

## CAPÍTULO 9

### CONCLUSIONES

Los objetivos propuestos al inicio de este trabajo fueron cubiertos satisfactoriamente a lo largo de los capítulos que lo conforman; resultando en la exitosa aplicación del análisis ante el evento de colisión del automóvil con sus respectivas limitaciones y beneficios que son discutidos en este capítulo.

El objetivo general de esta investigación se definió como aplicar el método de los elementos finitos para resolver un problema real que involucra análisis de esfuerzos y deformaciones de tipo lineal y dinámico, enfocándose a un evento de impacto en incrementos de tiempo determinados. Este objetivo se consumió a lo largo del capítulo 7, desarrollando los pasos necesarios para definir el problema, modelado, analizarlo y finalmente interpretar los resultados. El análisis incluyó satisfactoriamente deformaciones, aceleraciones, etapas no lineales del material, análisis de contacto y cuerpos flexibles y con los resultados fue posible generar las propuestas de mejoras al diseño.

Igualmente se cumplió el objetivo de actualizar los tutoriales para la materia de Elementos Finitos, desarrollando las mejoras, las actualizaciones de los tutoriales a la nueva versión y modificaciones en el capítulo 8.

Estos objetivos se completaron de manera satisfactoria y además se generó el conocimiento suficiente para resolver una cantidad ilimitada de aplicaciones diferentes en el área de diseño.

Al comenzar el estudio, se tenía idea que el análisis sometería al equipo de

cómputo a una labor ardua y extenuante, sin embargo, las exigencias de capacidad informática fueron mucho mayores a lo esperado, tanto que, la sola modelación de la estructura del automóvil y las especificaciones para el programa necesito de muchos días de trabajo, ya que, lo importante no era generar un modelo semejante al real, sino que éste a su vez de adecuara a las especificaciones de Algor, pues éste programa de elemento finitos requiere de gran conocimiento y manejo del subprograma Superdraw que contiene Algor.

Esto ocasionó que en ciertos momentos se pensara imposible llegar a una resolución capaz de validar el análisis, por la infinidad de errores geométricos que especificaba Algor, y no porque ellos existieran dentro de la estructura modelada, sino porque para Algor era demasiada la precisión exigida al realizar el análisis y pocos los elementos que validaran la exigencia.

Para poder lidiar con estas limitaciones fueron necesarias diversas pruebas y simplificaciones, a fin de obtener un modelo capaz de simular el suceso. El avance de las computadoras personales y las estaciones de trabajo permiten llevar a cabo complejos análisis estáticos por medio de los elementos finitos en tiempos de procesamiento razonable, sin embargo, al pasar al análisis dinámico con incrementos de tiempo y simulación de eventos mecánicos, los períodos requeridos para realizar la resolución del problema se incrementan de manera considerable. Esto da como resultando periodos prolongados de resolución, desborde de la memoria virtual del equipo e incluso en casos más extremos, el requerimiento de un sistema de 64 bits en lugar de uno de 32, por la complejidad y tamaño de las matrices generadas, que en ocasiones requieren números mayores a los soportados en un sistema con tecnología de plataforma de 32 bits.

Como resolución para evitar estos problemas es importante encontrar un equilibrio entre los recursos computacionales disponibles y la precisión requerida en el ejercicio, logrando así un estudio completo y factible. Dando un ejemplo comparativo en cuanto a los tiempos de procesado, el análisis estático realizado en el capítulo 7 requirió de aproximadamente 1 minuto de procesador con 32 Mb de memoria RAM, por otro lado un análisis dinámico de colisión con modelo sólido puede requerir hasta más de 2880 minutos únicamente para realizar el mallado automático y consecutivamente de 4108 minutos de tiempo de análisis, todo esto una vez que se colocaron las condiciones de frontera y los parámetros de impacto necesarios en el ejercicio.

El modelo generó archivos de información de 3GB en disco duro y requirió de 1.5GB de memoria en RAM una vez que se realizaron las simplificaciones necesarias. Estos datos fueron obtenidos después de realizar varios análisis fallidos en los cuales no era posible lograr el sumario debido a restricciones computacionales. Por ello se tuvieron que modificar las condiciones de resolución hasta obtener una factible.

Entre estas simplificaciones se incluyeron las siguientes: El orden de las integrales necesarias para el cálculo de las deformaciones se modificó del cuarto al segundo orden, debido a que el uso de integrales del orden tres y cuatro genera el desbordamiento de memoria antes mencionado. Los incrementos de tiempo se modificaron hasta obtener un modelo consistente, porque el generar incrementos de tiempo pequeños origina una enorme cantidad de ecuaciones a resolver y por lo tanto un análisis lento.

Una de las conclusiones a destacar es que de crear unidades de tiempo grande hace que se pierdan detalles que pueden ser importantes en cuanto a reacciones, concentraciones de esfuerzos y deformaciones, e incluso, puede darse el caso que no se

valore la desaceleración necesaria durante el impacto y que el objeto en movimiento pase a través del cuerpo destinado a colisionar, generando resultados inútiles. Por lo anterior, a pesar de que el análisis de impacto del modelo sólido es más ilustrativo y espectacular, los resultados obtenidos en el modelo de alambre son más confiables y con menos simplificaciones, y como se desarrollo en el capítulo 7 Algor tiene el subprograma para la especificación del comportamiento de los tubos como vigas, ayudándonos enormemente, pues esta estación de modelaje nos permite ser más ilustrativo, ya que podemos especificar el comportamiento de forma plástica o elástico o bien especificar los diámetros internos y externos de cada tubo, con lo cual el modelo del automóvil es de lo mas cercano a la realidad.

A cambio de estos sacrificios en cuanto a detalles gráficos se obtuvieron todos los beneficios que un análisis de estas características puede ofrecer, entre ellos el cálculo automático y realista de las fuerzas generadas en el choque y la inclusión de la inercia, así como las deformaciones generadas en cada instante durante el evento. El manejo de propiedades no lineales y deformación plástica del material así como el endurecimiento presentado debido a las mismas permiten observar con bastante precisión el comportamiento que la estructura presenta ante tal suceso.

Todas las limitaciones antes descritas pueden servir de líneas de futura investigación, las más interesantes incluyen el diseño de una suspensión inteligente que mantenga la posición óptima en caso de impacto, mejora de elementos de absorción en forma de S y la inclusión de materiales compuestos y refuerzos en zonas críticas de impacto, claro que éste tipo de mejoras estás limitadas al reglamento especificado pro la competencia Minibaja, ya que se restringe el uso de ciertos materiales o bien quedan a

decisión de los jueces el poder otorgar la participación del automóvil.

El estudio efectuado en estas condiciones así como los resultados obtenidos en cuanto al comportamiento de la estructura; permitieron mejorar el diseño ante estas circunstancias, disminuyendo considerablemente el riesgo del ocupante en caso de una colisión frontal y lateral.

Es importante recalcar que los resultados de estos análisis son aproximaciones de la realidad, se deben tomar en cuenta factores como las propiedades del material, que a pesar de tener los mismos parámetros en el modelo pueden variar en la realidad debido a endurecimiento por deformación, tipo de maquinado, acabado superficial, defectos superficiales, grietas por dobleces, calidad de la soldadura y un sinnúmero de agentes externos que no pueden ser establecidos en los programas de análisis de elementos finitos.

La geometría representada en el modelo trata de ser lo más fiel posible, sin embargo se hacen aproximaciones en algunas partes de la estructura como es la soldadura, que se considera en el modelo como una parte uniforme de unión del mismo material y espesor que el resto del tubo.

En la realidad se esperaría una resistencia mayor en la soldadura y una gran cantidad de esfuerzos residuales en la periferia de las mismas. Asimismo el modelo no incluye todos los esfuerzos internos que el material genera debido al ensamble. La delimitación del modelo en cuanto a las restricciones de frontera y elementos de contacto ejemplifican una colisión en condiciones óptimas, sin embargo la inclinación del auto debida a la suspensión y un choque de tipo excéntrico o en el trazo de una curva pueden llevar a resultados diferentes pero a pesar de estas consideraciones, los resultados presentados en esta tesis son bastante confiables y cercanos a la realidad.

Algunas de las ventajas más significativas del uso de la simulación de eventos mecánicos es que permite describir las situaciones externas que controlan el evento, calcula directamente las fuerzas que intervienen y permite observar cómo reacciona el modelo de manera precisa, evitando los tediosos cálculos que en caso de contar con malas estimaciones producen resultados infructuosos.

Además de todos los análisis que se puedan generar, éste tipo de trabajos crea un vínculo muy importante entre el área de diseño y las demás áreas que conforman el equipo de investigación, ya que concibe presentaciones realistas de forma que incluso personas no familiarizadas con los términos técnicos y cómputos pueden comprender.

Las restricciones y limitaciones principales en este estudio se debieron a factores computacionales, pero con los avances tan significativos que se presentan cada año es evidente que no será necesario mucho tiempo para poder llevar a cabo ejercicios más complejos, logrando así generar modelos más seguros, ligeros, dinámicos y cada vez más baratos, obteniendo enormes beneficios aerodinámicos, de resistencia, y en materia de seguridad, entre otros.

La aplicación de los métodos numéricos para resolver problemas reales de ingeniería descubre un mundo lleno de creatividad e imaginación, donde es prácticamente imposible quedar satisfecho con una solución, ya que siempre se podrán realizar mejores, y a sea por el cambio en el arreglo estructuras, por la aplicación de las condiciones del evento, por la reducción del material y una infinidad de cambios que la imaginación y experiencia pueden dar.

Los productos analizados en estas circunstancias están bajo mejora continua. La aplicación de este tipo de metodología a otras áreas de ingeniería es sólo cuestión de

tiempo, como lo demuestran los numerosos documentos de investigación y publicaciones de diversos libros que explican detalladamente cómo lidiar con problemas determinados.

En los últimos años los avances y mejoras a los procesos de desarrollo, resolución y aplicación del método de los elementos finitos ha tenido un desarrollo impresionante y la adición de los simuladores permiten tener un laboratorio de pruebas virtual.

Es indiscutible la mejora que esto representa en el diseño temprano de las piezas y nos da las herramientas necesarias para desarrollar productos a la altura de los estándares más severos permitiendo realizar trabajos de excelente calidad, pero sobre todo encaminados a una mejora continua.