

CAPITULO 8

Conclusiones.

8.1 Conclusiones generales sobre el modelo.

Los resultados presentados en este documento del análisis estático realizado al modelo, nos muestran claramente que el grado de confiabilidad del bastidor dependerá de la resistencia al punto de cedencia del material, de acuerdo al criterio de *Von Mises* y *Tresca* la falla en cualquier material se presenta cuando la tensión, σ , sobrepasa a la resistencia a punto de cedencia por tracción del material sometido a ella. El modelo tridimensional generado en CAD y proporcionado por la empresa Tecnoidea presentó muchas dificultades para poderlo importar al software de ALGOR®.



Figura 8.1: Prototipo MXT

Es por ello que se planteó realizar el estudio con modelos modificados y optimizados para el análisis, basándose en el diseño que ellos tienen de manera física en sus instalaciones y tomando en cuenta la aplicación sobre la estructura los 1000 Kg que, en condiciones reales, éste modelo deberá soportar.

8.2 Conclusiones generales sobre los Materiales.

El acero ha sido un material altamente solicitado desde que el hombre empezó a usarlo para sustituir a la madera como el componente primario en los carruajes sin caballo. Tiene las ventajas de ser barato y fuerte, con una ductilidad buena para formar geometrías complejas que con la madera no hubiesen podido ser generadas. También es fácil de reciclar al final de la vida de un vehículo. El problema actual es nueva gran demanda de vehículos cuyo desempeño sea ahorrar el energético que consumen, y para ello el problema principal es el peso. Siendo uno de los puntos más importantes el verificar no solo los esfuerzos y deformaciones admisibles para cada material sino ahora también la densidad del material con el que se trabaja, ya que hay una estrecha relación entre el desempeño y prestaciones del vehículo con el peso.

Actualmente hay una amplia gama de alternativas para poder obtener reducciones considerables en el peso bruto de los diseños automotrices, cada una con sus ventajas pero con el mismo inconveniente sus precios son mas elevados que el del acero y que van desde el uso de aleaciones de aluminios, magnesio, plásticos y fibra de carbono que van encontrando cada vez mas aplicaciones en la industria

Una de las muchas ventajas que representa el uso de aluminio es que se requiere de 3 milímetros de aluminio para reemplazar 1 milímetro de acero en peso conservando propiedades similares o iguales al acero, y dentro de esos 3 milímetros de aluminio se pueden desarrollar todavía reducciones en peso que con el acero ya no serían posibles (SAE, 2005ⁱ). Para la industria automotriz se utiliza comúnmente el AA 6061-T6 y para efectos de este estudio se recomienda que se siga con este material. No obstante el aluminio 6105-T5 obtuvo resultados favorables durante el análisis y puede ser una opción a tomar en cuenta para ambas estructuras el perfil “T” y el perfil del marco □.

El magnesio es todavía mas ligero que el aluminio pero de la misma forma más costoso y no es tan rígido como el aluminio o el acero, se deberá recurrir a la aplicación de geometrías complejas para mejorar su rigidez y su uso deberá aplicarse después de un exhaustivo análisis de sus ventajas y desventajas en el diseño. Sin embargo con este material se pueden obtener geometrías complejas por medio de fundición, lo cual lo hace excelente para los límites de tolerancia usados en la gama automotriz, ya que es mas fácil obtener las medidas adecuadas de una sola pieza aunque sea fundida que de un conjunto de 20 (SAE, 2005ⁱⁱ).

El uso de fibra de carbono en conjunto con el uso de aluminio para sustituir partes como el techo de los automóviles hace que se logre una reducción considerable en el peso bruto vehicular, el peso promedio de un techo fabricado en acero de un automóvil es de 10 a 15Kg al usar fibra de carbono el peso se disminuye a 5 o 6Kg. Claro que el uso de este material es extremadamente caro con respecto al acero por lo que se usa para el diseño y construcción de autos exclusivos como el BMW M6 o el Corvette Z06 (SAE, 2005ⁱⁱⁱ).

Para el acero se propone utilizar el estructural ASTM A36 o alguno con cualidades similares como el AISI 1025 para fabricar perfiles varios, el AISI 4130 sugerido por el diseñador y conocido como *Cromoly*, para los perfiles tubulares como el *RollBar*, así como un acero 1045 para los tornillos tuercas y rondanas.

Una recomendación para disminuir los esfuerzos en la estructura es mejorando la suspensión que se le aplicará al auto, ya que estos absorberán más energía y de esta forma se optimizará el funcionamiento de la estructura soportando mayores cargas.



Figura 8.2: MXT Reconocimiento del prototipo por profesores y alumnos de la UDLA

Coincidiendo con tesis anteriores se recomienda utilizar aceros tipo AISI 4130 WQT 700 y AISI 4130 WQT 400 (Damaso, 2004^{iv}), para la estructura tubular ya que la resistencia al punto de cedencia es mayor a los esfuerzos presentados. Y se tendrá que tener especial cuidado en el proceso de soldado de la estructura ya que como todo proceso térmico tiende

a cambiar las propiedades de los materiales en las zonas donde el calor es aplicado, así que para obtener el mayor beneficio de este proceso se deberá librar hasta donde sea posible de la acción de estos esfuerzos térmicos

Para el aluminio se recomienda usar el AA6061-T6 ya que además de presentar una mejor respuesta a los esfuerzos presentados en este análisis según algunos autores es uno de los materiales más usados en aplicaciones automotrices (Mangonon, 1999^v).

El método de diseño basándose en el esfuerzo admisible, el cual usa una fracción del esfuerzo admisible es suficiente para la mayoría de los diseños. Sin embargo este método no garantiza que una falla catastrófica pueda ocurrir. Por ejemplo que un puente se colapse, el estallido de una válvula de presión o un tanque de almacenamiento algunas roturas en barcos y aviones han ocurrido y no se pueden explicar por este método de diseño. No obstante muchas de las explicaciones a estas fallas son basadas en la mecánica de falla y la tenacidad a la fractura de los materiales.

Esta disciplina trata con el estudio de la creación y propagación de fracturas en los materiales, y a pesar de que es un campo relativamente nuevo a comparación de la estática y la dinámica es igualmente importante a la hora de diseñar estructuras. La premisa básica de esta disciplina es asumir que los materiales tienen defectos o grietas en ellos y la propiedad de los materiales que resiste la propagación de esas grietas es la tenacidad a la fractura (*fracture toughness*) (Mangonon, 1999^{vi}). Independientemente de esto la tenacidad puede ser incrementada al bajar el contenido de C, S y P en aceros e incrementando el contenido de Mn, Ni, Ti y Al. (Echevarria, 2003^{vii}). Puede pensarse en realizar un estudio

para conocer la tenacidad de los materiales utilizados mediante algún método experimental como el del método de indentación, sin embargo conocer este factor o decidir que tipo de método experimental es el más adecuado no son objetos de este trabajo, solo sugerirlos.

8.3 Conclusiones generales sobre el Factor de Seguridad.

La manera más apropiada para indicar como las propiedades de la estática son usadas en el diseño es siguiendo un criterio de falla, el usado para materiales dúctiles bajo este tipo de análisis es el del esfuerzo máximo permisible. Sin embargo nunca se diseñará para que el esfuerzo presentado en las estructuras sea el esfuerzo máximo permisible por lo que es común usar un “factor” que nos asegure que el modelo se comportará bajo las especificaciones del diseñador y que la estructura podrá hacer frente a imprevistos en el ambiente y se le llamará *factor de seguridad*.

Este factor es típicamente una razón entre dos cantidades que tienen las mismas unidades, por lo que este valor será adimensional.

Según Robert L. para las estructuras con materiales dúctiles donde se conocen bien sus propiedades, donde las condiciones ambientales son simuladas de manera satisfactoria, el modelo es una representación fiel al original y si la estructura se somete a un análisis estático, como lo amerita éste estudio, el factor de seguridad o de diseño que se le aplicará será de $N=2$ ([Mott, 1992^{viii}], [Mangonon, 1999^{ix}])). De la misma forma si alguno de estos elementos es cambiado de forma moderada el factor de diseño será de $N=3$ (Norton, 1996^x)

únicamente en casos de impacto o de aplicación de análisis de fatiga, el factor de seguridad deberá ser de $N=4$ o mayor, este último factor se aplicará para propósitos de este estudio.

El uso de un factor de seguridad de $N=4$ o mayor se justifica bajo la premisa de que este modelo no solo estará bajo la aplicación de cargas estáticas, sino también dinámicas, aún no se genera ningún análisis de fatiga o de impacto sobre la estructura, y el modelo físico aún no ha sido probado. Se espera que el diseñador y el productor hagan posibles cambios a la geometría del diseño y/o cambios en la selección de los materiales, lo cual hace que a nuestro modelo se le aplique un factor de seguridad mayor tomando en cuenta que habrá que cuidar la seguridad de las personas que lo utilicen.

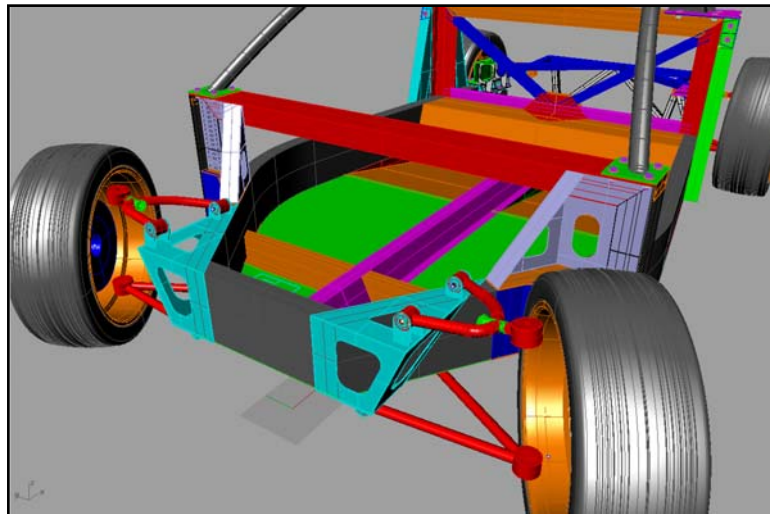


Figura 8.3: Versión inicial del MXT creado en Rhinoceros.

8.4 Conclusión sobre el trabajo realizado.

Cabe mencionar que en nuestro país para las pequeñas y medianas empresas la aplicación del Análisis de Elementos Finitos como herramienta de diseño, presenta ventajas

competitivas por sobre quienes no incluyen y aplican éste tipo particular de análisis ya que mediante el desarrollo de mejores modelos en la etapa de diseño se podrán presentar productos competitivos a nivel internacional, del agrado del mercado y a precios razonables.

El método de Análisis de Elementos Finitos te permite hacer modificaciones a modelos para su optimización desde la fase de diseño, eliminando la creación de los prototipos rápidos o prototipos a escala real, obteniendo de manera confiable los comportamientos de los mismos bajo circunstancias simuladas de condiciones reales.

Este proyecto tuvo como objetivo la modelación y simulación del ensamble de un dispositivo mecánico con la interacción de distintos materiales, en el software de ALGOR® V16.0 ya que la universidad trabaja con la versión 12 del mismo, por lo que el desarrollo de este proyecto implicó el reconocimiento del funcionamiento del programa, sus requerimientos mínimos de sistema, su adaptabilidad a distintos formatos de CAD y el desarrollo de este ensamble, el cual se ajustó a las necesidades de la empresa Tecnoidea SA de CV que solicitó un análisis para el prototipo de su auto deportivo MXT.

Independientemente de que ha sido demostrado que el análisis de elementos finitos obtenidos de ALGOR® es altamente confiable, es recomendable un método de validación para verificar la veracidad de los resultados proporcionados, utilizando instrumentos de medición que permitan conocer la magnitud y dirección de las deformaciones generadas en un sistema en particular bajo la acción de cargas como los *strain gauges*. Se deberán de localizar donde las deformaciones sean más evidentes y con posible tendencia a falla ya que

las propiedades de los materiales varían de su estructura ideal dentro del sistema de simulación al que se obtiene en la realidad ya que los materiales presentan impurezas que de una u otra forma hacen que las cualidades de dicho material no sean constantes a lo largo de toda la estructura.

8.5 Consideraciones sobre el software y el equipo.

Para poder realizar este proyecto se tomó en cuenta la nueva versión de ALGOR® 16.0 sin embargo al término del mismo este programa tiene sobre la red, la actualización a la versión 18.0, es necesario tomar en cuenta que la adecuada combinación de software de punta y el hardware facilitan la elaboración de este tipo de análisis. Sin embargo el costo que representa obtener una estación de trabajo es elevado. El intervalo de tiempo se presenta a través de la siguiente tabla:

OPERACIÓN	TIEMPO	OBSERVACIONES
Creación del Modelo en CAD	24:00:00	340 Partes, Sin dimensiones respetando estrictamente la geometría de Rhinoceros.
Importación a ALGOR	0:03:00	Generación de archivo *.dmit
Preparación del modelo para el Mallado	1:20:00	Aplicación de criterios, tamaño de malla, tipo de elemento, Número de intentos, Generación de puntos de Refinamiento, etc.
Generación de la Malla	0:20:00	Creación de Elementos Superficiales por ALGOR
Generación de la Malla Sólida	1:40:00	Creación de Elementos Sólidos por ALGOR
Configuración del Modelo en el editor de FEA	0:40:00	Especificación de Materiales, Grososres, Condiciones de Frontera, Aplicación de Fuerzas y Parámetros Globales.
Análisis del Modelo	1:40:00	Análisis del Modelo, cálculo de resultados por ALGOR
Visualización de Resultados en el Superview	0:30:00	Obtención de Resultados en el Superview, Toma de Imágenes.

Tabla 8.1 : Tiempos de análisis para el proyecto MXT.

El tiempo total de todas estas operaciones es de 30 horas con 13 minutos, es decir un día completo con 6 horas y 13 minutos. Sin tomar en cuenta la generación de un reporte adecuado sobre el análisis. Hay que aclarar que independiente del tiempo marcado para la generación de la malla, si en el programa aparecen problemas de geometría hay que volver a importar el modelo de AutoCAD o, en su defecto hacer modificaciones al modelo de CAD para que se adapte a ALGOR® y esto aumenta el periodo de tiempo que se lleva realizar el análisis.

Según la página oficial del programa, estos son los requerimientos óptimos para el buen funcionamiento de éste software (ALGOR. 2005^{xi}):

Recomendados

- Procesador Dual Intel® Xeon™ or AMD Opteron™, 3 GHz o mayor.
- 2 GB RAM o más
- 30 GB de espacio libre en disco o más.
- Tarjeta aceleradora de gráficos de al menos 128 MB OpenGL.

Mínimos

- Procesador Intel Pentium® 4 or AMD Athlon™, 1.3 GHz
- 512 MB RAM
- 5 GB de espacio libre en disco.

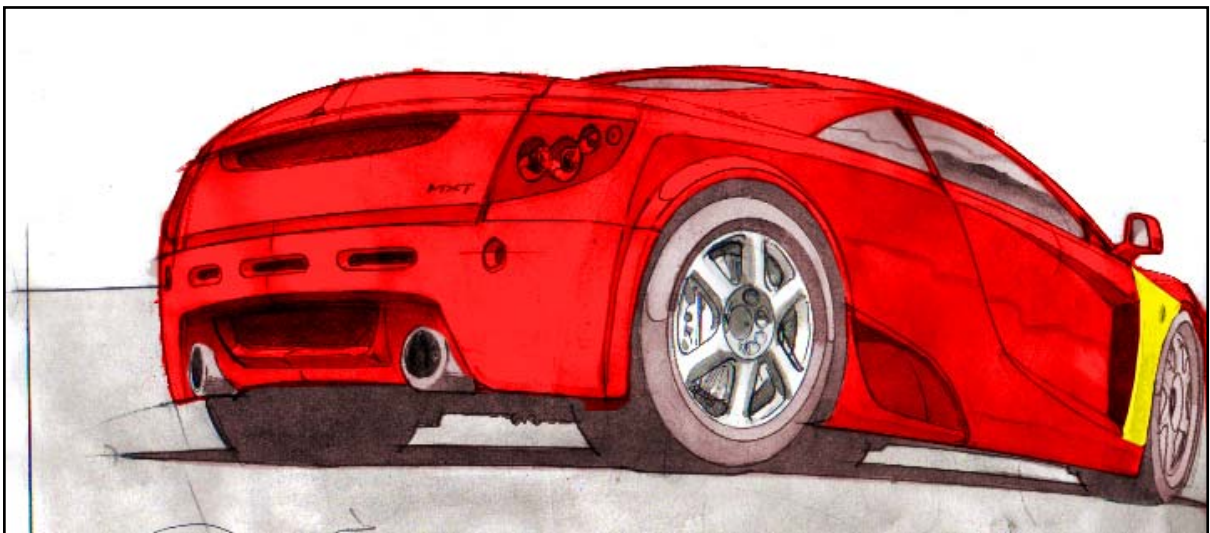


Figura 8.4: Concepto MXT vista trasera.

De forma particular se explicarán las especificaciones del equipo que se utilizó en este proyecto y su justificación:

Se necesitó una estación de trabajo que pueda correr Windows XP ya que el sistema corre bajo ésta plataforma, un espacio en disco duro de al menos 10Gb dependiendo del tamaño del modelo a analizar. Modelos como el que presenta este proyecto generan archivos cuyo total suma al menos 3Gb de espacio en el disco duro y generando archivos con valor de mas de 1Gb (*.mtx). Un procesador AMD 64 Bits de la nueva generación de procesadores duales. Se necesitan al menos 2.7Gb de memoria RAM. Si se incrementa la memoria ésta permitirá al software ejecutarse en menos tiempo y permitirá analizar modelos más complejos. Una tarjeta aceleradora de gráficos de al menos 128Mb con soporte para gráficos OpenGL que ayude a visualizar la discretización y permita al ordenador trabajar más en el análisis nodal y no en el renderizado de los gráficos. El que se usó para este proyecto contó con 256 Mb DDR.

El conseguir estas herramientas fue de vital importancia para el desarrollo de este análisis, siendo aún así la discretización y el análisis un proceso extenuante en este proyecto sin embargo la cantidad de partes que conformaron el modelo, y su análisis no fue tarea sencilla, detrás de estas páginas se encuentran muchas horas de trabajo hombre-máquina, tan solo para obtener unas cuantas imágenes que describan el comportamiento de la estructura.

Siempre ha sido gratificante ver la correcta aplicación de la tecnología en la solución de problemas como la que representó el proyecto MXT de Tecnoidea S.A. de C.V. a cargo de Mastretadesign.

[ⁱ] SAE. (© 2005) *Material Issue*, Automotive Engineering International, revista mensual, Vol. 113, No. 1, Estados Unidos de Norteamérica, Agosto 2005, Trans Jonathan A. López Saucedo, pp 55 – 57.

[ⁱⁱ] SAE. (© 2005) *Material Issue*, Automotive Engineering International, revista mensual, Vol. 113, No. 1, Estados Unidos de Norteamérica, Agosto 2005, Trans Jonathan A. López Saucedo, pp 57 y 58.

[ⁱⁱⁱ] SAE. (© 2005) *Material Issue*, Automotive Engineering International, revista mensual, Vol. 113, No. 1, Estados Unidos de Norteamérica, Agosto 2005, Trans Jonathan A. López Saucedo, pp 58.

[^{iv}] Damaso, P. O. (© 2004) 5. *Análisis de la Estructura y Elementos del SAND CAR Project para su adaptación y Compatibilidad en un programa de Elementos Finitos para el análisis de Esfuerzo y Deformación generadas por Cargas Estáticas*. UDLA, México Pue P109

[^v] Mangonon, Pat. L. (© 1999). *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*, Ed. Prentice Hall, Paráfrasis y traducción por Jonathan A. López Saucedo, pp. 151.

[^{vi}] Mangonon, Pat. L. (© 1999). *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*, Ed. Prentice Hall, Paráfrasis y traducción por Jonathan A. López Saucedo, pp. 151.

[^{vii}] Echevarría. R. (© 2003). *Fractura de Materiales*, Universidad Nacional del COMHAUE, Laboratorio de Análisis no Destructivos, pp. 9 y 10.

[^{viii}] Mott L. Robert, (© 1992) *Diseño De Elementos De Máquinas 2/Ed.* Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. P154-155

[^{ix}] Mangonon, Pat. L. (© 1999). *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*, Ed. Prentice Hall, Paráfrasis y traducción por Jonathan A. López Saucedo, pp. 150.

[^x] Norton L. Robert, (© 1996) *Machine Design An Integrated Approach*. Editorial Prentice Hall P19-21