material compuesto, aplicando técnicas CAD y la modelación mediante MEF, esperando que se le de utilidad y resulte aplicable en la fábrica de bicicletas "Ciclos Minerva"

Introducción

de Santa Clara. De aquí que el Objeto de esta investigación es la modelación de un cuadro de bicicleta.

Como Hipótesis puede asumirse la siguiente: “Con la aplicación consecuente de las técnicas CAD, es posible lograr diseños de cuadros de bicicleta de forma automatizada para materiales que resulten ligeros”.

Como Objetivo General de este trabajo se propone: “Modelar el cuadro de la bicicleta “Minerva” aplicando técnicas CAD para la utilización de un nuevo material”.

Métodos de investigación empleados:

El método científico fundamental empleado en este trabajo de diploma es el analítico. Mediante el análisis se modela el cuadro de bicicleta para dos tipos de materiales, llegando a establecer las condiciones de frontera y de carga actuante.

Se aplica además, como método específico, el análisis de las cargas que actúan sobre el cuadro de la bicicleta, bien a partir de la Norma 18-81 que permite simular los ensayos que tradicionalmente se le realizan a la bicicleta, como de recomendaciones dadas por otros autores.

Objetivos específicos:

Para alcanzar el objetivo general planteado, se acometieron las siguientes tareas:

1. Recopilar y organizar el conocimiento teórico y práctico existente sobre el diseño de cuadros de bicicleta, para la aplicación de técnicas computacionales.
2. Modelar el cuadro de bicicleta en 3D, utilizando el software Mechanical Desktop 2004.
3. Realizar el análisis por elementos finitos del modelo en 3D, mediante el software COSMOSDesignSTAR versión 4.0, utilizando el acero y el material compuesto y teniendo en cuenta las normas exigidas o las recomendaciones de otros autores.
4. Analizar los resultados obtenidos y comparar los resultados de ambos materiales en cuanto a esfuerzo, deformaciones y peso.

El Valor Práctico del trabajo se basa en la aplicación de sistemas computacionales para el diseño de cuadros de bicicleta en la industria mecánica. En Cuba se han hecho pocos trabajos en esta dirección por lo que este facilitará el camino a otras investigaciones en este campo.

Repercusiones:

Los impactos de este proyecto se pueden clasificar de la siguiente manera:

Introducción

Tecnológico: El resultado de este trabajo es un nuevo conocimiento técnico acerca de la aplicación de sistemas computacionales al diseño de bicicletas.

Social: Mejora las condiciones de trabajo de los diseñadores, incrementando el nivel de empleo de la computación y contribuye a trabajar en una vía, que no era utilizada, para aumentar la productividad y calidad del producto.

Comercial: Desarrollará nuevos diseños de bicicletas en más corto período de tiempo y con mayor calidad lo que implica un incremento de las posibilidades comerciales de la fábrica.

Económico: Dicho proyecto implica un incremento de la productividad y la realización de nuevos diseños de bicicletas. Mejora la calidad de los diseños ya que la utilización de los sistemas computacionales da la posibilidad de que los diseñadores den riendas sueltas a su imaginación y conocimientos para obtener los mismos.

El proyecto está conformado por tres capítulos. El primero se dedica al estado actual del diseño y modelación de bicicletas, donde se aprecia por donde anda el mundo actualmente en el diseño de bicicletas.

El segundo capítulo trata acerca del desarrollo de un nuevo material para la fabricación del cuadro de bicicleta "Minerva" y aborda los aspectos principales acerca de éste.

El tercer y último capítulo aborda concretamente lo referido a la modelación mediante MEF del cuadro de bicicleta "Minerva" así como el análisis de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I" Estado actual del diseño y modelación de bicicletas".

Este capítulo abordará las generalidades de la modelación y diseño de bicicletas en la actualidad, en el se expone una breve historia del la evolución de las bicicletas, las partes que la componen y los materiales que se usan para el diseño de estas.

1.1. Evolución de la bicicleta

La bicicleta, como la conocemos hoy en día ha sufrido muchas transformaciones a lo largo de los años de su existencia. Como punto de partida es obligatorio citar al francés Sivrac, cuando en 1790 inventó el "celerífero": una máquina para correr consistente en dos ruedas alineadas, conectadas por una barra sobre la cual se montaba el deportista a horcajadas, impulsándose con los pies. Hasta entonces los distintos artilugios que se habían ideado tenían cuatro ruedas. En 1817, el barón alemán Karl von Drais añadió "la dirección" a la rueda delantera, lo cual permitía mantener el equilibrio sobre esta máquina. El uso de este "caballito de madera" (hobby- horse) se convirtió en una fiebre entre las clases altas de Francia, Alemania, Inglaterra y América. Imágenes de estos artefactos se pueden apreciar en la figura 1.1.

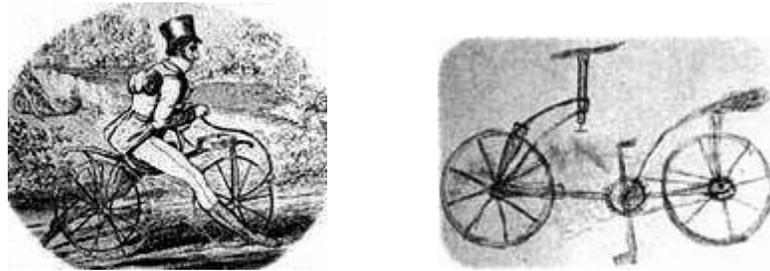


Figura 1.1 Modelo Hobby-horse y Da Vinci

Continuaron las innovaciones, un herrero escocés, en 1839, Kirkpatrick Macmillan, construyó la primera bicicleta de pedales. La usó para realizar un viaje de ida y vuelta hasta Glasgow de 226 km, recorriendo un tramo de 65 km a una velocidad media de 13 km/h. Pero fue Francia quien más impulsó la fabricación de bicicletas. Un constructor de carrozas, Pierre Michaux, acopló bielas y pedales a la rueda delantera de un "hobby-horse" y llamó a su máquina, velocípedo. En 1866-67 presentó un modelo con una rueda delantera de mayor diámetro que la trasera, entre otras innovaciones. En 1869 se produjeron varios inventos cruciales, como el

buje de rodamientos, las ruedas con rayos metálicos, los neumáticos de goma macizos, la rueda libre, el guardabarros y cambios de cuatro marchas.

Dado que los pedales y las bielas del velocípedo estaban acoplados a la rueda delantera, cuanto más grande fuera ésta, más rápido podía ir. A principios de los años 70 del antepasado siglo, el velocípedo se había convertido en un alto biciclo, con una rueda delantera casi tan alta como un hombre, el mayor inconveniente estaba en la falta de estabilidad cuando la rueda tropezaba con un pequeño obstáculo.

En 1885, John Kemp Starley crea “la bicicleta de seguridad”, donde la rueda delantera es más pequeña y gracias al uso de los rodamientos, es propulsada por una cadena. También se le acoplaron frenos, para una mayor seguridad. Añadiéndose poco después en 1888 los neumáticos desarrollados por John Boyd Dunlop, los cuales se rellenan de aire, amortiguando parte del golpeo contra los caminos.

La bicicleta de seguridad se extendió rápidamente por todo el mundo industrializado. En 1896, una bicicleta podía costar el salario de 3 meses de un trabajador medio, pero ya en 1909 se había reducido a menos de un mes de trabajo. Esta bicicleta tenía una gran semejanza con la bicicleta que se conocemos hoy en día.

Los avances en la tecnología de los tubos, el desarrollo de las piezas de aleación y el uso del cambio de marchas a base de desviadores (patentadas en 1895) dieron lugar a bicicletas ligeras y de alta calidad. Y de ahí se ha llegado a la bicicleta de la actualidad (figura 1.2), que no sólo son bicicletas con pedales y transmisión por cadena sino que ya hoy en día existen bicicletas eléctricas.



Figura 1.2 Modelo de bicicleta actual.

En 1966, unos monjes italianos que restauraban manuscritos de Leonardo da Vinci, descubrieron un boceto de 1490 donde se representaba una máquina notablemente similar a la moderna bicicleta, equipada incluso con pedales y transmisión por cadena. Sin embargo, como sucediera con el aparato volador y otros aparatos visionarios de da Vinci nunca llegó a salir del tablero del dibujo.

1.2. Partes componentes de la bicicleta

La bicicleta esta compuesta por:

Cuadro: es el chasis sobre el que está montada la bicicleta, determina el resto de esta: peso, altura y resistencia. Estos pueden ser de:

- Hierro: prácticamente fuera de mercado, los cuadros de hierro resultan sumamente pesados. Sólo se utilizan en bicicletas muy económicas.
- Acero hitten: en bicicletas económicas.
- Cromo molibdeno (Cro-Mo). Combina resistencia con un bajo peso. Algunas bicicletas sólo lo traen en la horquilla y en el tubo vertical (el del asiento), por lo que resulta importante comprobar mediante la etiqueta o en el catálogo que el cuadro sea 100% o Full Cro-Mo.
- Aluminio: aunque es el más caro por su bajo peso, la ligereza de este material es tal que los más novatos pueden requerir otro más pesado y manejable.
- Materiales compuestos.

Grupo: es el conjunto de piezas que permite frenar, cambiar de velocidad o rodar. Compuesto por: descarrilador trasero para los piñones, descarrilador delantero para los platos, palancas accionadoras del cambio, juego de piñones, juego de palancas y platos, conjunto de frenos, mazas, y rodamientos. Estos se pueden calificar en 4 líneas, cuantas más velocidades, mayores prestaciones:

- Línea económica (18 velocidades)
- Línea intermedia (21 velocidades)
- Línea alta (24 velocidades)
- Línea de competición (27 velocidades)

Conviene cerciorarse de que todas las partes del grupo sean del mismo modelo y fabricante, ya que hay bicicletas con grupos "mezclados" en las que las partes más visible corresponde a un modelo superior mientras que el resto de piezas son de la línea económica, lo cual no es recomendable.

Otras piezas:

- **Asiento:** los modelos anchos y con interior de "gel" resultan más cómodos que los asientos finos que son más duros e ideales para competición.
- **Timón:** su posición puede cambiarse para ir más erguido. Una buena opción es el tipo palomita. Los puños de esponja son cómodos y son empleados actualmente.
- **Frenos:** preferiblemente que sean de aluminio.
- **Cierres rápidos:** en ambas ruedas y en el tubo del asiento.

- **El tubo del asiento:** debe ser suficientemente extenso como para poder subir el asiento hasta la altura necesaria para el ciclista.
- **Gomas:** las más lisas y finas son para usarlas sobre asfalto. Para el barro y agarre en las subidas es importante que tenga un buen dibujo.
- **Llantas:** deben ser de aluminio.
- **Porta-equipajes**

1.3. Diseño tradicional de la bicicleta

En la fabrica de bicicletas "Ciclos Minerva" de Santa Clara se diseñan los cuadros de forma manual con una metodología de calculo obsoleta, engorrosa y extensa donde se realizan muchos cálculos. En realidad lo que más se hace es modificar modelos ya diseñados ajustándolos a la tecnología con que ellos cuentan; que es muy poca; y por tanto ninguno de los diseños que allí se realizan se comprueban y muy pocos se calculan, todo esto debido a la falta de tecnología para realizar un nuevo diseño.

1.4. Diseño automatizado de bicicletas

El diseño automatizado y el análisis mediante el Método de los Elementos Finitos conforman en la actualidad una nueva e importante herramienta que debido a la rapidez y a la facilidad de modificar el diseño y estructura de estas disminuyen la presencia de errores en el diseño final. La modelación de bicicletas 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 económicos. Al realizar una búsqueda en Internet se encuentran varios sitios que abarcan este tema, y se refieren a la utilización de diferentes software como el ALGOR, COSMOS, ANSYS y otros, aunque es preciso señalar que ésta no es una práctica generalizada hoy en día. A continuación se citarán algunos de ellos que se refieren a la aplicación de estas técnicas en el diseño:

En la revista "Reinforced Plastic" de mayo del 2005 [1] se publicó el artículo "Sporting Composites" que trata acerca de los materiales compuestos en equipos deportivos y dentro de ellos el diseño de bicicletas. Para el diseño se ha desarrollado una fibra de carbón reforzada para el cuadro de las bicicletas de carrera. El cuadro resultante que incluye el tenedor delantero, sólo pesa 1.26kg. El Instituto que desarrolla dicho material, cita dos áreas para el diseño donde se contribuye a la alta relación rigidez-peso del cuadro, donde se le da forma al tubo de abajo del asiento. Existe la tendencia a usar la sección cruzada, circular o en forma de ovalo. Con la fibra de carbón el perfil del tubo de abajo del asiento

comienza circular y progresivamente va teniendo cambios en su sección-transversal hasta terminar en forma de cuadrado. Este diseño según el fabricante, aprovecha el aumento de la sección transversal y la rigidez aumenta un 20% comparado con los tubos cilíndricos normales. Este cambio de sección en la parte inferior del tubo, se debe a que esa zona se encuentra muy cargada ya que ahí es donde se encuentran los pedales. Otro aspecto único del cuadro de material compuesto es la forma de trompeta del tubo para el tenedor delantero. Esta forma fue seleccionada, porque absorbe las cargas de forma más eficiente que un tubo cilíndrico de diámetro constante. Como resultado de estos cambios de forma y material la rigidez aumenta y se reduce el peso; solución eficiente aunque conlleva a contar con una alta tecnología para el desarrollo de este tipo de cuadro, ya que además de ser un cuadro de material compuesto tiene en sus tubos variaciones transitorias de sección.

En el artículo "Finite Element Analysis of the Classic Bicycle Wheel" [2] publicado por Andrew D. Hartz Ingeniero Mecánico del Instituto Tecnológico de Indianapolis, Indiana, en Julio del 2002, se aborda este tema de modelación y análisis mediante MEF pero en este caso el análisis se aplica sólo a la rueda de la bicicleta. En este documento se aplica el mismo concepto de modelación mediante MEF, se toman en cuenta diferentes consideraciones de apoyo, de carga y se llega a resultados de tensión y desplazamiento máximos. El software utilizado en este caso es el ANSYS, muy trabajoso y posee un límite de número de nodos y elementos que se pueden generar, aunque los resultados que brinda son aceptables.

"Cuerpo de Bicicleta en 3-Dimensiones" [3] es el nombre que lleva un tutorial de diseño, publicado por Raymundo Maldonado Jaezan. Este trata acerca de la modelación del cuadro de una bicicleta en 3D y el chequeo de resistencia utilizando como herramienta para el diseño el software ALGOR. Toma en cuenta las propiedades del material, las dimensiones del cuadro, condiciones de apoyo, cargas y explica como se realiza todo el procedimiento para la corrida del problema propuesto, hasta llegar a la etapa de post procesamiento donde se observaran los resultados obtenidos. Aquí se puede observar que en este ejemplo las máximas tensiones se encuentran en la zona donde se encuentran los pedales.

El 26 de Noviembre del 2003 se publica otro artículo denominado "Simulación computacional del comportamiento estructural de una bicicleta. Cálculo de tensiones". [4] que tiene como objetivo fundamental la simulación computacional del comportamiento estructural de una bicicleta y el cálculo de tensiones. En dicho documento, con el modelo computacional basado en elementos tipo viga tridimensional, fue posible realizar un detallado análisis del cuadro, bajo distintos estados de carga característicos, asegurando con este método un grado aceptable de

exactitud en los resultados. Para esta tarea se empleó el programa de elementos finitos COSMOS/M. Se simularon 5 estados de carga, que representan las condiciones de: arranque, impacto horizontal, impacto vertical, freno con rueda delantera y régimen de pedaleo. Aquí se reflejan los resultados gráficos de las tensiones utilizando la teoría de Von Mises, donde se aprecia también que los valores máximos de tensión se encuentran en la zona de los pedales, aunque en ninguno de los 5 estados analizados sobrepasa los límites de resistencia a la fatiga del material.

“Finite Element Modelling of a Bicycle Frame using ANSYS” [5] es otro ejemplo de aplicación de modelación de bicicletas en 3D. El análisis se desarrolla utilizando el software ANSYS 7.1 para simular la deformación de un cuadro de bicicleta y el efecto de las características de los materiales en la resistencia del cuadro de bicicleta. Para ello se utiliza la teoría de Von Mises y en este caso particular las máximas tensiones se encuentran en la zona donde va acoplado el tenedor.

Un artículo publicado por Leisha A. Peterson y Kelly J. Londry [6] “Análisis estructural por elementos finitos” trata acerca de la utilización del Método de los Elementos Finitos para probar la inclusión de un nuevo material en el cuadro de la bicicleta. Lo realizan utilizando el ANSYS para la realización de ensayos de impacto, y de otras cargas aplicadas sobre el cuadro, sin tener que llegar al ensayo-error en la práctica. Se explica el procesamiento del cuadro, las condiciones de frontera que adoptan, propiedades del material así como otros aspectos de interés. Las tensiones máximas se encuentran en la zona donde se encuentran los pedales.

Otro artículo analizado lleva como título “Bicycle Frame Design” [7], donde diseñan un cuadro de bicicleta utilizando tubos de aluminio. Consideran la bicicleta bajo cargas dinámicas y se tienen en cuenta sólo dos criterios estáticos del diseño: prueba de flexión vertical e impacto horizontal. Se exponen las propiedades del material así como las condiciones de apoyo. El ensayo se realiza utilizando el software I-DEAS Graphics, que se apoya en la Teoría de Von Mises, en este caso las máximas tensiones se encuentran en la zona donde va acoplado el tenedor.

Se puede afirmar que no es abundante la bibliografía sobre el diseño de bicicletas, pues solo se encontraron siete artículos. En la mayoría de ellos el análisis que se realiza es estático. En casi todos las tensiones máximas aparecen en la zona de los pedales y para su determinación se emplean diversos software. En algunos casos se incluyen materiales compuestos.

1.5. Utilización de materiales compuestos en el diseño de bicicletas

La utilización de materiales compuestos en el diseño de bicicletas se ha incrementado notablemente en los últimos años. Esta tendencia obedece a la posibilidad de utilizar el material con ciertas propiedades especiales y con ello conseguir cualidades mecánicas y tribológicas superiores a los materiales tradicionales.

Los materiales compuestos presentan una favorable relación de resistencia-peso y rigidez-peso, son económicos, resistentes a la corrosión, térmicamente estables y resultan especialmente adecuados para estructuras en las que el peso constituye una variable fundamental en el proceso de diseño. Los componentes estructurales poseen: gran rigidez, resistencia a los impactos, formas complejas y un considerable volumen de producción, resultando ideales para ser fabricados a partir de materiales compuestos. Por ello, su utilización industrial se ha extendido en los últimos años.

Se realizó una búsqueda de información acerca de la aplicación de nuevos materiales en los cuadros de las bicicletas. Entre los materiales consultados, se encuentran las patentes. A continuación se mencionan las que más relación tienen con este trabajo:

1. El 7 de agosto del 2001 Read Robert F, Nelson Ronald H, Wilcox Weston M y Milovich Dimitrije descubren como hacer un cuadro de bicicleta de material compuesto y los métodos para su fabricación, lo cual patentan con No US6270104, [8]. La invención consiste en la realización del marco de la bicicleta de un material compuesto, lo cual realizaron colocando capas de resina fibrosa impregnadas y formando varias capas de fibras adyacentes que se entrecruzan y se dejan curar. Los tubos se construyen envolviendo estas fibras ya compuestas alrededor de un mandril y aplicándole una carga constante durante la cura.
2. Pirot Roger; Legerot Gerard y Guichard Alexandre hacen un Cuadro de bicicleta de un polímero termoplástico el 4 de agosto del 2000, patente No FR2789045, [9]. La invención involucra un marco de la bicicleta y consiste en perfiles longitudinales unidos con diferentes tipos de montaje. Se explica que los perfiles se pueden hacer de polímero termoplástico y son amoldados con un tejido trenzado de cuerdas de estambres del termoplástico continuo, discontinuo en espiral.

3. Fujii Toru y Abe Minoru descubren como hacer un cuadro de bicicleta con una capa adicional de material compuesto, el 21 de julio de 1999. Patente número: JP11192990, [10]. Para proporcionar una disposición de fuerza suficiente y de peso ligero se coloca una capa adicional de material reforzando que se cruza con la superficie, terminando en la barriga del marco de la bicicleta.

4. Carlos Jorge y Prior Aleixo patentan una nueva estructura del chasis de la bicicleta, de material compuesto, el 30 de septiembre de 1997, Número de patente: PT101832. Presentaron un nuevo marco de bicicleta que tiene una nueva estructura y forma especial que constituye una invención cuando se comparó con los metales tradicionales, es decir acero. Este nuevo cuadro presenta las ventajas de que la rigidez se mantiene constante mientras que la estructura puede ser variada. La estructura del marco presentada también puede hacerse de diferentes tipos de materiales que son completamente diferente a los tipos convencionales, es decir, se puede variar la forma del tubo. Los materiales usados son: fibra de vidrio, plástico inyectado y aluminio inyectado.

Estas invenciones patentadas revolucionan la utilización de los materiales compuestos en la fabricación de bicicletas, que en un principio sólo eran fabricadas del tradicional acero. Con el acero las bicicletas quedaban con una gran resistencia, pero eran muy pesadas; de ahí la utilización de los materiales compuestos que además de ofrecer una buena resistencia, son ligeros y económicos.

1.6. Conclusiones parciales

- La modelación de bicicletas 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 económicos.
- El desarrollo de nuevos materiales para la construcción de bicicletas tiene gran importancia ya que además de ser más económicos, brindan cualidades muy positivas a ésta como son relaciones óptimas de rigidez-peso y resistencia-peso. En estos momentos este tema va adquiriendo un gran auge en la industria de bicicletas y en el ámbito mundial.

CAPÍTULO II “Características del nuevo material para el cuadro de bicicleta Minerva”

Este capítulo trata lo referente al material compuesto que se utilizará para el cuadro de bicicleta “Minerva”, algunas de sus principales características y los elementos que lo componen.

2.1. Materiales Compuestos

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. Los constituyentes pueden ser metálicos, orgánicos o cerámicos. El material compuesto está constituido básicamente por matrices y rellenos. La matriz es en esencia el elemento aglomerante y sus propiedades determinan cuestiones como las condiciones de fabricación e importantes características de operación como es la resistencia a la fatiga, a los efectos del medio, a la temperatura de trabajo y la densidad, entre otras propiedades.

Gracias a sus especiales características, se sitúan por encima de los materiales ligeros empleados hasta ahora, pues se logra:

- La optimización del diseño.
- La reducción de peso, por su elevada relación: características mecánicas/peso y su anisotropía.
- El aumento de la durabilidad y disminución del mantenimiento.
- La adecuación del material a un menor ciclo de vida del producto.
- La posibilidad de trabajo a altas temperaturas.
- La mejora de las propiedades tribológicas.
- La disminución de la contaminación acústica.
- La facilidad del reciclado.

Todos estos factores han contribuido a la generalización del empleo de estos materiales, relegados en un principio a su empleo en sectores que requerían de sus características. Ya en la actualidad se decide ampliar este tipo de material en casi todas las industrias y de esta forma ha llegado a la industria de bicicletas.

2.2. Componentes del nuevo material para la bicicleta "Minerva"

El nuevo material desarrollado por la fábrica "Ciclos Minerva" de Santa Clara para el cuadro de bicicleta, consta de dos elementos fundamentales: fibra de vidrio y resina de poliéster, además de tener también incluidos el yute y la zeolita en polvo. A continuación se abordará acerca de los dos primeros por ser los más importantes.

Fibras de vidrio: Es un material fibroso (Ver figura 2.1) obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos (espinnerette). Al solidificarse tiene suficiente flexibilidad para ser usado como fibra. Sus principales propiedades son: buen aislamiento térmico, inerte ante los ácidos y soporta las altas temperaturas. Estas propiedades y el bajo precio de sus materias primas, le han dado popularidad en muchas aplicaciones industriales. La fibra de vidrio tiene el símbolo GFK, su densidad es de 1.6 y su resistencia a la tracción varía de 400 a 500 N/mm². La fibra de vidrio es el refuerzo más utilizado en la fabricación de materiales compuestos. Las razones de su amplio uso se encuentran en la conjunción de diversas características de estas fibras tales como: buena manipulación, fácil procesamiento y una alta resistencia.



Figura 2.1 Formas en que se utiliza la Fibra de Vidrio.

Resina de Poliéster: es la más utilizada entre las resinas y se puede encontrar en sitios especializados. Su estado es líquido ligeramente espeso y necesita de acelerantes para su secado (cobalto, peróxido de meck).

Normalmente la resina ya viene activada con el cobalto por lo que lo único que se debe adquirir junto a la resina será el catalizador o secante de la misma. El catalizador realiza la reacción química para que comience el fraguado y secado de la resina.

2.3 Desarrollo del nuevo material

El material que se emplea en la modelación que se lleva a cabo en este trabajo es un material que está compuesto de matriz polimérica, a base de resina de poliéster a la que se le añade como refuerzo fibra de vidrio y de yute, así como la zeolita natural, con diferentes condiciones de ensayo.

En una primera etapa se realiza la preparación del material según las exigencias establecidas en un molde de compresión cerrado. Las láminas de material compuesto obtenidas presentan un espesor de $5 \pm 0,1$ mm, y de dimensiones de 250 X 250 mm.

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 elaboran según las normas ASTM D-638 Tipo II y ASTM 256, las correspondientes probetas para determinación de las propiedades físico mecánicas de los mismos.

2.4. Propiedades del nuevo material y del acero

La obtención de las propiedades mecánicas de los materiales juega un papel importante al evaluar la resistencia a las cargas externas a que están sometidos los elementos. Su determinación guarda especial significación para el diseño de los sistemas mecánicos, por cuanto, la determinación de las formas y las dimensiones, así como la propia selección del material, están íntimamente relacionadas con las propiedades físico-mecánicas de los materiales. Por otra parte, desde el punto de vista tribológico, la fricción y el desgaste son fenómenos complejos, que pueden predecirse en gran medida, teniendo en cuenta su relación analítica con las propiedades mecánicas.

De aquí la importancia que tiene definir la influencia de cada uno de los elementos componentes en las propiedades físico-mecánicas de los materiales. Para la selección del nuevo material a utilizar se realizaron varios ensayos con dos tipos de matrices: Zeolita y Yute. En la Tabla 2.1 se muestran las propiedades obtenidas. Estos ensayos se realizaron en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

Tabla 2.1. Resumen de las propiedades de los materiales ensayados

Formulaciones	Resistencia al Impacto (Kgf cm/cm)		Peso Específico (gr/cm ³)		Coeficiente de Poisson		Módulo de Elasticidad (MPa)	
	Zeolita	Yute	Zeolita	Yute	Zeolita	Yute	Zeolita	Yute
1	22.716	22.43	1.3413	1.203	0.2373	0.0853	932.85	706.86
2	104.98	105.0	1.4514	1.48	0.22223	0.111	2352.5	2374.5
3	99.206	234.1	1.6022	1.627	0.0659	0.1910	1605.4	1882.3
4	85.536	170.3	1.3833	1.54	0.1317	0.1050	1935.3	2138.0
5	34.04	127.7	1.1278	1.433	0.1524	0.1242	1294.9	1180.6
6	78.813	64.36	1.2823	1.327	0.2324	0.1431	1570.4	1498.0
7	63.563	120.2	1.5349	1.433	0.1680	0.1149	1562.0	1680.4
8	33.906	71.92	1.3473	1.31	0.2189	0.292	1328.4	1160.7
9	77.16	178.4	1.4603	1.516	0.1163	0.1327	1648.8	1748.8
10	87.26	112.1	1.4549	1.45	0.2059	0.0912	1925.2	1929.2

Tabla 2.1. Continuación

Formulación	Absorción de agua (%)		Dureza Shore D		Resistencia a la Flexión (MPa)		Tensión de Rotura a la Tracción (MPa)	
	Zeolita	Yute	Zeolita	Yute	Zeolita	Yute	Zeolita	Yute
1	1.0129	12.87	88.67	2,87	2,88	74.33	44.62	34.846
2	0.4601	0.4649	84.00	11,03	11,03	84	131.8	131.82
3	0.5117	0.466	86.00	8,71	9,60	85.33	202.5	270.53
4	0.476	0.351	79.67	9,54	10,84	85	173.5	200.01
5	0.9267	5.11	83.33	4,00	2,88	80	77.12	143.73
6	0.3115	5.500	90.67	6,62	6,47	82.66	82.87	82.37
7	0.4335	3.718	83.00	7,11	6,83	81	128.2	144.25
8	0.5774	7.147	86.67	4,78	3,77	78	58.73	88.256
9	0.3496	1.89	84.67	7,52	6,93	83	170.0	205.21
10	0.5595	2.143	81.33	9,10	9,24	83.33	137.0	138.09

A partir del procesamiento estadístico de los resultados de los ensayos se puede decir que el nuevo material posee poco peso y buena rigidez; las características que se lograron determinar son:

Módulo de Elasticidad, $E=1.8824 \times 10^3$ MPa
 Coeficiente de Poisson, $\mu= 0.2$
 Densidad, $\rho=1630$ Kg/m³
 Resistencia a la Tracción, $\sigma_{m\acute{a}x}=270$ MPa

El acero empleado tradicionalmente en el cuadro de bicicletas es el AISI 1020, al menos en la fábrica "Ciclos Minerva" de Villa Clara. Algunas de sus propiedades se relacionan a continuación:

Módulo de Elasticidad, $E= 2 \times 10^5$ MPa
Coeficiente de Poisson, $\mu= 0.29$
Densidad, $\rho= 7900$ Kg/m³
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) del cuadro para ambos materiales, con las respectivas densidades, obtenemos:

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

Como se puede observar la diferencia entre ambos pesos es notable (más del 20%), aspecto que es muy conveniente en el caso de las bicicletas.

2.4. Conclusiones parciales

- A partir de la realización de ensayos y del procesamiento estadístico de los mismos, se obtuvieron las principales características del nuevo material.
- Las características del nuevo material difieren de las del acero. La diferencia en cuanto a la densidad permite, fundamentalmente, aliviar el peso del cuadro de la bicicleta.
- Las propiedades del nuevo material determinadas permitirán realizar la modelación del cuadro con una mayor precisión.

CAPÍTULO III “Modelación mediante MEF del modelo de bicicleta Minerva”.

En los capítulos anteriores se abordaron los aspectos generales de la investigación, en este se verá la modelación 3D del cuadro de bicicleta, la realización de los ensayos y el análisis de los resultados.

3.1. Acerca del MEF

En la actualidad el MEF se considera como un procedimiento general de discretización de problemas continuos que estén expresados por modelos matemáticos bien definidos, es decir, un método de solución de sistemas de ecuaciones diferenciales que describan procesos en medios continuos. La base del MEF y sus principios son conocidos desde el siglo 19 y se reemplaza a utilizar a partir de los finales de la década de los 90 con el desarrollo de las computadoras, los microprocesadores y las técnicas CAD/CAM. Los primeros que utilizaron esta técnica fueron, la industria aeronáutica y la construcción, esto ocurrió en los años 50 y 60, ahora en la actualidad es ampliamente usado, teniendo un particular impacto en la industria automovilística a los efectos de aliviar peso, lo que trae el aumento de la eficiencia y la disminución del consumo.

El principio del método consiste en la reducción del problema con infinitos grados de libertad, en un problema finito en el que intervenga un número finito de variables asociadas a ciertos puntos característicos que son los nodos. Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas del problema cuando pasan a ser los valores de dichas funciones en un número infinito de puntos. Por tanto en el MEF se supone que el comportamiento mecánico de cada parte o elemento en los que se subdivide, queda definido por un número finito de parámetros asociados a los puntos que en su momento se unen al resto de los elementos de su entorno. En el método de los elementos finitos son esencial los conceptos de "discretización" o acción de transformar la realidad de la naturaleza continua en un modelo discreto aproximado así como el concepto de "interpolación", o acción de aproximar los valores de una función a partir de su conocimiento en un número discreto de puntos.

- Como se había mencionado, actualmente el método de los elementos finitos ha sido generalizado hasta constituir un potente método de cálculo numérico, capaz de resolver cualquier problema de la física formulable como un sistema de ecuaciones, abarcando los problemas de la mecánica de fluidos, de la transferencia de

calor, del magnetismo, entre otros. A pesar de su carácter aproximado, el MEF se ha convertido en una herramienta muy útil que permite realizar una gran cantidad de análisis en componentes y estructuras complejos, difícilmente realizables por los métodos analíticos clásicos.

3.2. Dibujo 3D del modelo de bicicleta “Minerva”

El modelado 3D es una descripción espacial y situación de objetos tridimensionales y entornos con ayuda de un computador. Aunque hoy en día han surgido nuevos hardware que facilitan aun más el modelado 3D, esta definición gira entorno a todo aquello que es manipulado por el hombre. Un modelo es una representación de algunas características, no necesariamente de todas, de una entidad concreta o abstracta. El propósito del modelo de una entidad es permitir que las personas visualicen y comprendan la estructura o el comportamiento de la entidad y proporcionar un medio convincente para realizar los experimentos y producir los efectos de entrada o cambios en el modelo.

3.2.1. Consideraciones para el dibujo del modelo de la bicicleta “Minerva”

Para la realización del diseño en 3D se utilizó en el sistema CAD Mechanical Desktop 2004. El dibujo se confeccionó de la forma más aproximada a la realidad, de hecho, todas las medidas son las reales de la bicicleta. Fue necesario eliminar los radios de curvatura pequeños, ya que no influyen mucho sobre la resistencia final de la bicicleta pero si influyen en los resultados y análisis que se realiza mediante MEF al constituir concentradores de tensiones. En la figura 3.1 se muestra una imagen del modelo 3D de la bicicleta “Minerva”.



Figura 3.1 Modelo de bicicleta "Minerva" en 3D.

En el caso del tenedor no fue necesario hacer modificaciones debido a que es un modelo especial para poder realizar los ensayos del cuadro, siendo un modelo de tenedor sencillo, como se aprecia en la figura 3.2.

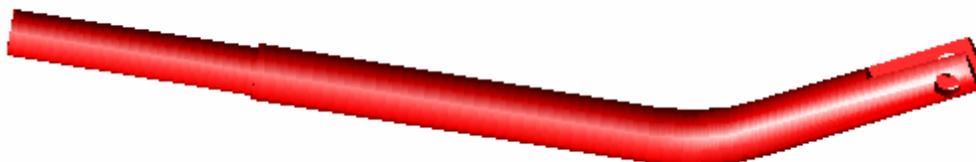


Figura 3.2 Modelo de Tenedor utilizado para el ensayo del cuadro de la bicicleta.

3.3. Modelación mediante MEF del cuadro de bicicleta "Minerva" utilizando la Norma Cubana NC-18-81

El modelado mediante MEF se realizó a partir del dibujo en Mechanical Desktop 2004, de este se exportó para el COSMOS DesignSTAR v4.0, y se analizó la posibilidad de modelación según la norma NC 18-81 "Requisitos de Seguridad para Bicicletas" (Ver Anexo), la cual establece los requisitos de seguridad y los métodos de ensayo para las bicicletas. En la sección

4.6 de esta norma se establecen los ensayos del conjunto cuadro tenedor, ellos son:

1- **Ensayo de deformación:** se le realiza al conjunto cuadro-tenedor, el cual se coloca en posición vertical y se fija en el eje trasero como ilustra la figura 3.3. Posteriormente se deja caer verticalmente desde una altura de 180mm una masa de 22.5 Kg, de forma tal que golpee el sólido que se ha adicionado al tenedor. Es necesario aclarar que ésta norma no fija una deformación admisible para el cuadro, lo cual constituye una deficiencia de la misma.

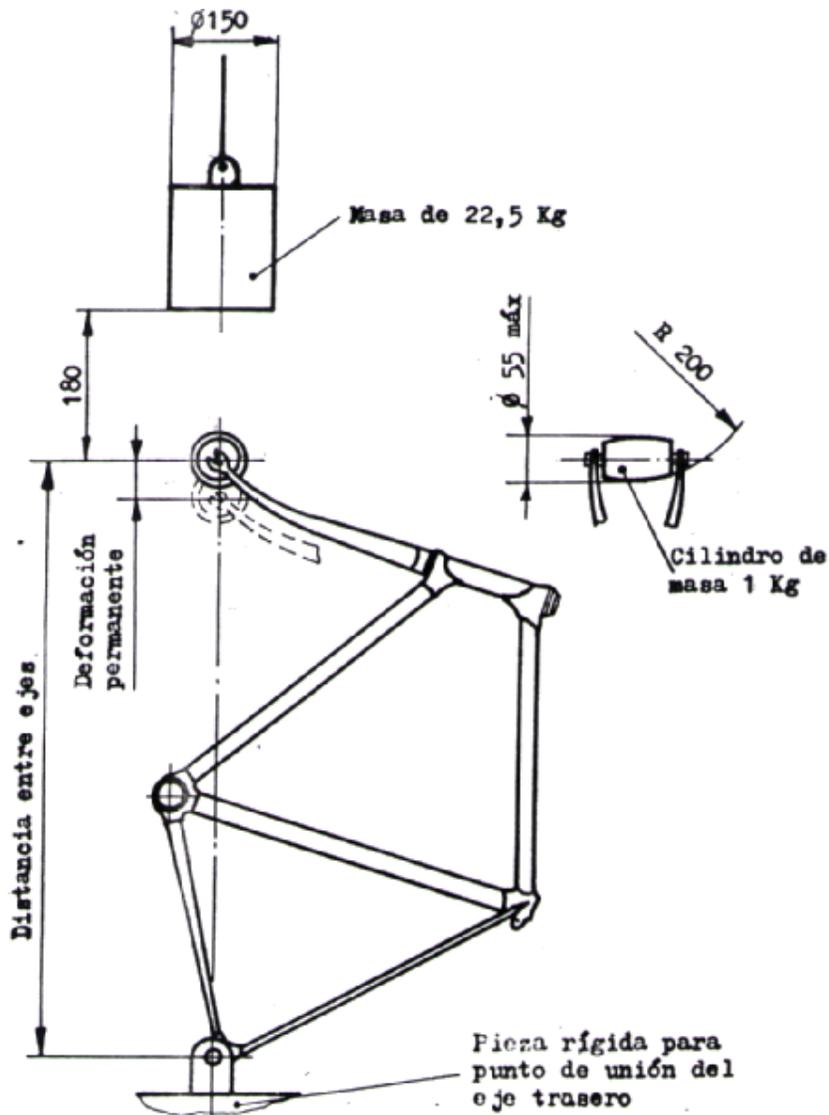


Figura 3.3 Ensayo de deformación del conjunto cuadro-tenedor según la norma NC-18-81.

2- **Ensayo de Impacto por Caída:** el conjunto cuadro-tenedor se fija en el eje trasero permitiendo rotar el conjunto alrededor de dicho eje en un plano vertical. A la barra del sillín se fija una masa de 70 Kg. con su centro de gravedad en el eje de este y a 75 mm de la parte superior del

sillín. El conjunto rotará sobre el eje trasero hasta que el centro de gravedad de la masa de 70 Kg. se encuentre verticalmente sobre dicho eje y entonces se dejará caer libremente para que impacte sobre una superficie de acero, ver figura 3.4. El ensayo se repetirá hasta obtener 2 impactos.

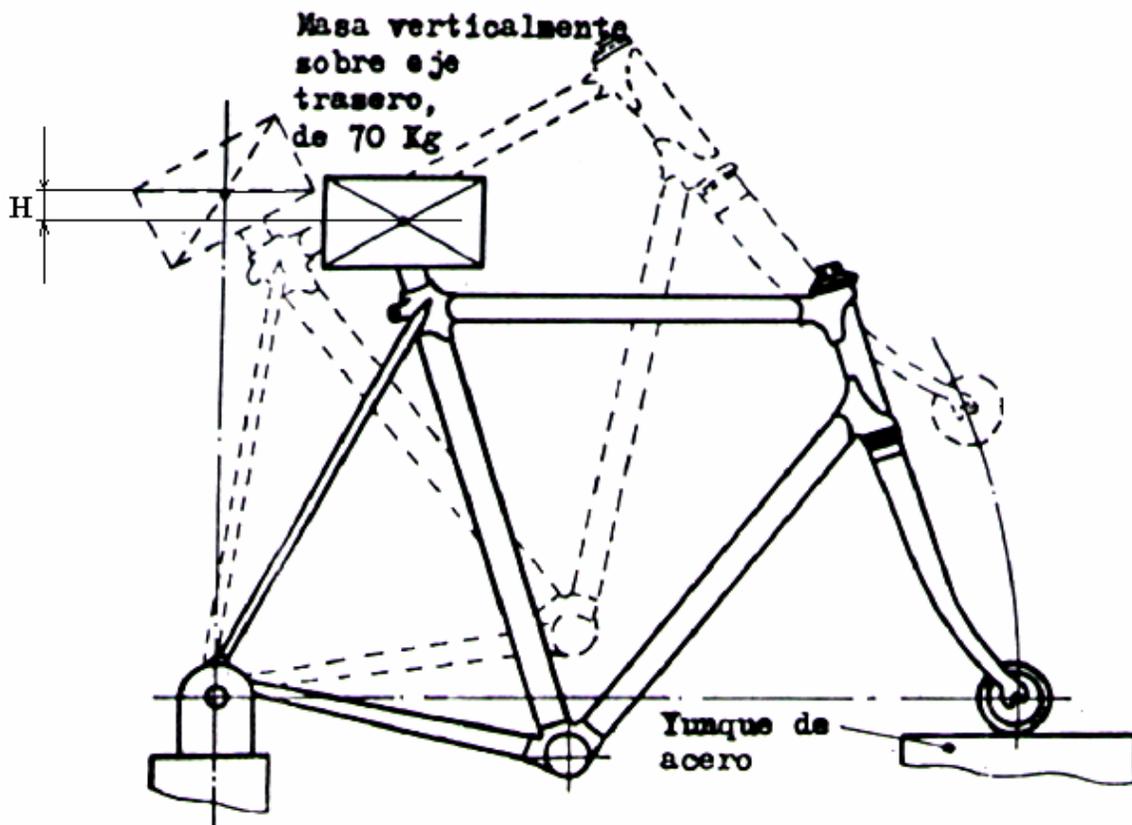


Figura 3.4 Ensayo de impacto por caída del conjunto cuadro-tenedor según la norma NC-18-81.

Al realizar la modelación mediante MEF del cuadro, se trató de vincular ésta modelación con la norma mencionada anteriormente, que es por la que se deben regir en la empresa "Ciclos Minerva" aunque no lo hacen.

Como se pudo observar en la descripción de la norma NC 18-81 los ensayos son dinámicos y se tomó la decisión de modelar el cuadro de forma estática pero sometiendo el mismo al efecto que de una carga que fue determinada en base a la altura desde que caen las masas de 22.5 kg y 70 kg respectivamente para cada ensayo, es decir, hacer una modelación estática aplicando los valores de las cargas dinámicas.

Determinación de la carga dinámica para el ensayo de deformación:

$$Pd = Pe \cdot Kd$$

siendo:

Pd: Fuerza dinámica.

Pe: Fuerza estática.

Kd: Coeficiente dinámico.

$$Kd = 1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{\delta_{est}}}$$

siendo:

H: Altura desde que se deja caer la masa de 22.5Kg. y 70 Kg. respectivamente.

δ_{est} : Desplazamiento estático del punto de aplicación de la fuerza estática.

Para la determinación del desplazamiento estático se realiza la modelación del cuadro de la bicicleta aplicando la carga estática Pe de 22.5 Kg. al tenedor de la bicicleta con las condiciones de frontera planteadas por la norma para este ensayo.

Como resultado de este análisis el desplazamiento estático del punto de aplicación de la carga es de 4.4262 mm en el nodo 33590.

Entonces el coeficiente dinámico quedará:

$$Kd = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 180}{4.4262}}$$

$$Kd = 10$$

mientras que la carga dinámica:

$$Pd = 22.5 \cdot 10$$

$$Pd = 225Kg$$

Esta sería la carga a aplicar para modelar nuevamente el cuadro considerando el impacto de la masa de 22.5 Kg. al caer desde una altura de 180 mm.

Determinación de la carga dinámica para el ensayo de impacto por caída:

La altura desde la cual cae el cuadro de la bicicleta no aparece explícita en la norma, por lo que es necesario determinarla con la utilización del modelo en el Mechanical Desktop 2004. Inicialmente se dibujo la masa de 70 Kg. y se coloca en el punto indicado por la norma. Posteriormente se giro el dibujo con respecto al eje trasero, como lo exige la norma, ver figura3.4, y se midió la distancia desde el punto inicial de aplicación de la

carga (centro de gravedad de la masa colocada de 70 Kg), hasta el centro de gravedad de la masa colocada cuando se gira el conjunto cuadro-tenedor. Esta sería la altura que se necesita para determinar el coeficiente dinámico, la cual es de 57 mm.

Para determinar el desplazamiento estático se realizará la modelación del cuadro de la bicicleta aplicando la carga estática de 70 Kg. en el sillín, con las condiciones de frontera planteadas por la norma para este ensayo.

Como resultado de este análisis el desplazamiento estático del punto de aplicación de la carga es 0.061196 mm en el nodo 57339.

Entonces el coeficiente dinámico quedaría:

$$Kd = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 57}{0.061196}}$$

$$Kd = 43.17$$

mientras que la carga dinámica:

$$Pd = 70 \cdot 43.17$$

$$Pd = 3022 Kg$$

Esta sería la carga para modelar nuevamente el cuadro considerando el impacto de la masa de 70 Kg. al caer desde una altura de 57mm.

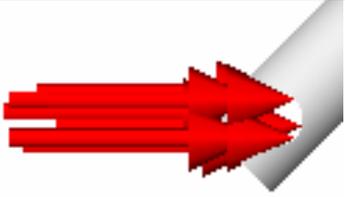
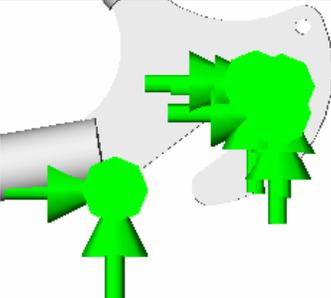
En la figura 3.5 y 3.6 se muestran las condiciones de apoyo y de carga empleadas para la modelación mediante MEF y en la tabla 3.1 y 3.2 se muestran detalles ampliados de los mismos. En la figura 3.7 se aprecia un detalle de la malla creada para el análisis de elementos finitos, la cual tiene 196052 Nodos, 104111 Elementos y 587274 Grados de Libertad.

Modelo para el Ensayo de Deformación:



Figura 3.5 Modelo de la bicicleta para el ensayo de Deformación.

Tabla 3.1 Detalle de las cargas y los apoyos para el ensayo de Deformación.

Carga en el tenedor.	Condiciones de apoyo en la horquilla trasera del cuadro.
	

Modelo para el Ensayo de Impacto:

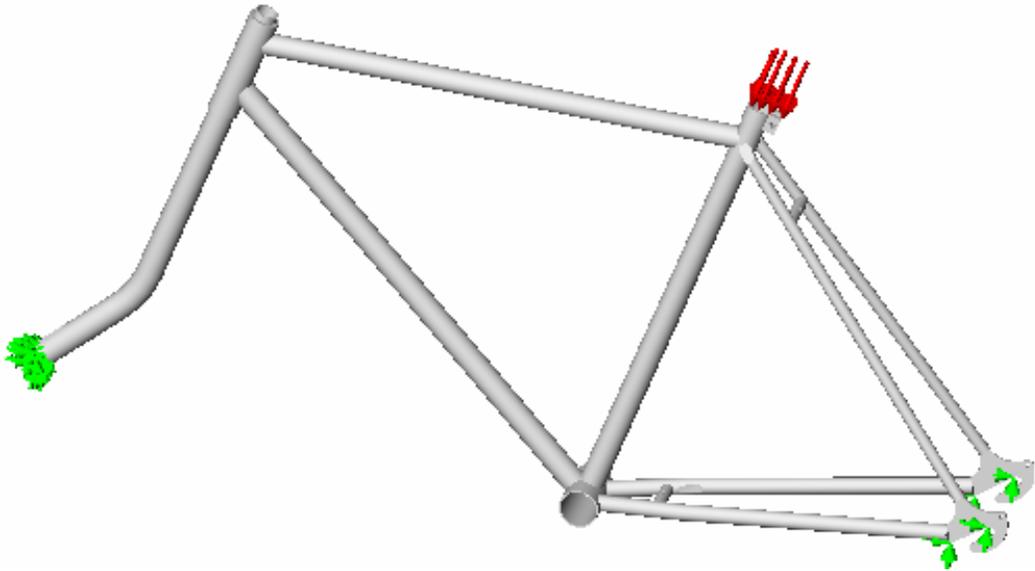
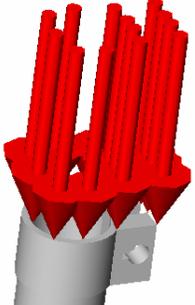
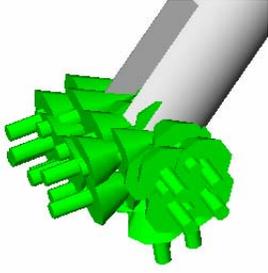
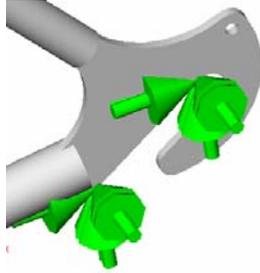


Figura 3.6 Modelo de la bicicleta para el ensayo de Impacto.

Tabla 3.2 Detalle de las cargas y los apoyos para el ensayo de Impacto.

Carga en el tubo del sillín	Condiciones de apoyo en el tenedor	Condiciones de apoyo en la horquilla trasera del cuadro.
		

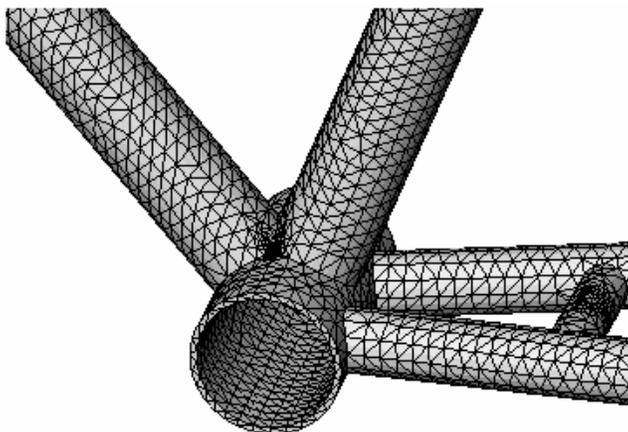


Figura 3.7 Detalle de la malla de la bicicleta.

3.3.1. Análisis se los resultados

El análisis de los resultados se ofrece a continuación de forma independiente para cada uno de los ensayos.

Resultados de la modelación del ensayo de deformación:

Los resultados que se ofrecerán a continuación toman en cuenta el coeficiente dinámico (Kd). Como se podrá apreciar en las figuras de la 3.8 a la 3.11, los resultados de las tensiones presentan valores elevados, esto es debido a que las condiciones de carga resultaron severas al ser afectada la masa que se deja caer por el coeficiente Kd , la cual era inicialmente de 22.5 Kg. y posteriormente de 225 Kg. Esto puede ser producido debido a que el desplazamiento estático, que es obtenido del modelo, es muy pequeño lo que hace que aumente el Kd y provoca un aumento considerable en la fuerza dinámica aplicada. Como es conocido el modelo que es calculado mediante MEF no tiene en cuenta un conjunto de

aspectos tecnológicos que pudieran hacer que el desplazamiento fuera algo mayor y que disminuyera el *Kd*. Por otro lado, los resultados de los ensayos prácticos realizados con estas normas de ensayo, no están al alcance de este autor, que pueden ser muy buenos pero al menos en Cuba ninguna fábrica de ciclos los ha realizado, a pesar de contar con los equipos de ensayo.

En la tabla que se ofrece a continuación se ofrecen los valores obtenidos en los ensayos mediante el MEF, para el acero y para el material compuesto.

Tabla 3.3 Valores máximos de tensiones y desplazamiento obtenidos en el ensayo de deformación mediante el MEF.

Materiales utilizados	Tensiones máximas (MPa)	Desplazamiento máximo (mm)
Acero 1020	3374	51.4
Material compuesto	3431	52.8

A continuación, en las figuras de la 3.8 a la 3.11, aparecen imágenes de las tensiones equivalentes y los desplazamientos resultantes obtenidos mediante MEF, durante el ensayo de deformación para el acero y para el nuevo material.

Defromación acero-Minerva :: Static Nodal Stress
 Units : MPa Deformation Scale 1 : 0

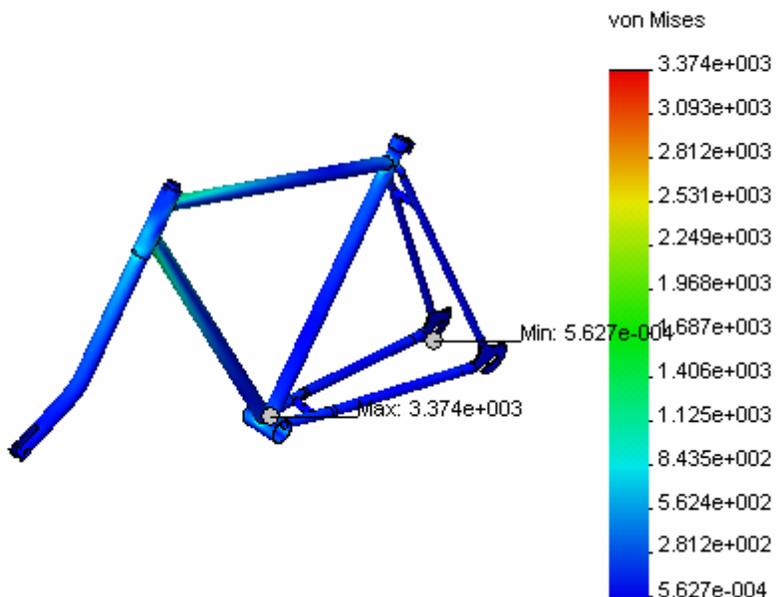


Figura 3.8 Tensiones de Von Mises para el Acero 1020 en el ensayo de deformación.

Defromación acero-Minerva :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 0

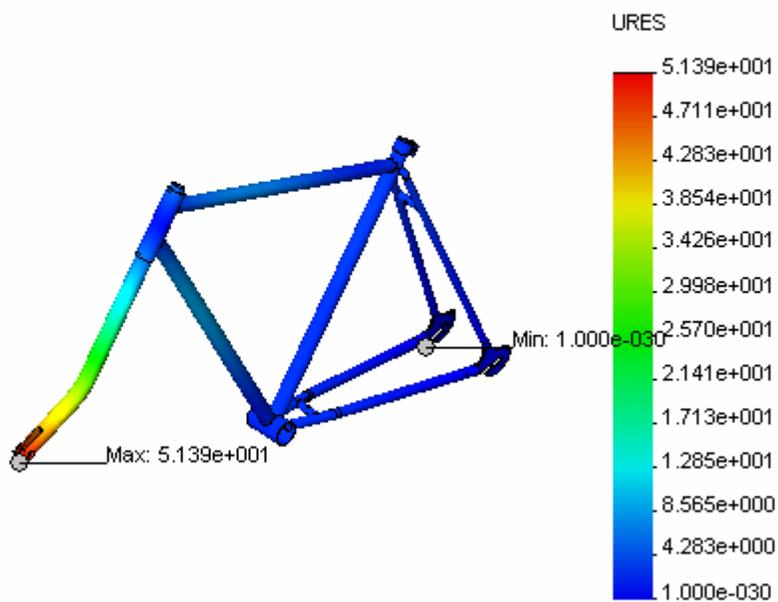


Figura 3.9 Desplazamiento resultante para el Acero 1020 en el ensayo de deformación.

Defromación New Material-Minerva :: Static Nodal Stress
 Units : MPa Deformation Scale 1 : 0

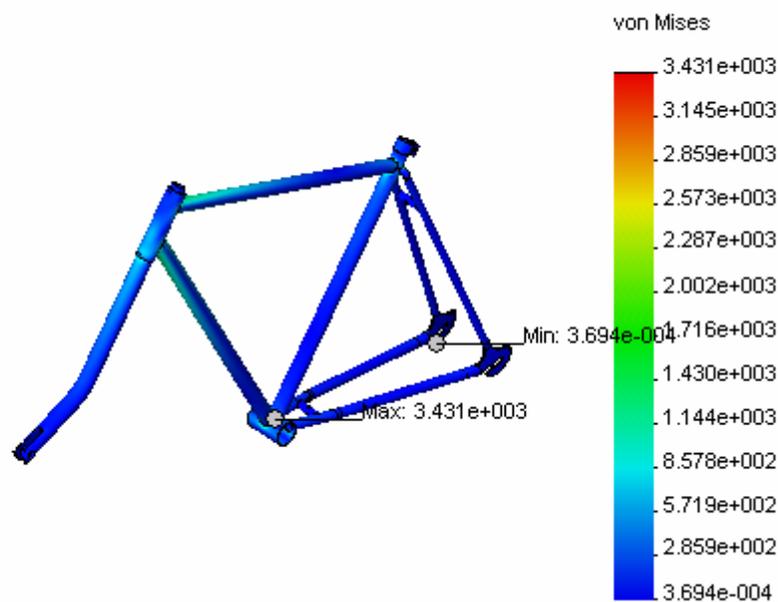


Figura 3.10 Tensiones de Von Mises para el material compuesto en el ensayo de deformación.

Defromación New Material-Minerva :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 0

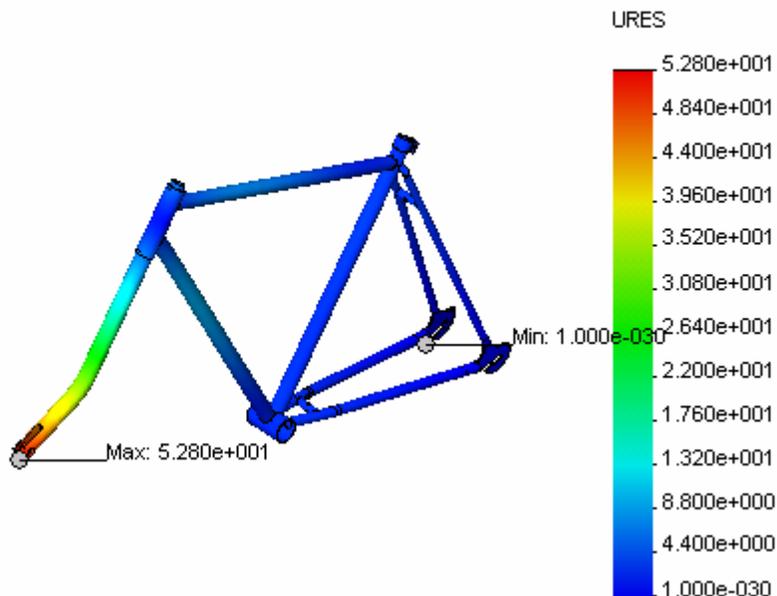


Figura 3.11 Desplazamiento resultante para el material compuesto en el ensayo de deformación.

Resultados de la modelación del ensayo de impacto por caída:

Similar al ensayo anterior los resultados toman en cuenta el *Kd*. En este caso también los resultados presentan valores elevados como se puede observar en las figuras 3.12 a la 3.15, debido a la misma causa explicada anteriormente. En este caso la masa que se dejará caer para provocar el impacto que era inicialmente de 70 Kg., con la afectación por el *Kd* se convierte en una masa de 3022 Kg.

En la tabla 3.4 que a continuación se ofrece, aparecen los valores obtenidos en los ensayos mediante MEF tanto para el acero como para el material compuesto.

Tabla 3.4 Valores máximos de tensiones y desplazamiento obtenidos en el ensayo por impacto mediante el MEF.

Materiales utilizados	Tensiones máximas (MPa)	Desplazamiento máximo (mm)
Acero 1020	2795	11.65
Material compuesto	2787	12.00

A continuación, en las figuras de la 3.12 a la 3.15, aparecen imágenes de las tensiones equivalentes y los desplazamientos resultantes obtenidos mediante MEF, durante el ensayo de impacto por caída para el acero y para el nuevo material.

ANÁLISIS IMPACTO Acero 1020-Minerva :: Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 0

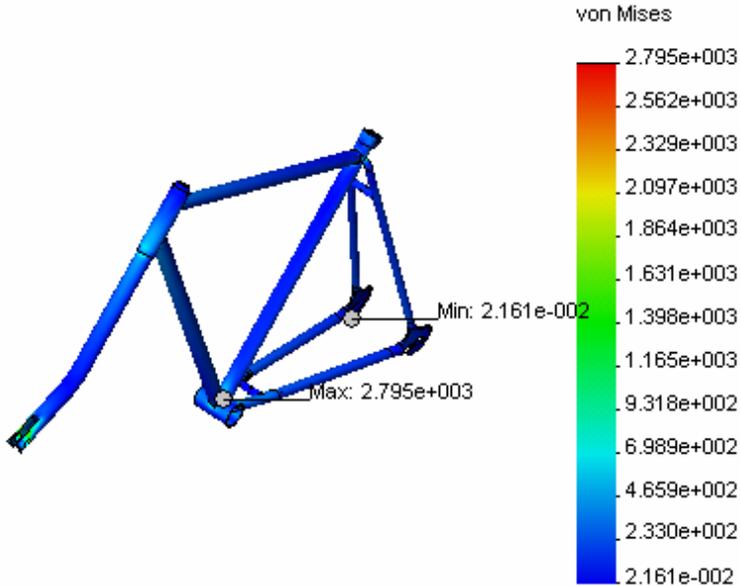


Figura 3.12 Tensiones de Von Mises para el Acero 1020 en el ensayo de impacto.

ANÁLISIS IMPACTO Acero 1020-Minerva :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 0

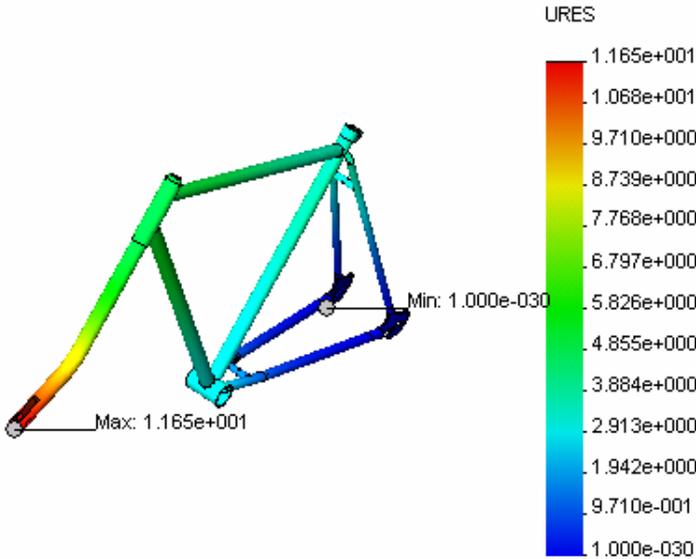


Figura 3.13 Desplazamiento resultante para el Acero 1020 en el ensayo de impacto.

ANÁLISIS IMPACTO New Material-Minerva :: Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 0

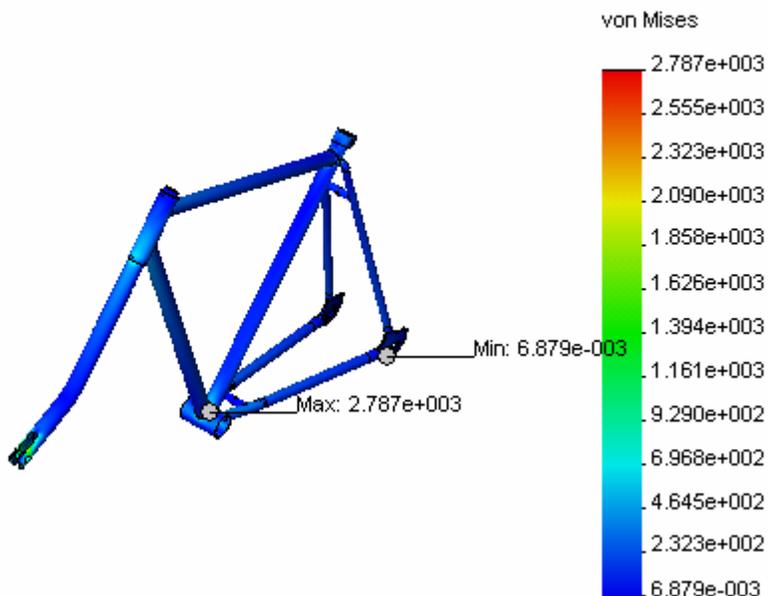


Figura 3.14 Tensiones de Von Mises para el material compuesto en el ensayo de impacto.

ANÁLISIS IMPACTO New Material-Minerva :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 0

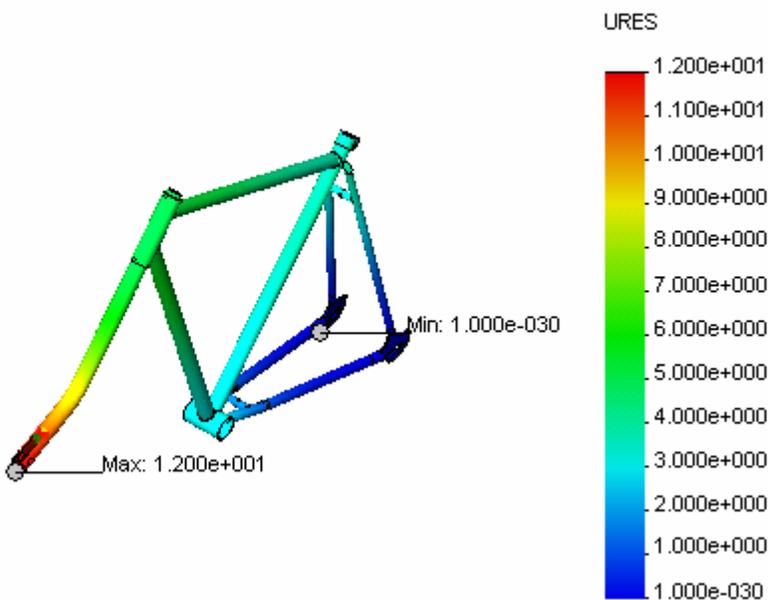


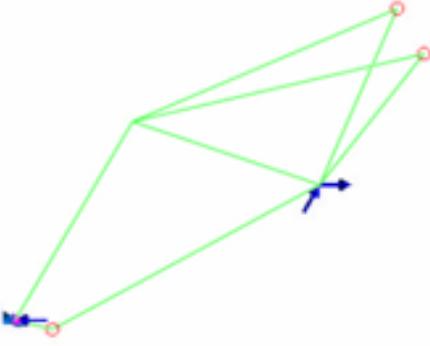
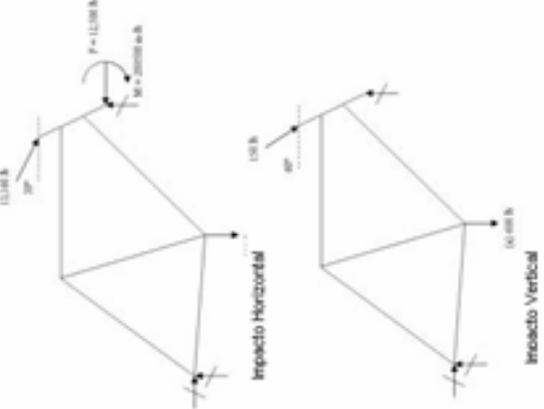
Figura 3.15 Desplazamiento resultante para el material compuesto en el ensayo de impacto.

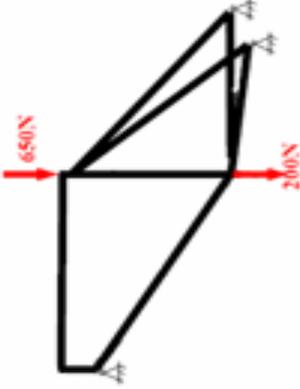
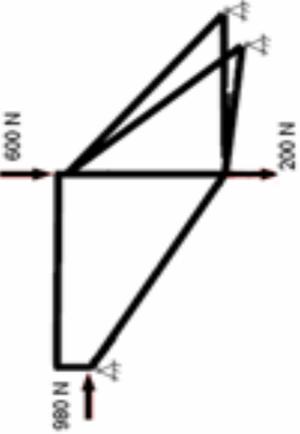
3.4. Modelación mediante el MEF a partir de recomendaciones de otros autores

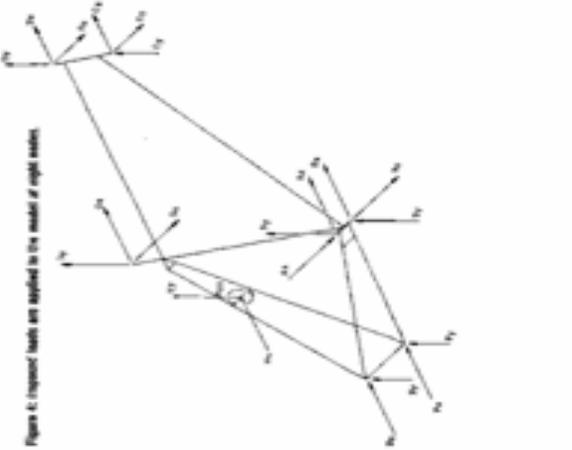
En los epígrafes anteriores se pudo observar que, en los ensayos realizados mediante la modelación a partir de la Norma Cubana NC-18-81, no se alcanzaron resultados adecuados de las tensiones y además que no es posible, por la escasez de resultados prácticos, una comparación entre ambos procedimientos. Por tal motivo se decide utilizar las recomendaciones dadas en las referencias revisadas acerca de este tema.

Es preciso señalar que en la búsqueda de información realizada es pobre la bibliografía sobre el tema del modelado de bicicletas mediante el método de elementos finitos. Un motivo puede estar dado porque las empresas avanzadas en estos tipos de cálculos reservan el "now how" por causas comerciales. En Cuba prácticamente no han existido avances en este campo.

A continuación se ofrece una revisión de los artículos encontrados, donde se detallan las cargas que utilizan y las condiciones de apoyo. Sobre la base de estos se realizará posteriormente la modelación del cuadro Minerva.

Título, Autor	Esquema, Puntos de aplicación de cargas y apoyos utilizados	Tipo de análisis	Valores de las cargas, condiciones de apoyos y valores de las tensiones	Normas empleadas
<p>“Cuerpo de bicicleta en 3 dimensiones”.</p> <p>Raymundo Maldonado Jaezan.</p>		<p>-Estático</p>	<p>-Las cargas que utilizan son de 890 N en la parte delantera donde va el tenedor y un momento que ejerce el manubrio de 2400 Nmm, en la parte donde están los pedales aplican una carga horizontal de 3559 N y una vertical de 1779 N hacia abajo.</p> <p>-El cuadro se fija en la parte trasera y en la parte delantera solo se le permite movimiento hacia arriba y hacia abajo.</p> <p>-Los valores máximos de tensiones son de 373,38 MPa</p>	<p>No se especifica</p>
<p>“Simulación computacional del comportamiento estructural de una bicicleta. Cálculo de tensiones”.</p> <p>Presidencia INTI- Proyecto Bicicleta</p>		<p>Estático</p>	<p>-Para el ensayo horizontal se le aplica una carga de 890 N hacia abajo en la zona donde van los pedales, una fuerza de 58 N con un ángulo de 30° en la zona donde va el timón y una fuerza de 56 N en el tenedor con un momento de 113 Nmm.</p> <p>-Para el ensayo Vertical se aplica una carga de 2669 N en la zona donde van lo pedales hacia abajo y una carga de 67N con un ángulo de 60° en la zona donde va el timón.</p> <p>- Para ambos ensayos se fija la bicicleta en su parte trasera y se le permite movimiento hacia arriba y hacia abajo en la parte delantera.</p> <p>-Las tensiones máximas alcanzadas fueron de 17.22MPa en el impacto horizontal y de 56.77MPa en el impacto horizontal.</p>	<p>No se especifica</p>

<p>"Finite Element Modeling of a Bicycle Frame using ANSYS" Reporte sin autor</p>		<p>-Estático</p>	<p>-Las cargas aplicadas son de 650 N en la zona donde va el sillín y de 200N en la zona donde van los pedales. -Para el análisis se fija el cuadro en la parte trasera y se permite movimiento en su parte delantera hacia arriba y hacia abajo. -Las tensiones máximas alcanzadas fueron de 24,321 MPa.</p>	<p>No se especifica</p>
<p>"Project #1 Bicycle Frame Design" Reporte sin autor</p>		<p>-Estático</p>	<p>-Para el análisis Vertical se aplica una fuerza de 600N en la zona donde va el sillín y una fuerza de 200N en la zona de los pedales. -Para el impacto horizontal se aplica una fuerza de 980N en la zona del tenedor, horizontalmente. Para el análisis se fija el cuadro en su parte trasera y se permite movimiento en su parte delantera hacia arriba y hacia abajo. -Las tensiones máximas alcanzadas fueron de 46,3 MPa en el ensayo vertical y de 35,1 MPa en el ensayo horizontal.</p>	<p>No se especifica</p>

<p>“Finite-Element Structural Analysis: A New Tool for Bicycle Frame Design. The Strain Energy Design Method”, Leisha A. Peterson and Kelly J. Londry</p>		<p>-Estático</p>	<p>-En el impacto horizontal se aplican 600 N en la parte delantera de la bicicleta, donde va el tenedor, horizontalmente. -En el impacto vertical primero se aplican 980N en la zona donde se encuentran los pedales, y luego en un segundo ensayo la fuerza que se aplica es el peso del ciclista multiplicado por un factor de seguridad que es 2 y se ubica en la zona donde va sentado el ciclista. - Para estos ensayos fijan la bicicleta en su parte trasera.</p>	<p>No se especifica</p>
---	---	------------------	---	-------------------------

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el ensayo de impacto se divide en dos: impacto vertical e impacto horizontal, en estos artículos los valores máximos de las cargas para el ensayo de impacto horizontal es de 980N y en el ensayo de impacto vertical las cargas máximas son de 2669N. En la búsqueda de normas para ensayo de bicicletas se encontró la ISO 4210, que realiza la prueba Impacto de masa, la prueba de Impacto del conjunto y la prueba de fatiga del conjunto. Pero esta no está disponible para el libre acceso. Todos los ensayos que se realizan en estos artículos son ensayos estáticos.

Por todo lo anterior se adoptará para la modelación del ensayo de impacto vertical una carga de 2669N que es el valor más alto utilizado en las referencias y en el impacto horizontal el valor de carga será de 700N como promedio de las cargas utilizadas por diferentes autores.

Las condiciones de apoyo para ambos ensayos y los puntos de aplicación de las cargas se muestran a continuación, de hecho coinciden con los planteados por la NC 18-81. la diferencia esta en los valores de las cargas y en la consideración del tenedor.

Modelo para el Ensayo de impacto Horizontal:

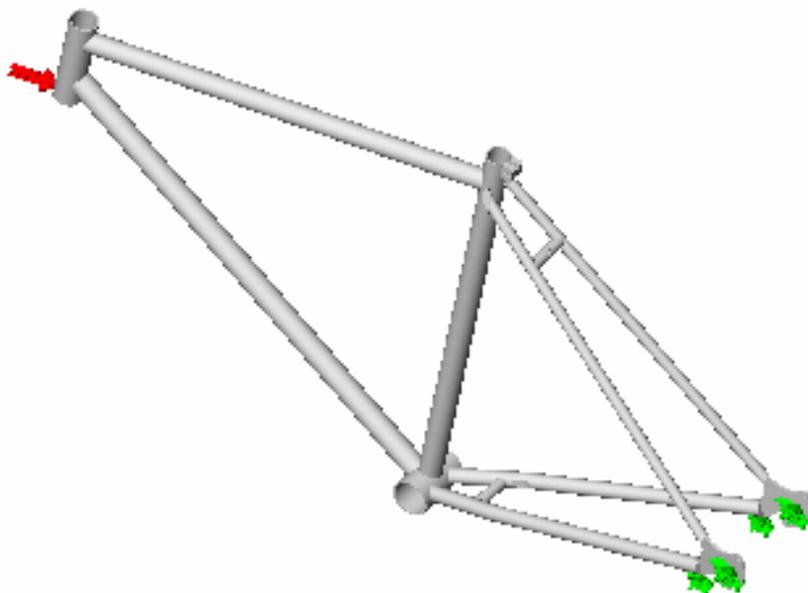
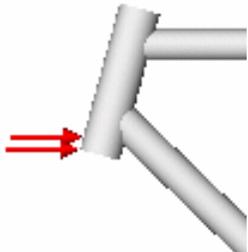
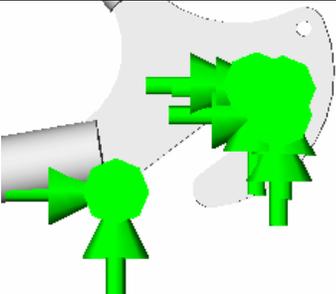


Figura 3.16 Modelo de la bicicleta para el ensayo de Impacto Horizontal.

Tabla 3.6 Detalle de las cargas y los apoyos para el ensayo Impacto Horizontal.

Carga horizontal en el cuadro.	Condiciones de apoyo en la horquilla trasera del cuadro.
	

Modelo para el Ensayo de impacto Vertical:

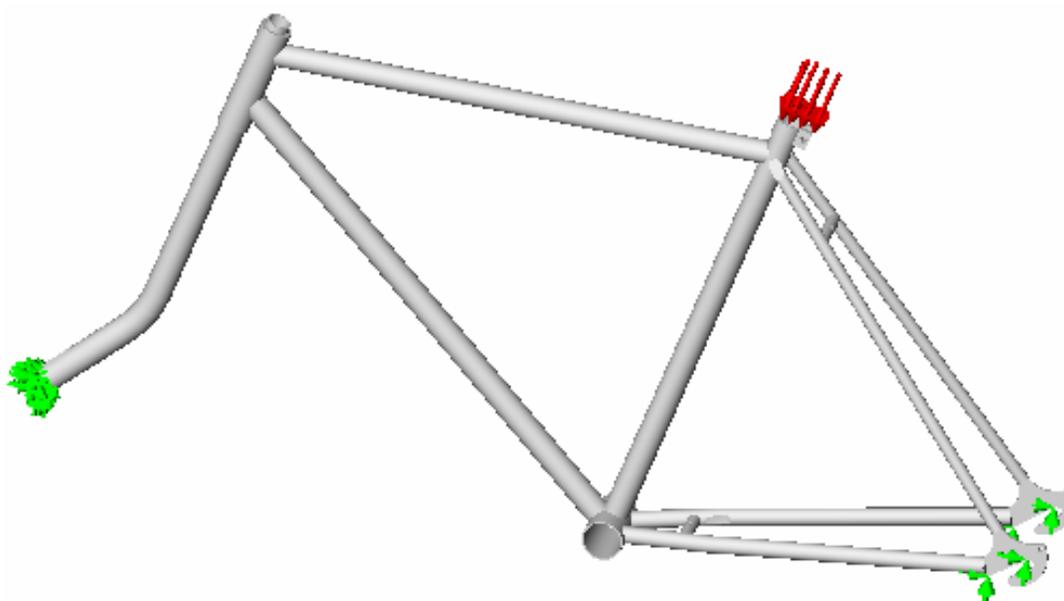
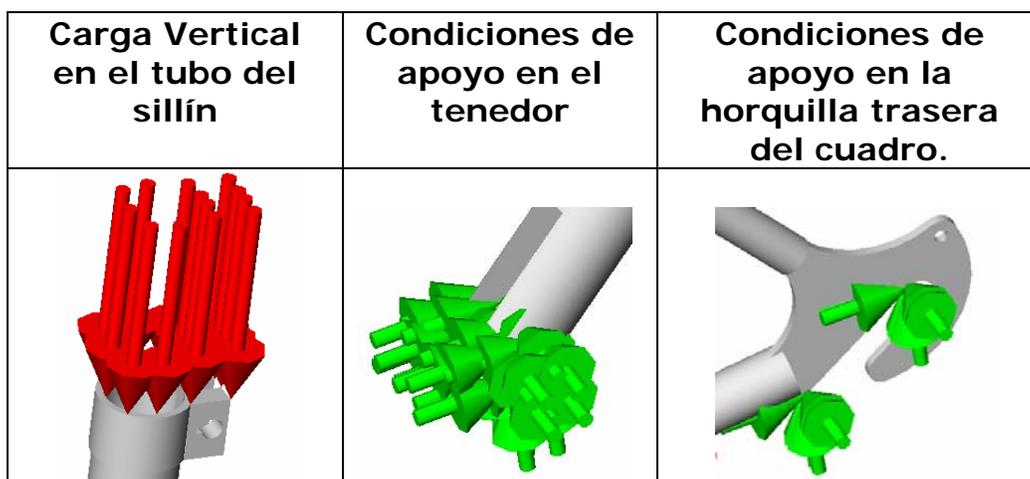


Figura 3.17 Modelo de la bicicleta para el ensayo de Impacto Vertical.

Tabla 3.7 Detalle de las cargas y los apoyos para el ensayo de Impacto Vertical.



3.4.1. Análisis se los resultados

Resultados de la modelación para el ensayo de Impacto Horizontal:

En la tabla que se muestra a continuación se ofrecen los valores obtenidos en los ensayos mediante el MEF, para el acero y para el material compuesto.

Tabla 3.8 Valores máximos de tensiones y desplazamiento obtenidos en el ensayo de Impacto Horizontal mediante el MEF.

Materiales utilizados	Tensiones máximas (MPa)	Desplazamiento máximo (mm)
Acero 1020	282	11.91
Material compuesto	288	12.24

Los valores de tensión alcanzados están dentro de los límites admisibles, obteniéndose un factor de seguridad de 1.2.

A continuación, en las figuras de la 3.18 a la 3.21, aparecen imágenes de las tensiones equivalentes y los desplazamientos resultantes obtenidos mediante MEF, durante el ensayo de impacto horizontal para el acero y para el nuevo material.

BICICLETA-CUADRO-horizontal-Acero-Minerva :: Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 0

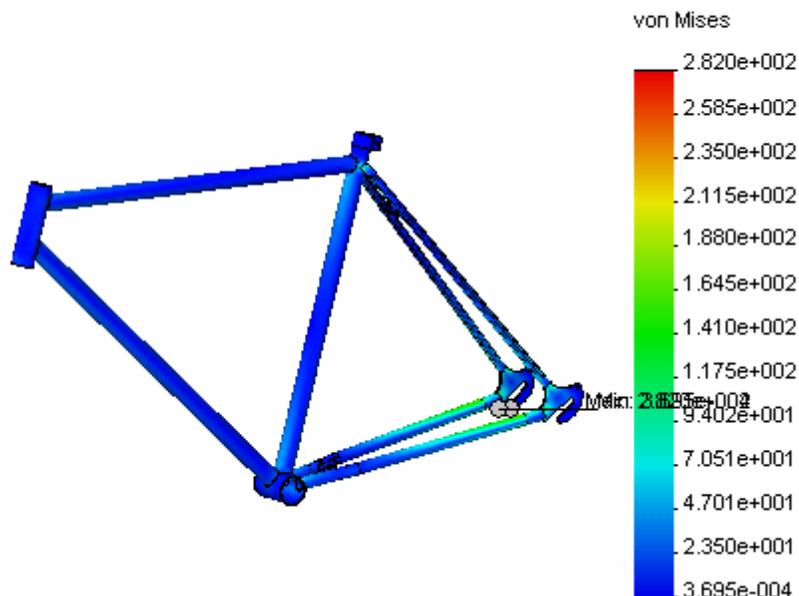


Figura 3.18 Tensiones de Von Mises para el Acero 1020 en el ensayo de Impacto Horizontal.

BICICLETA-CUADRO-horizontal-Acero-Minerva :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 0

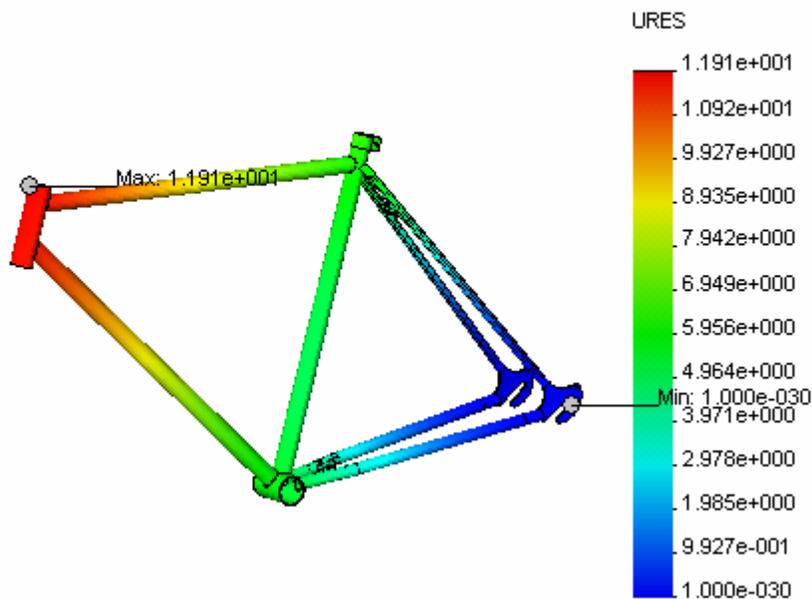


Figura 3.19 Desplazamiento resultante para el Acero 1020 en el ensayo de Impacto Horizontal.

BICICLETA-CUADRO-horizontal-New Material-Minerva :: Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 0

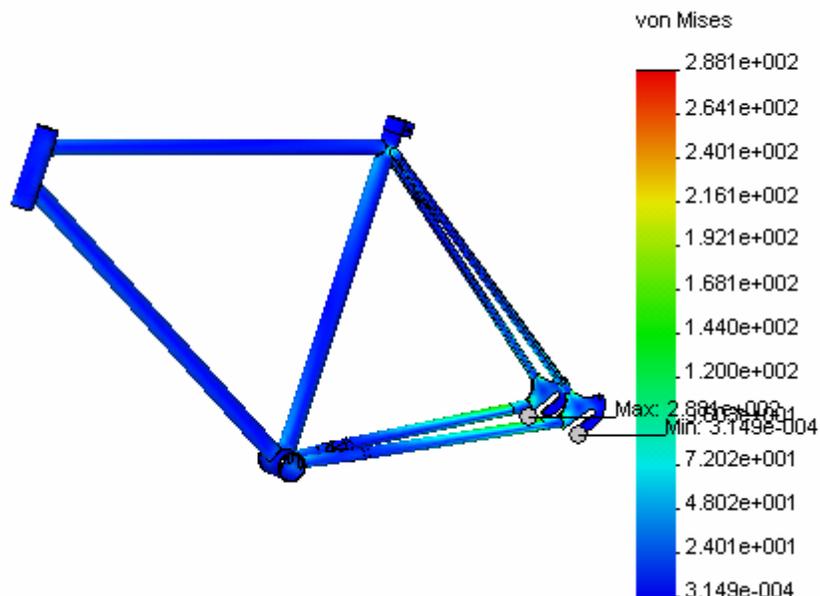


Figura 3.20 Tensiones de Von Mises para el material compuesto en el ensayo de Impacto Horizontal.

BICICLETA-CUADRO-horizontal-New Material-Minerva :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 0

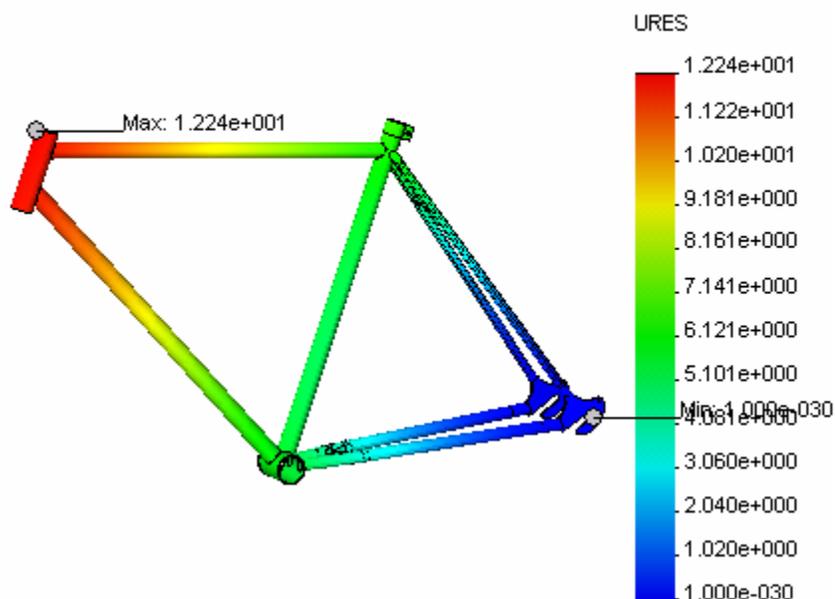


Figura 3.21 Desplazamiento resultante para el material compuesto en el ensayo de Impacto Horizontal.

Resultados de la modelación para el ensayo de impacto vertical.

En la tabla que se ofrece a continuación se ofrecen los valores obtenidos en los ensayos mediante el MEF tanto para el Acero como para el material compuesto.

Tabla 3.9 Valores máximos de tensiones y desplazamiento obtenidos en el ensayo por Impacto Vertical mediante el MEF.

Materiales utilizados	Tensiones máximas (MPa)	Desplazamiento máximo (mm)
Acero 1020	243	1.02
Material compuesto	245	1.05

Los valores de tensión alcanzados están dentro de los límites admisibles, obteniéndose un factor de seguridad de 1.25.

A continuación, en las figuras de la 3.22 a la 3.25, aparecen imágenes de las tensiones equivalentes y los desplazamientos resultantes obtenidos mediante MEF, durante el ensayo de impacto vertical para el acero y para el nuevo material.

ANÁLISIS IMPACTO Vertical Acero 1020-Minerva :: Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 0

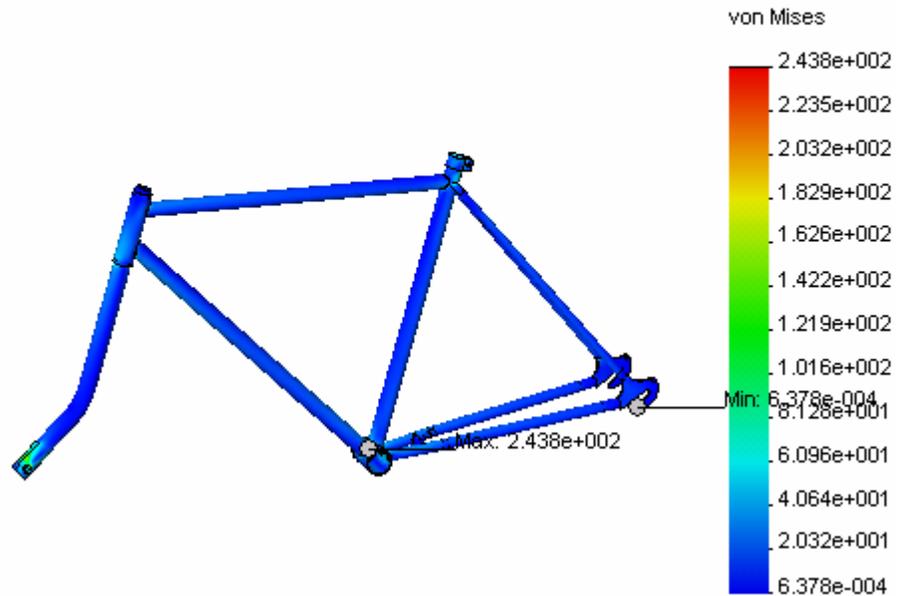


Figura 3.22 Tensiones de Von Mises para el Acero 1020 en el ensayo de impacto vertical.

ANÁLISIS IMPACTO Vertical Acero 1020-Minerva :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 0

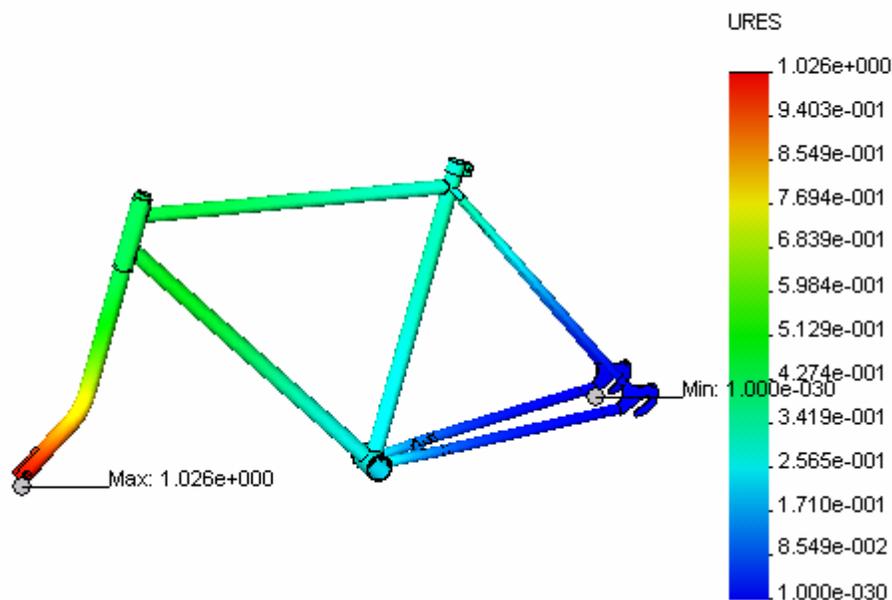


Figura 3.23 Desplazamiento resultante para el Acero 1020 en el ensayo de impacto vertical.

ANÁLISIS IMPACTO Vertical New Material-Minerva :: Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 0

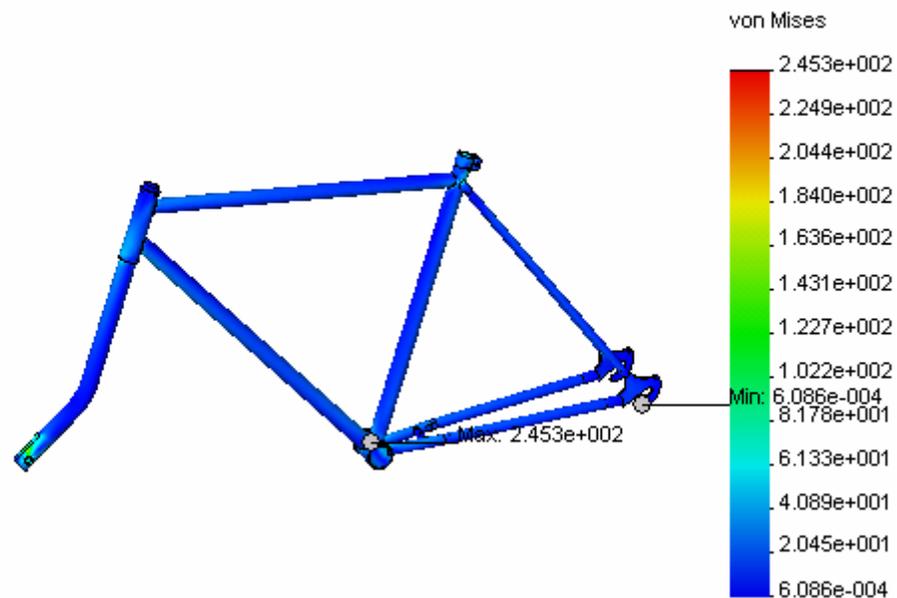


Figura 3.24 Tensiones de Von Mises para el material compuesto en el ensayo de impacto vertical.

ANÁLISIS IMPACTO Vertical New Material-Minerva :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 0

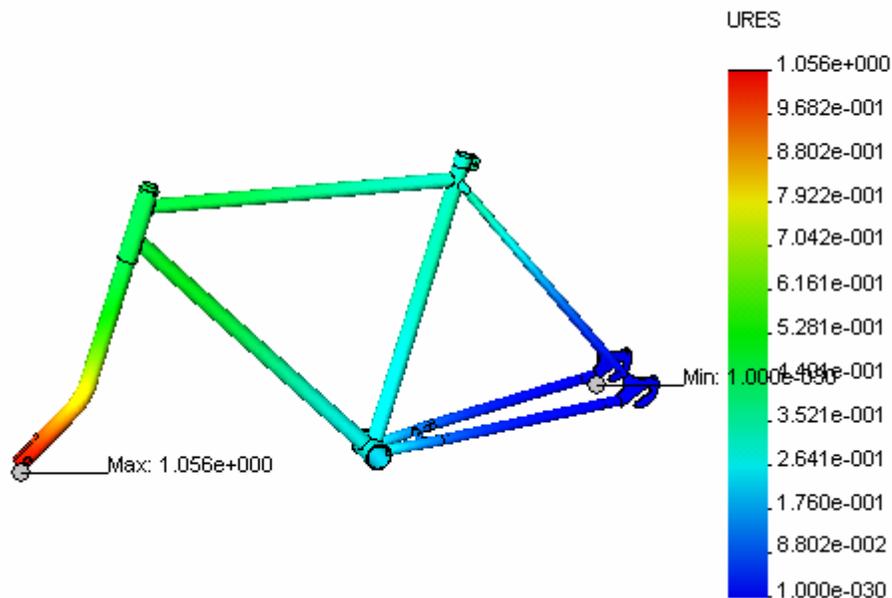


Figura 3.25 Desplazamiento resultante para el material compuesto en el ensayo de impacto vertical.

Comparación de los resultados de cada material para ambos ensayos en %

Diferencia en %, para el Impacto Horizontal	
Tensiones	Desplazamiento
2.08	2.70

Diferencia en %, para el Impacto Vertical	
Tensiones	Desplazamiento
0.82	2.86

Como se observa las cuatro diferencias determinadas no superan el 3% por lo que se puede afirmar que tienen un comportamiento similar de esfuerzos y desplazamientos.

3.5. Conclusiones parciales

- Se concluye, sobre la base del análisis realizado, que las tensiones resultantes obtenidas mediante los ensayos de deformación e impacto vertical según NC18-81, alcanzan valores considerablemente altos, que pueden estar dados por las condiciones severas a que se somete el conjunto cuadro/tenedor durante los ensayos planteados por la norma o a la afectación del coeficiente dinámico (Kd). A pesar de ello los resultados para cada material son semejantes. Las tensiones resultantes mediante el ensayo de impacto horizontal y vertical según los artículos consultados, están dentro de los límites permisibles con un factor de seguridad de 1.2 y 1.25 respectivamente.
- Los valores máximos de las tensiones se localizan en los mismos puntos que se reportan en la literatura.
- Se realizó el análisis de tensiones y desplazamientos para los dos tipos de materiales acero 1020 y el material compuesto por fibra de vidrio y resina de poliéster. Las diferencias entre ambos no superan el 3% por lo que se puede decir que desde el punto de vista de las tensiones y las deformaciones ambos materiales se comportan de forma similar.

Conclusiones Generales

- La modelación de bicicletas y el desarrollo de nuevos materiales 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 y seguros, aunque no es abundante la bibliografía acerca del tema. En Cuba es prácticamente nulo el trabajo en esta dirección.
- La modelación del cuadro de bicicleta en 3D se confeccionó de la forma más cercana a la realidad aunque fue necesario eliminar radios de curvatura pequeños, ya que estos no influyen mucho sobre la resistencia final de la bicicleta aunque si influyen en los resultados y análisis que se realiza mediante MEF al constituir concentradores de tensiones.
- 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.
- Los resultados obtenidos durante el análisis por elementos finitos para el material compuesto son similares a los del acero ya que en ambos ensayos las tensiones se comportan de forma similar, por lo que se puede decir que los resultados fueron aceptables. Este aspecto es de gran interés pues con este comportamiento y su peso que es mucho menor al del acero, se pueden obtener diseños de gran calidad, lo que puede ser aplicado tanto en bicicletas como en alguna otra rama de la industria mecánica.

Recomendaciones

- Realizar la comprobación práctica de los resultados, tanto los recomendados por la norma cubana NC 18-81 como los de otros autores.

Referencias Bibliográficas

- [1]. <http://www.reinforcedplastics.com> . Sporting Composites. Mayo 2005
- [2]. <http://www.ame.arizona.edu/courses/ame463/Project/ANSYS%20Analysis%20of%20Bicycle%20Wheel.pdf> . Finite Element Analysis of the Classic Bicycle Wheel. Andrew D. Hartz. Consultada el 29/06/2005.
- [3]. <http://cprmerida.juntaextremadura.net/ApendiceE.pdf>. Tutorial #3 . Cuerpo de Bicicleta en 3-Dimensiones. Raymundo Maldonado Jaean. Consultada el 29/06/2005.
- [4]. <http://www.satd.uma.es/matap/svera/temas/calculo.pdf>. "Simulación computacional del comportamiento estructural de una bicicleta. Cálculo de tensiones". Presidencia INTI Proyecto Bicicleta. Consultada el 02/07/2005.
- [5]. <http://www.eng.livjm.ac.uk/Teaching%20Development%20Website/stressConc/Coursework-File/FEModelling%20of%20a%20Bicycle%20Frame.pdf>. Finite Element Modeling of a Bicycle Frame using ANSYS. Consultada el 02/07/2005.
- [6]. <http://www.sheldonbrown.com/rinard/fea.htm> . Análisis estructural por elementos finitos. Leisha A. Peterson y Kelly J. Londry. Consultada el 02/07/2005.
- [7]. <http://design1.mae.ufl.edu/~nkim/eml5526/solution/project1.pdf> . Project #1 Bicycle Frame Design. Consultada el 03/07/2005.
- [8]. Patente No US6270104. Cuadro de la bicicleta de material compuesto y métodos para su construcción. 07/08/2001.
- [9]. Patente No FR2789045. Cuadro de bicicleta de polímero termoplástico. 04/08/2000.
- [10]. Patente No JP11192990. Cuadro de bicicleta con capa adicional de material compuesto. 21/07/1999.
- [11]. Patente No PT101832. Cuadro de la bicicleta (chasis). 30/09/1997.

Bibliografía

1. Beer F., Jhonston, E. Russell, Mecánica de Materiales. Edición Mc Graw Hill, 1993.
2. Books for Bicycle Tinkerers and Armchair Mechanics. Josh Putnam.[<http://www.phred.org/~josh/bike/ikebooks.html>]. Consultada el 29/06/2005
3. Feodosiev, V.I., Resistencia de Materiales. Ed. MIR, Moscú, 1985.
4. Fernández Levy, G. Resistencia de Materiales, Tomos I y II. Ed. Pueblo y Educación, 1983. Cuba.
5. González Taboada, José Antonio, Tensiones y Deformaciones en materiales elásticos. Universidad de Santiago de Compostela, España. 1989.
6. Hall, Allen S., Hollownko, Alfred R. Theory and Problems of Machine Design, Schaum Publishing Co, 1961.
7. Ham, C.W., Crane, E.J., Rogers, W.L., Mechanics of Machinery. Mc Graw Hill Book Co, 1958. USA.
8. Hibbeler, R.C., Mecánica de Materiales. Tercera Edición, cap. 11 y 12 pág. 566-652, Prentice Hall, 1998. USA.
9. Hinkle, Rolland T., Design of Machines. Prentice Hall, Inc., 1957.
10. Holowenko, A.R., Dynamics of Machinery, John Wiley & Son, N.Y., 1963. USA.
11. Marin, Joseph, Engineering Materials. Prentice Hall, Inc., 1960. USA.
12. Máximo, Celso, Resistencia de Materiales. Editora Dossat, S.A. Madrid. 1959.
13. Mechanical Desktop [<http://autodesk.com/adsk/autoindex/0,616042002155,00.html>].
14. Miroljubov, I., Problemas de Resistencia de Materiales. 6ta Edición. Editorial MIR Moscú. 1990.
15. Mott, Robert L., Applied Strength of Materials. Second Edition. Prentice Hall, 1990. USA.
16. Nash, William A., Resistencia de Materiales. Mc Graw Hill. 1991. USA.
17. Norma Cubana NC 18-81 "Requisitos de Seguridad". Agosto 1991.

18. Norton, Robert, Machine Design. Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts, Marzo, 2002. USA. [<http://www.designofmachinery.com/MD/Contents.pdf/>]
19. Pisarenko, G.S et al Manual de Resistencia de Materiales. Editorial MIR, Moscú, 1985.
20. Reshetov, D., Elementos de Máquinas. Pueblo y Educación, 1985. Cuba.
21. Seely, F.B., Resistencia de Materiales, UTHEA, 1954.
22. Shigley, J.R., Mischke, C.R. Diseño en Ingeniería mecánica. Mc Graw Hill. 5ta Ed, 1990. cap. 18, pág 788-814.
23. Silovsky, K., Oliva, J., Resistencia de Materiales. Tomo I. Ciencia y Técnica, 1978. Cuba.
24. Sloane, Alvin, Resistencia de Materiales, UTHEA, 1966.
25. Spotts, M.F., Design of Machine Elements. Prentice Hall, inc. 3rd Edition, 1964.
26. Stiopin, P.A., Resistencia de Materiales. 3ra Edición. Editorial MIR Moscú. 1979.
27. Timoshenko S., Young, D.H., Elementos de Resistencia de Materiales. Montaner y Simon, S.A. Editores, 1970.
28. Timoshenko, S., Gere, J.M., Mecánica de Materiales. Cuarta Edición. International Thomson Publishing, Inc. 1997.
29. Timoshenko, S., Goodier, J.N., Teoría de la Elasticidad. Ediciones URMO, 1968.
30. Timoshenko, S., Vibrations Problems in Engineering. D.V. NOSTRAND Co., 1956.
31. Vallance, Alex, Design of Machine members. Mc Graw Hill, 1951.
32. Vázquez, Manuel, Resistencia de Materiales. Editorial Noela. España. 1991.
33. Wright, Douglas, Design and Analysis of Machine Element. Universidad de Wester, Australia, 2001. [<http://www.mech.uwa.edu.au/anotes/sss.Transmission>].