



Capítulo 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1.Introducción.

Los avances computacionales y de tecnología en software, permiten a ingenieros y científicos, contar con poderosas herramientas de diagnóstico y simulación, que permiten comprobar y diseñar sistemas mas seguros

Como pudimos apreciar en las ilustraciones de la colisión estudiada por medio de MES, se realizaron tres simulaciones de colisión del Tubolare, con un tiempo de servidor de 56 horas aproximadamente por cada uno sin contar el tiempo de obtención de animaciones. Cada estudio abarcó cerca de 10 GB y gracias a ellos, pudimos determinar la concentración de esfuerzos debido a la energía de impacto que la carrocería transmite al Dummy, para cada caso de espesor de pared estudiado.

Los resultados de simulación fueron ampliamente satisfactorios, ya que no solo esta el hecho de haber logrado el análisis de la estructura, si no se planteó una solución viable, que si bien aumenta en cierta medida la energía que adquiere el Dummy por el efecto de la carrocería, también es cierto que el comportamiento de la estructura en la colisión, es mucho más deseable, ya que se logró reducir la deformación de la zona central de la cabina de pasajeros.



Uno de los datos de mayor interés que esta Tesis arrojó, y que no fue planteado originalmente en la propuesta, fue el hecho de poder comparar los esfuerzos de cada impacto en la zona del cuello del Dummy y compararlos entre ellos en los diferentes análisis realizados. Esto nos permitió tener una idea acerca del comportamiento de la estructura en colisión y su efecto en el Dummy de forma mas objetiva, tomando como referencia el análisis de la estructura original. Las gráficas de desplazamiento obtenidas para cada simulación, ayudaron a aplicar un método de validación del modelo final como se discutió a detalle en el capítulo [7.7.5].

8.2.Conclusiones.

El trabajo realizado por la presente tesis, concluye que el modelo original de Tecnoidea S.A. de C.V. con el espesor de pared en calibre 14, no satisface el comportamiento de colisión deseable en un automóvil de recreación, ya que si bien es cierto que el estudio es una aproximación al comportamiento real del vehículo, también es cierto que se tomaron las consideraciones necesarias para obtener un modelo considerando los pesos mas significativos del vehículo y es por ello, que se incluyó una masa en la zona del motor, con el fin de obtener una simulación lo mas apegada posible.

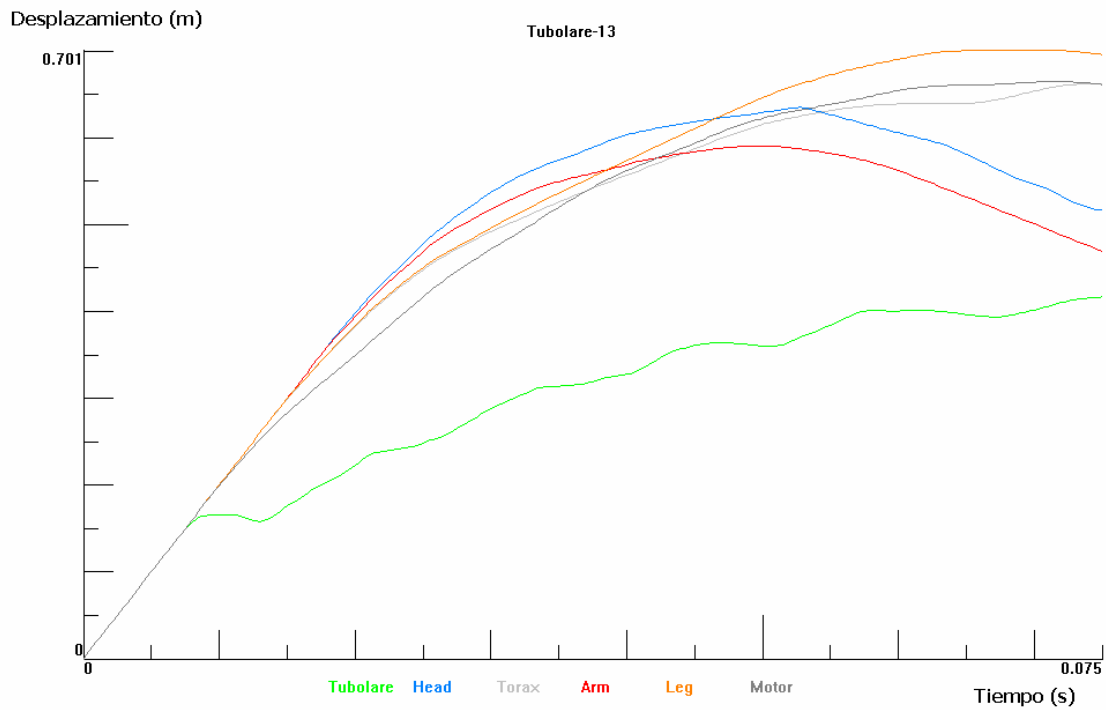


Ilustración 8-1 Desplazamiento Tubolare 13.

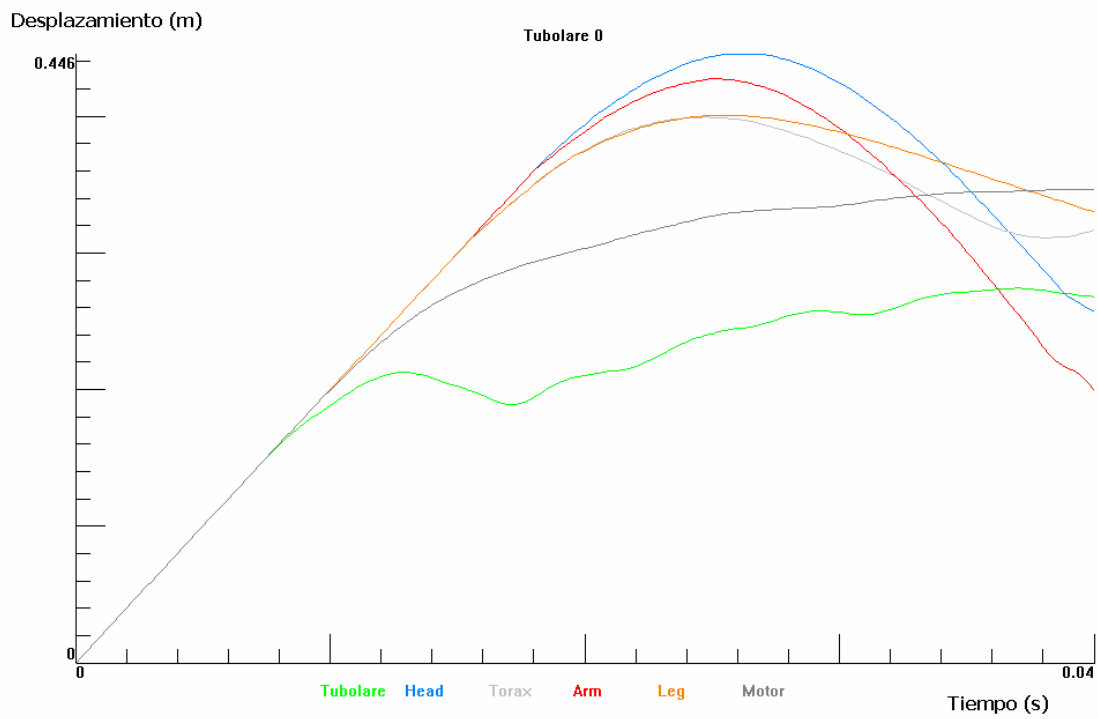


Ilustración 8-2 Desplazamiento Tubolare 0.



Es cierto que la simulación obtenida en el Tubolare 14, fue la que arrojó valores más bajos de esfuerzo en el cuello del Dummy, pero, el problema fue su comportamiento en deformación de la cabina. El modelo nombrado Tubolare 13, fue el resultado final del presente estudio, ya que este modelo pese a que registra valores mas altos de esfuerzo en el Dummy (89 veces mas aproximadamente) y no siguió el valor esperado de 63 veces mayor, fue lo suficientemente satisfactorio en cuanto a los esfuerzos registrados en la cabina y analizando los resultados de desaceleración obtenidos en este modelo, se encontró en la bibliografía que son adecuados aun después de aplicar un factor de seguridad.

Como fue mencionado en el capítulo [7.2], sabemos que por bibliografía se determinó la velocidad de impacto a 20 m/s, ya que esta velocidad es la adecuada para vehículos deportivos, pero la velocidad para vehículos urbanos, es de 50 Km/h o 13.89 m/s. Asumiendo que la velocidad máxima es la empleada por el Tubolare, podemos hacer un análisis de desaceleración burdo. Analizando la grafica de desplazamientos, podemos ver que la desaceleración del Dummy de 20 m/s a 1 m/s (reposo), ocurre en aproximadamente 0.07 segundos, lo que nos da una desaceleración de 285m/s². Haciendo referencia a Körprich et al [50], menciona que aplicando la Ley de Newton $F=ma$, podemos determinar las fuerzas a las que es sometido el cuerpo. Dado que nuestro Dummy tiene una masa de 52 kg. Calculamos una fuerza sobre el Dummy de 13, 416.00 N aproximadamente.

Este mismo autor, sugiere calcular las fuerzas g equivalentes a las que se puede traducir esta desaceleración, por lo que dividimos la aceleración del impacto obtenido sobre la constante de aceleración terrestre, la cual es 9.82 m/s². Este resultado es 29g. Además



podemos traducir el impacto a Kg, a los que es sometido el cuerpo, el cual es **1,366 Kg**. Este autor en sus resultados experimentales y afirma que el conductor tiene probabilidades de sobrevivir al impacto en el rango de 15,000 N a 35,000 N o su equivalente en Kilogramos. Aplicando un factor de seguridad (2 cuando se involucra a Humanos), multiplicamos el factor de seguridad por el valor de la fuerza obtenida por el impacto (13,416.00 N), el cual nos da un valor de 26,832.00 N, el cual comparándolo con el rango sugerido por Körprich [50], vemos que se encuentra dentro del rango de supervivencia. De esta forma, la carrocería con este nuevo espesor de pared, asegurará su desempeño en colisión frontal, pero es importante recalcar, que este estudio solo analizó los aspectos mecánicos de la colisión con interacción del Dummy creado para este propósito, sin embargo un análisis mucho mas profundo en el área Medica de tipo forense, que involucre evaluar los resultados de las fuerzas obtenidas en el Dummy, es necesario para realmente evaluar el aspecto de supervivencia del automóvil.

Este estudio, ha concluido satisfactoriamente con los puntos planteados por la propuesta del mismo y ha implementado el software ALGOR aplicado para un estudio de colisión; los tutoriales desarrollados por esta tesis, el trabajo en CAD (Pro/Engineer) descrito, el análisis de superficies del modelo original, la creación del modelo FEA, el estudio de esfuerzos y los análisis aquí planteados, esperan cimentar las bases para la modelación de este tipo de eventos mecánicos en la Universidad de las Américas Puebla.



8.3. Lista de diferencias entre el modelo REAL y el modelo Virtual.

1. Las Soldaduras en el modelo FEA creado por esta tesis, son consideradas Ideales. Su resistencia es mayor a la del material Chromemoly 4130.
2. Las Soldaduras modeladas, consideran que el material no contiene esfuerzos residuales por cambios de fase o recristalización en la periferia de la soldadura debido al proceso de manufactura.
3. La Modelación de tubería considera que el material es Isotrópico, esto es, que se encuentra uniformemente distribuido en densidad y propiedades a lo largo del tubo.
4. El análisis de la carrocería, no contempla el comportamiento de la suspensión del vehículo durante la colisión.
5. El análisis de la carrocería contempla endurecimiento por deformación plástica Isotrópica en la modelación de la tubería.
6. El análisis considera los cambios en peso de la estructura al variar el espesor de la misma.
7. El análisis de la carrocería no contempla la aportación de amortiguamiento durante la colisión debido a los neumáticos y rines.
8. El análisis de la carrocería no contempla el tablero del vehículo ni el efecto del volante en el Dummy durante la colisión.
9. Se asume que la velocidad neta de colisión es 20 m/s, en un movimiento rectilíneo uniforme.
10. El cinturón de seguridad que sujeta al Dummy, es considerado rígido y su aportación de amortiguamiento es nula. El amortiguamiento que recibe el Dummy, depende completamente de la deformación plástica que sufre la estructura.
11. El cinturón de seguridad modelado, es una pieza de la misma carrocería y su única función es detener el movimiento inercial de Dummy y transmitir la energía del impacto del Dummy a la carrocería y viceversa.
12. Se asume que el Muro de colisión tiene una resistencia infinita de tal forma que no importando la cantidad de energía que este reciba, nunca se excederán sus propiedades físicas. La energía de la colisión es recibida en su totalidad por el Tubolare, el Dummy y el Motor.



13. La modelación considera el efecto de la fuerza de Gravedad sobre todos los elementos del modelo, por lo que el soporte del Motor, no solo considera la carga de impacto, si no también el peso del motor.
14. La modelación no considera disipación de energía por calor.
15. El ensamble Dummy, cuenta con claros de ensamble, de tal forma que se puede apreciar en la gráfica “tiempo-desplazamiento” los tiempos de colisión de cada elemento.
16. El área de contacto del cinturón de seguridad y el Dummy no considera efectos de fricción ya sea dinámica o estática.
17. La modelación del Motor, considera un peso aproximado de 140 Kg. En masa, ya que por sugerencia de Tecnoidea S.A. de C.V. es el peso del motor original para un Sedan VW con tren motriz.
18. En la modelación, se considera que la tortillería que une al motor con el soporte es mas fuerte que la carrocería, por lo que el estudio no evaluará si el soporte fallará, si no si la tubería soportará la carga de impacto. Esta modelación fue pensada por que el soporte del motor, es el soporte original de un VW Sedan, por lo que se asume que esta parte del motor no fallará.
19. Se asume que el acoplamiento que tienen la tubería con el Asiento, es más fuerte que la tubería, por lo que no se explora el hecho de que el soporte del asiento falle durante la colisión debido a que soporta la carga inercial de Dummy.
20. El Dummy carece de espina dorsal, de esta forma se concentran los esfuerzos en el cuello en mayor medida.
21. El Dummy esta restringido a mover hombros piernas y cabeza solo en rotación en un eje.
22. La corrección de superficies en el Tubolare, añade 2 piezas de diferente geometría en la parte trasera del vehículo.
23. El estudio de colisión no considera el efecto del tanque de gasolina situado en la parte trasera del vehículo, ni las reacciones en el soporte del mismo debido a la colisión frontal.
24. El factor de forma aplicado el Modelo, considera cada circunferencia del Tubolare en dodecaedros.

25. El factor de forma del Dummy considera cada circunferencia en hexágonos, por lo que cada unión de las articulaciones del Dummy, a pesar que no contemplan fricción, cuentan con una resistencia a girar debido a esta condición de forma.
26. Las proporciones del Dummy son Antropomórficas y la densidad del Dummy es la del Agua destilada.
27. El Dummy se considera con propiedades elásticas e isotrópicas en todas las partes que lo conforman.
28. Durante la colisión del Tubolare SANDCAR, se considera que las únicas superficies en contacto entre la estructura y el muro, son las superficies de las tuberías frontales, después de la colisión y cuando comienza la deformación plástica, se considera que entran en contacto solo las superficies paralelas al plano de colisión. cabe recalcar que las primeras superficies de contacto son tomadas en cuenta aun sin ser paralelas a la colisión.
29. Las condiciones de frontera en la Tubería son Libres, pero se indica la presencia del plano de deslizamiento, el cual soporta el peso de todos los elementos y el deslizamiento es sin fricción.
30. El Dummy hace contacto con la carrocería durante la colisión solo con las piernas y el Tórax únicamente. Los demás elementos del Dummy, solo hacen contacto con el Tórax y solo colisionan al tórax, no a la carrocería.
31. La modelación no lineal sobre la cual se basa el software empleado para el estudio de colisión, consiste en un ajuste logarítmico de curvas elevadas a una potencia llamada “Modulo de endurecimiento”. Este modelo, es válido únicamente para ciertos metales como el acero, ya que para materiales cuyo comportamiento plástico es complejo como el de algunos polímeros, el uso de esta técnica de modelación no es correcta.
32. La modelación no lineal que usa ALGOR ajusta la curva de deformación plástica de un determinado material a una curva logarítmica. Después por despeje de ecuaciones, se pasa el sistema a escala logarítmica y el comportamiento no lineal puede ser estudiado como comportamiento lineal ya que se transforma a una línea recta por esta técnica y puede analizarse de forma tradicional. Modelaciones más complejas, conllevan el uso de sistemas de ecuaciones que describan el



comportamiento de un determinado material. Algunos programas más robustos en esta área (LS DYNA, IDEAS, ETC), emplean modelos análogos a descripciones de problemas mecánicos, como lo es la analogía de sistemas dinámicos con circuitos electrónicos. Estos sistemas, obtienen ecuaciones de comportamiento análogas al problema original, pero requieren de diferentes datos del problema ya que ciertos polímetros son sensibles a cambios de temperatura y este factor es muy importante para determinar el comportamiento plástico de estos materiales. El efecto de la temperatura puede ser por influencia externa o por la aplicación de deformación mecánica al material. La modelación matemática del comportamiento mecánico de materiales es una extensa área de investigación, pero el punto mas importante es la comprobación de los resultados. Para efectos de esta tesis y dado que se estudia el comportamiento de un acero aleado (Chromemoly 4130), la modelación que propone ALGOR, es acertada por el ajuste logarítmico, pero en caso de modelación de polímeros, se recomienda usar una interfase mucho mas robusta.

8.4.Recomendaciones.

El estudio descrito en el capítulo 7, recomienda a Tecnoidea S.A. de C.V. cambiar el calibre del Automóvil Tubolare SAND CAR a un espesor de Calibre 13 (0.002286 m.) ya que el espesor actual de Calibre 14 (0.001950 m.) no satisface los requerimientos mecánicos capaces de soportar una colisión de 72 Km/h.

Se encontró un problema de diseño en la carrocería, ya que la zona que conecta la cabina de pasajeros con la punta del vehículo, es demasiado flexible, y la punta es muy rígida en comparación con esta zona. Esta configuración en la estructura, causa que dicha zona flexible, se deforme en exceso en lugar de que el frente del vehículo se deforme procurando proteger a los pasajeros. Se sugiere reforzar esta configuración, procurando

hacer más flexible el frente del vehículo de forma que estos tiendan a deformarse plásticamente en mayor medida que la cabina, esto no solo permitirá el uso de espesores de tubería más delgados, si no que también distribuirá los esfuerzos en la cabina concentrándolos en el frente del vehículo en colisión frontal. Dado que el vehículo cuenta con una geometría simétrica y su configuración permite que la deformación se dirija hacia la zona baja del vehículo, se recomienda reforzar esta zona, ya que de esta forma se logrará un mejor comportamiento. La curvatura de la cabina, es adecuada y transmite los esfuerzos al resto de la carrocería ya que en cuanto a la tubería responsable del soporte del motor, no se encontró problema alguno. El comportamiento en calibre 14, arroja valores muy bajos en cuanto al esfuerzo registrado en el Dummy, lo cual es explicado no solo por el calibre del motor, si no por su flexibilidad frontal y su diseño y curvatura, y lejos del problema de excesiva flexibilidad en la cabina y rigidez en el frente, el diseño del automóvil es bueno.

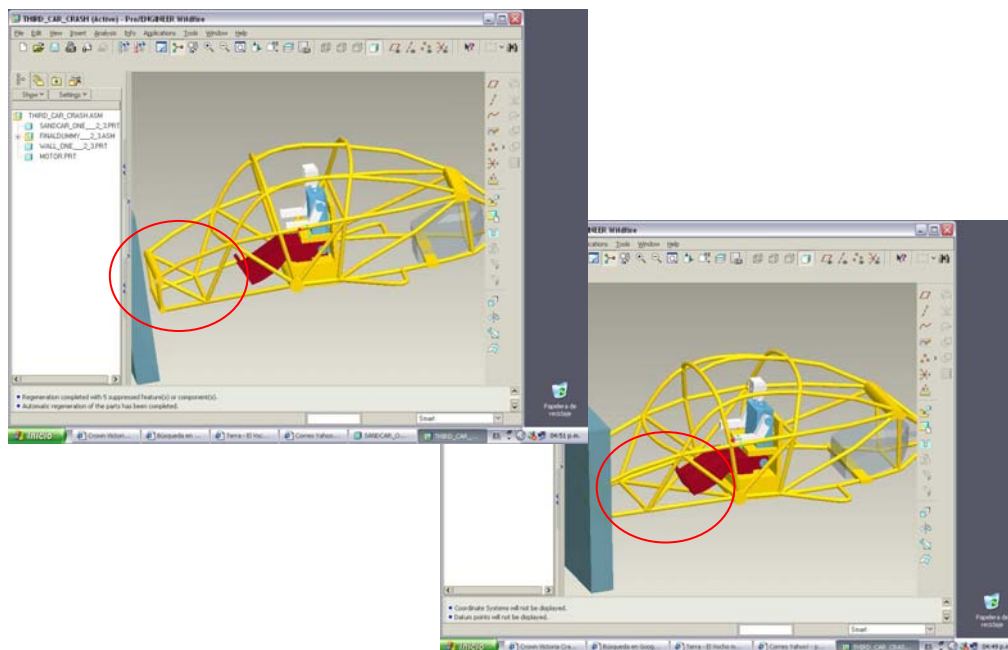


Ilustración 8-3 Mejoras Sugeridas al Tubolare.



El presente estudio de colisión frontal del Tubolare, solo arroja resultados simulados por medio de la técnica de elementos finitos, hace uso de contacto de superficies y asume que entre las superficies de colisión, no existe efecto de fricción alguna.

La construcción del Dummy, solo tiene 5 uniones articuladas lo que le da movilidad al modelo, pero es un modelo restringido. Considero que futuros estudios, podría tomar la bases de esta tesis y mejorar aspectos de modelación, como lo es la creación de un cinturón de seguridad con comportamiento elástico.

En la bibliografía de este estudio, se citó a Matthew Huang [1], en esta referencia, se describe el proceso de validación de un modelo FEA, con la creación de un laboratorio de pruebas de impacto, equipado con acelerómetros y un Dummy de pruebas ya que la única forma de obtener una validación 100% acertada de una colisión, es realizando el fenómeno físico, de forma controlada.

Desafortunadamente, el costo de un estudio de esta naturaleza, excede las capacidades de esta tesis y se recomienda continuar este estudio en esa dirección, ya que solo de esta forma se obtendrán graficas del pulso característico del impacto del vehículo, las cuales pueden ser comparadas con las gráficas arrojadas por el estudio FEA.

Es importante recalcar, que este estudio es una aproximación acerca de lo que podría ocurrir en una colisión dada la complejidad del fenómeno, pero lo más sorprendente de este estudio, es que comparando los resultados obtenidos por la colisión simulada del



Tubolare, con la bibliografía y los datos característicos de una colisión real, son muy similares y congruentes.

Tal es el caso sugerido por Körprich [50], en donde se arroja el rango de las fuerzas que el cuerpo humano es capaz de soportar de forma que exista la posibilidad de supervivencia en una colisión y los datos del Tubolare SAND CAR obtenidos por ALGOR FEA, entran en el rango. Así también comparando los videos de colisiones frontales reales, con las animaciones FEA incluidas en el CD adjunto a esta tesis, podemos ver que el comportamiento de desplazamientos y de interacción del Dummy, son similares.

Es por ello, que considero que el trabajo realizado por esta tesis es viable y aplicable al modelo Tubolare, pese a que no se ha realizado la colisión real, ya que el estudio, nos permitió localizar posibles puntos de falla para sugerir cambios en el modelo que mejoren el comportamiento del mismo.