CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DINÁMICO DE LA ESTRUCTURA DEL AUTO MINIBAJA.

7.1 Introducción.

Como se ha explicado en los capítulos anteriores, el análisis por elementos finitos es un muy útil en diseño puesto que ayuda a disminuir los costos, el tiempo de diseño y mejorar los modelos en cuanto a peso, seguridad y resistencia entre otras ventajas.

Sin embargo, el proceso de análisis puede ser demasiado complejo y demandante en cuanto a recursos computacionales. Entre más detallado y exacto se desea el proceso, las operaciones matemáticas internas del programa adquieren niveles de complejidad extremas, llegando el punto de ser imposibles de resolver debido a la carencia de equipo con capacidad tal que pueda solucionarlo.

Debido a lo anterior, se seguirá un proceso evolutivo en la estructura del auto Minibaja, para poder de esta manera conseguir datos de forma progresiva que nos lleven a resultados confiables de manera sistemática, evitando así el desperdicio de tiempo en análisis erróneos.

Para realizar lo anterior, se efectuará primero un análisis estático de carácter lineal, a partir de un modelo de auto de alambre con las características geométricas necesarias a un nivel básico. Éste análisis ayudará a visualizar la distribución de fuerzas en la estructura para saber qué partes requieren mayor atención.

Seguido de éste análisis se efectuará un análisis de carga incremental, buscando llegar a los límites de linealidad de los materiales y poder observar así el comportamiento de la estructura frente a cargas que ponen en riesgo la integridad de la unidad.

Finalmente se efectuará el análisis más riguroso y demandante de recursos, que es el análisis dinámico de simulación de eventos con materiales no lineales, el cual debido al prolongado tiempo de procesado que toma puede realizarse pocas veces. Así se obtendrán los resultados definitivos del análisis y se podrá efectuar mejoras al modelo para repetir el análisis.

La metodología anterior permitirá detectar modelos inconvenientes en etapas iniciales del análisis y disminuir el tiempo de proceso.

7.2 Procedimiento de Análisis.

En el evento a analizar de colisión del auto Minibaja, el vehículo es sometido a esfuerzos y deformación de tal magnitud que no permanecen en la región elástica del material. Para lidiar con este análisis es necesario emplear las técnicas de análisis no lineal.

En muchos eventos, las estructuras no presentan un comportamiento de tipo lineal al someterlas a las cargas y esfuerzos y rebasan el límite de esfuerzo de cedencia del material, donde la relación entre esfuerzo y deformación adquiere un diferente modelo para cada material. Para resolver este tipo de problemas se requiere de un proceso iterativo que encuentre los diferentes valores fuera de las características lineales del material.

La base del análisis de impacto con simulación de eventos mecánicos .es el incremento de fuerzas y procesos iterativos que generan los diversos valores de las cargas. Cada uno de los incrementos es tan complejo como un análisis estático, por lo cual el tiempo y recursos en sistemas informáticos son de consideración.

Es necesario modelar el problema de la forma más sencilla, inicialmente para tener una idea de las partes que requieren de un análisis más detallado y por lo mismo un mallado más fino.

Los pasos a seguir descritos en el capítulo 2 se conservan para cada uno de los análisis a realizar en esta sección. La etapa de pre-procesamiento fue generada en el capítulo anterior, dejando para éste únicamente la adición de condiciones de frontera, cargas y propiedades del material. La etapa del procesamiento generalmente es invisible al usuario, excepto en el caso de análisis dinámico, donde es necesario observar los sumarios para modificar el análisis a las capacidades del sistema con que se cuenta. La etapa más importante es la de post procesamiento donde se examinan los resultados obtenidos incluyendo el desarrollo animado y se generan mejoras al modelo.

Los pasos a seguir en cada análisis son los siguientes:

En todos los casos, la geometría es generada en el programa Auto-Cad, ver Figura 7.1

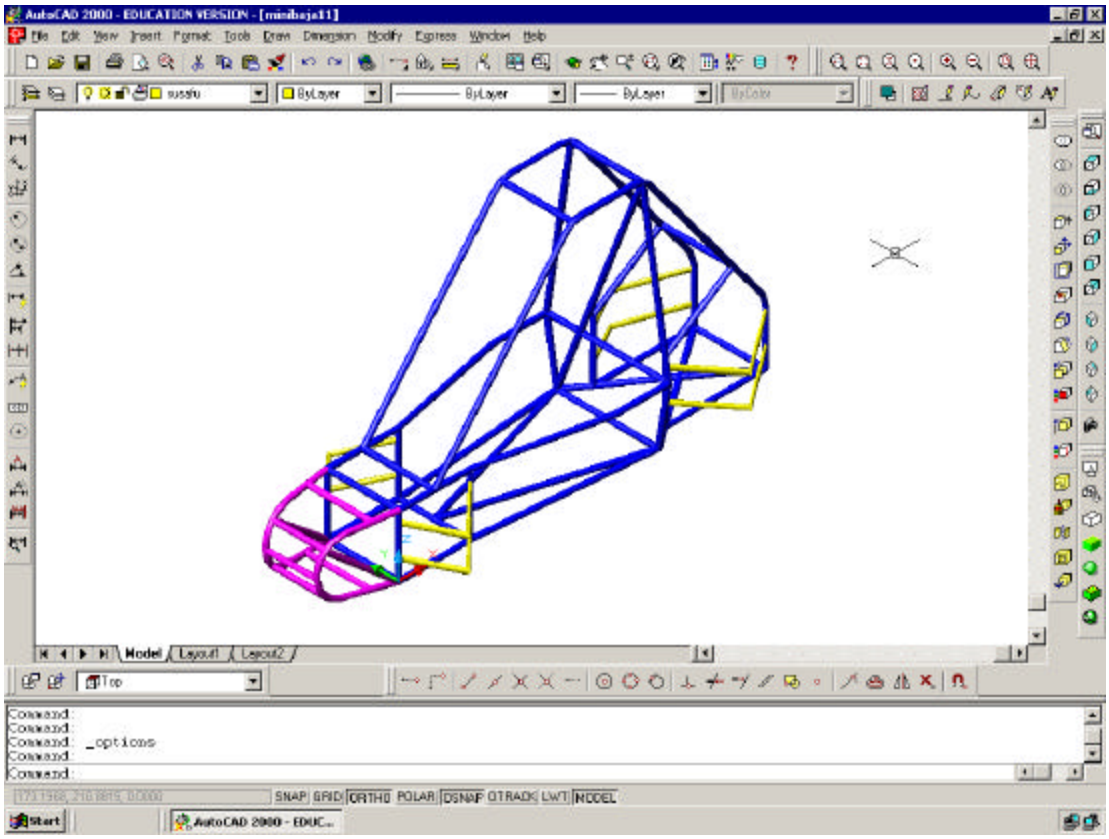

Figura 7. 1 Modelo del Auto Dibujado en Autocad.

Después es importado al software Algor mediante el programa Superdraw, ver Figura 7.2

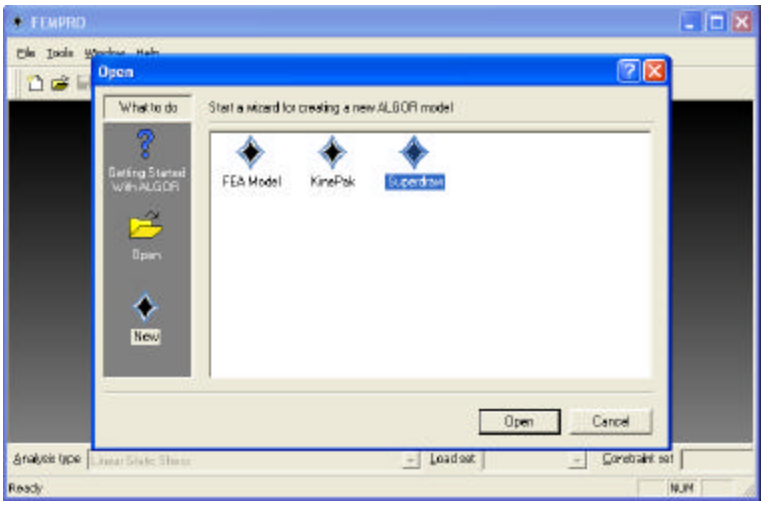

Figura 7. 2 Abrir Superdraw

Se generar diferentes superficies, layers, grupos y tipos de elementos tantos como sean necesarios para definir bien las características de cada elemento que participa en el análisis, ver Figura 7. 3

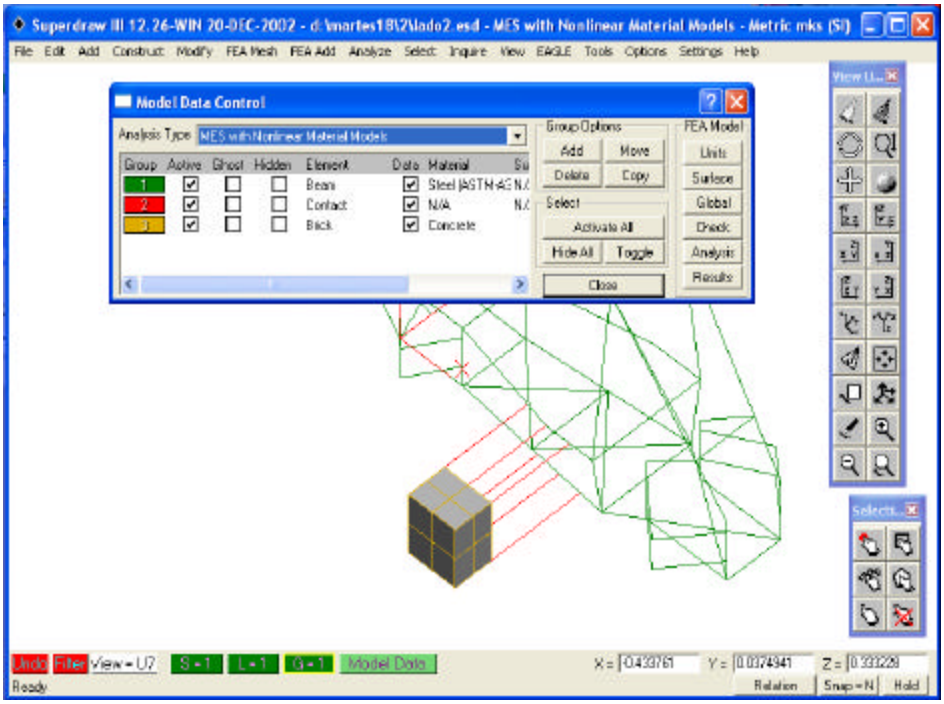

Figura 7. 3 Aplicación de Layers para cada Elemento.

Se especifica que el análisis tendrá características de no linearidad, es decir será del tipo Simulación de eventos con el comportamiento de los materiales por arriba del límite de cedencia.

Se definen los tipos de elemento para cada componente del modelo así como las dimensiones y características de propiedades de las secciones en el Beam Design Editor o superficies en el Supersurf según sea requerido como se muestra en las y Figuras 7.4 y 7.5

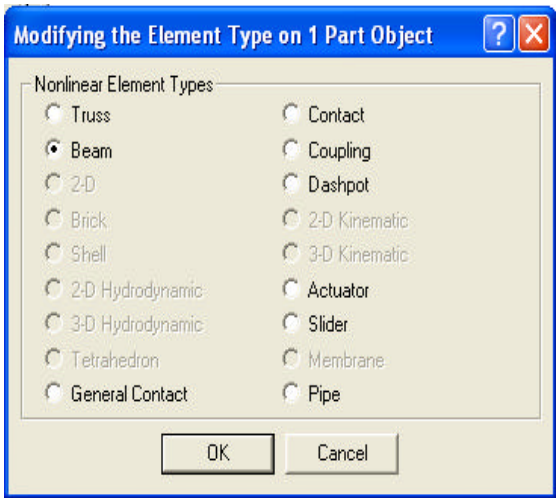

Figura 7. 4 Selección del Elemento

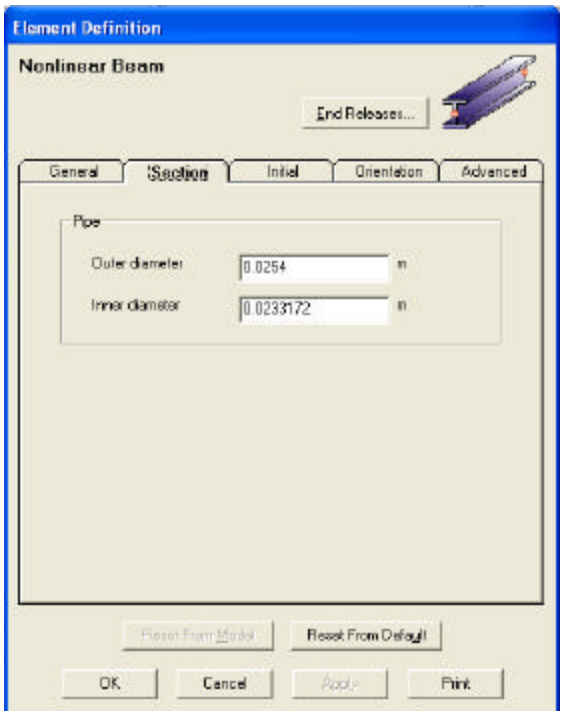

Figura 7. 5 Ingreso de los Diámetros de los Tubos.

Para llevar a cabo el análisis de los impactos frontal y laterales en al auto Minibaja se puede definir por 2 posible definiciones que son por medio de planos o líneas de impacto o bien por elementos de contacto, que para ésta tesis en específico se realizará pro medio de líneas de impacto, ver Figura 7.6.

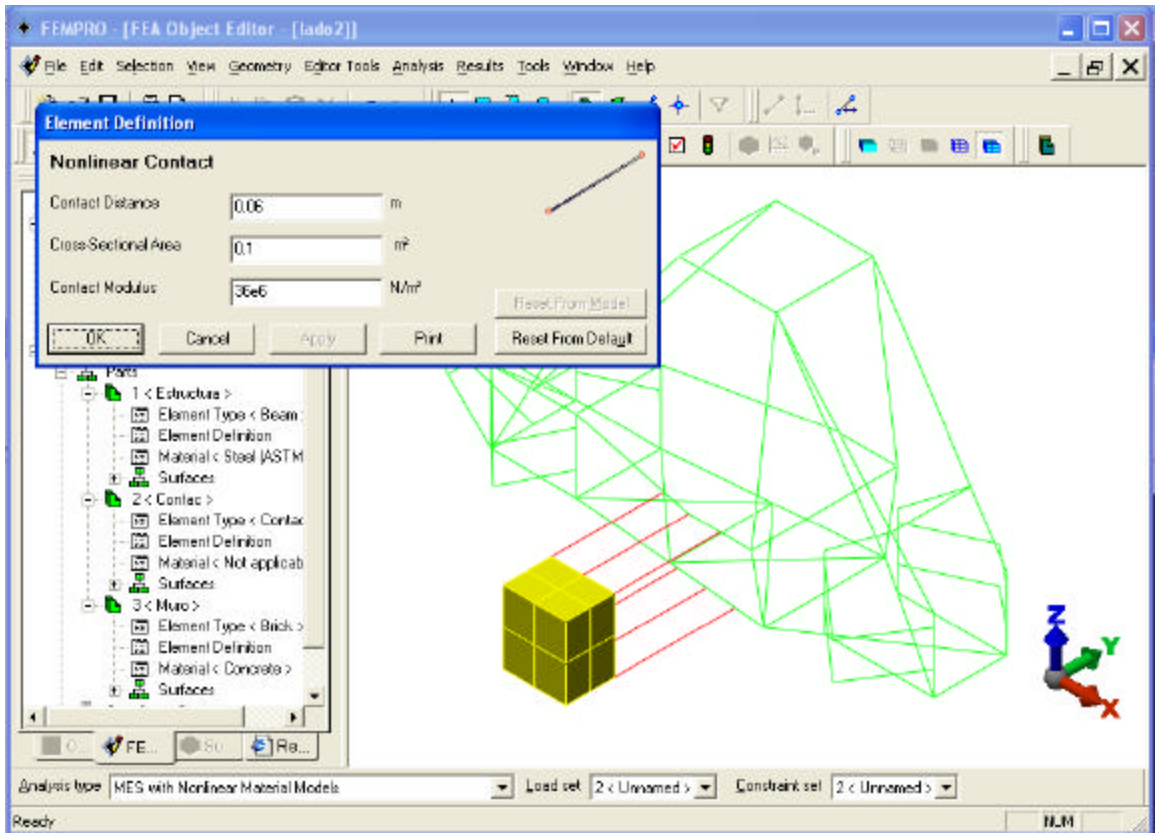

Figura 7. 6 Definición de las Características de las Líneas de Contacto.

Se especifican las propiedades del material incluyendo el módulo de Young, la razón de Poisson y el comportamiento isotrópico o anisotrópico y su comportamiento, que será no lineal en los casos de impacto, como se muestran en las Figuras 7.7 y 7.8.

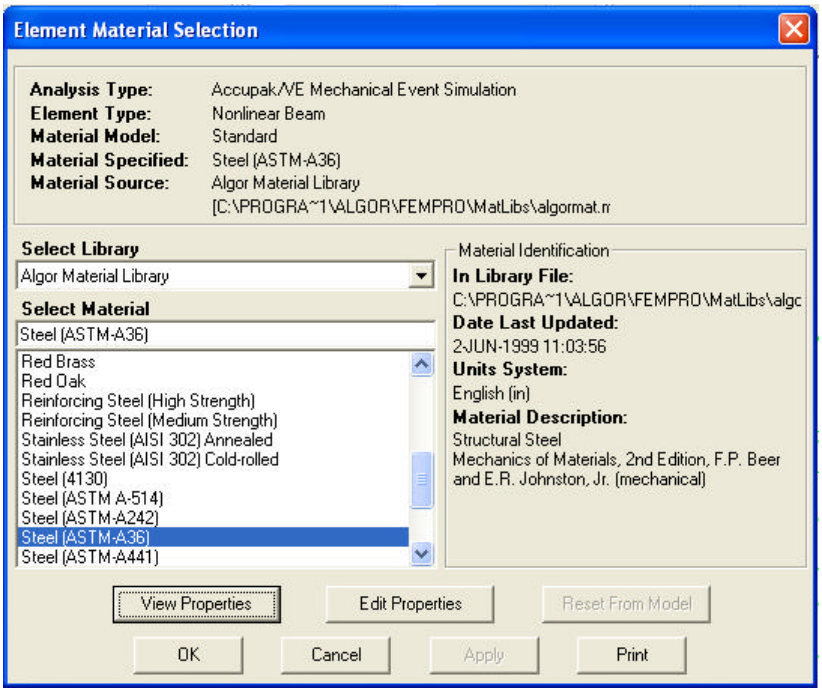

Figura 7. 7 Selección del Material.

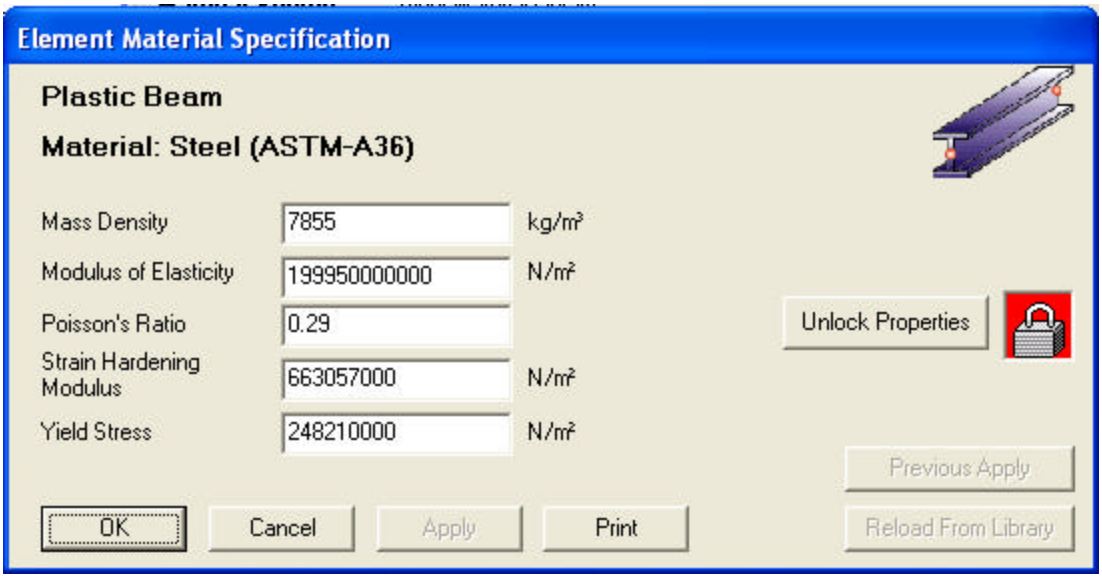

Figura 7. 8 Especificaciones del Material.

Se selecciona la duración del evento y los incrementos de tiempo deseados en

caso de simulación de impacto, al igual que se especifica la acción de la gravedad sobre el modelo, ver Figura 7.9.

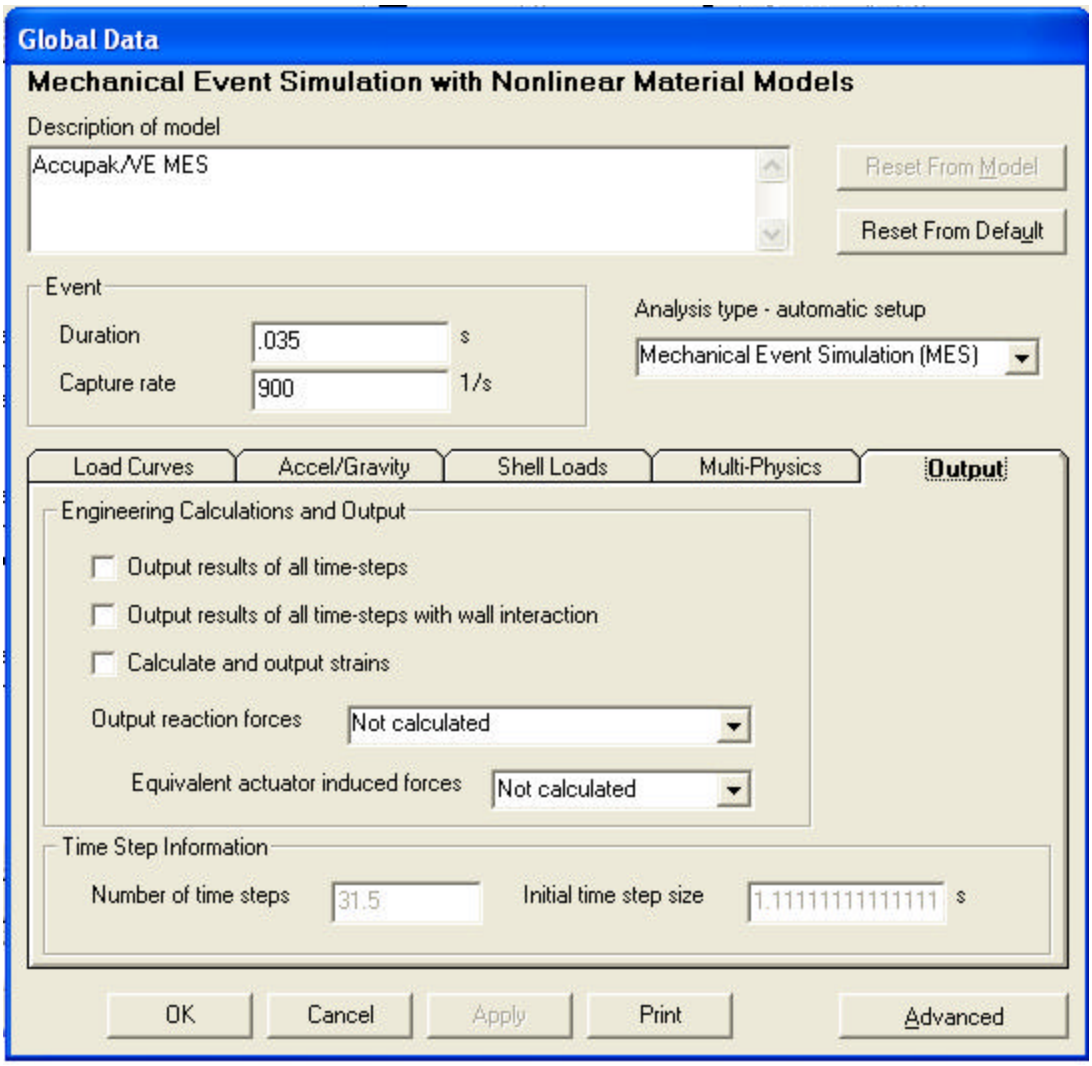

Figura 7. 9 Definición de los Parámetros del Evento.

Se especifican las condiciones de frontera, se genera el análisis interactivo, se producen las gráficas y las animaciones producto del análisis. Figura 7.10

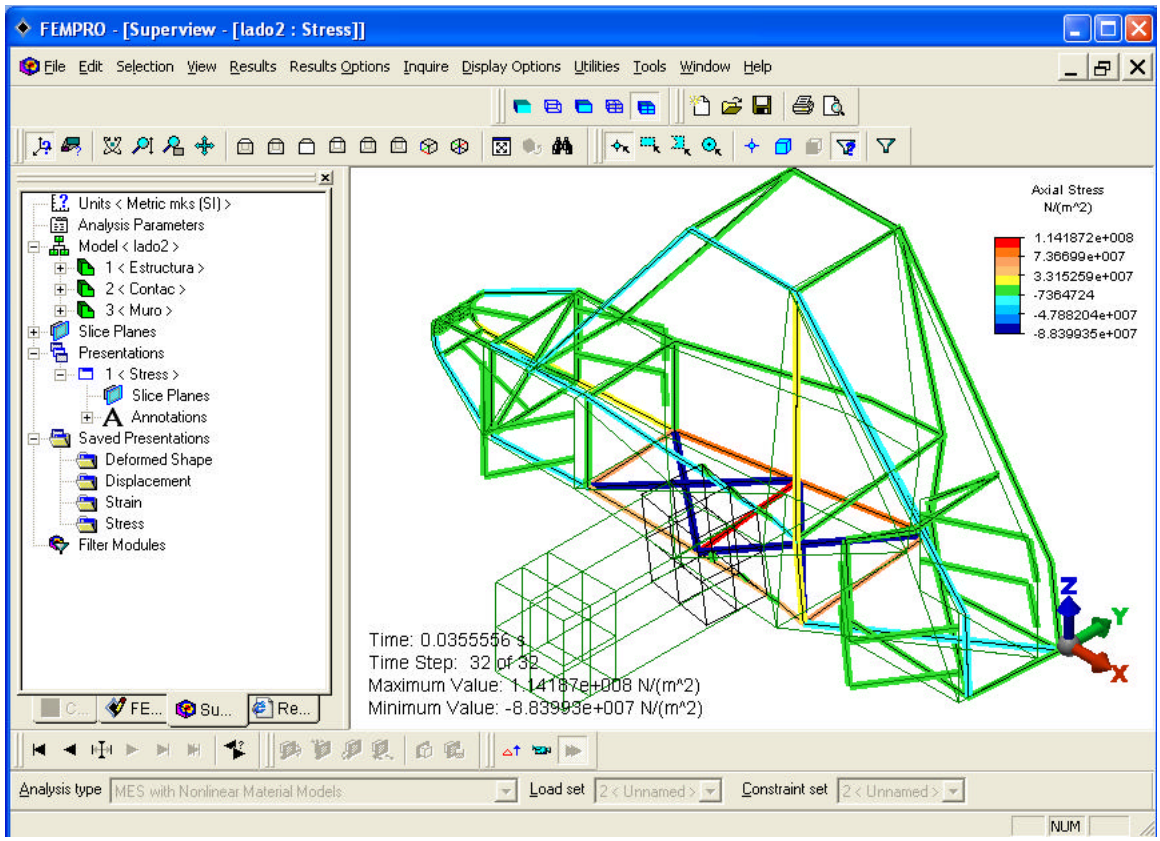

Figura 7. 10 Modelo con Después de un Impacto Lateral.

7.2.1 Análisis estático en la punta de impacto del auto Minibaja.

Se comenzará por un análisis estático que de una idea de las reacciones y distribuciones de fuerzas para seguir después con un análisis dinámico que incluya elementos no lineales.

El modelo inicial es una estructura de alambre con las dimensiones originales como se muestra en la Figura 7.11. Éste análisis estático servirá únicamente de referencia

para los análisis posteriores que requerirán mayor tiempo de procesado, se realizará el análisis para observar las diferencias entre una estructuras.

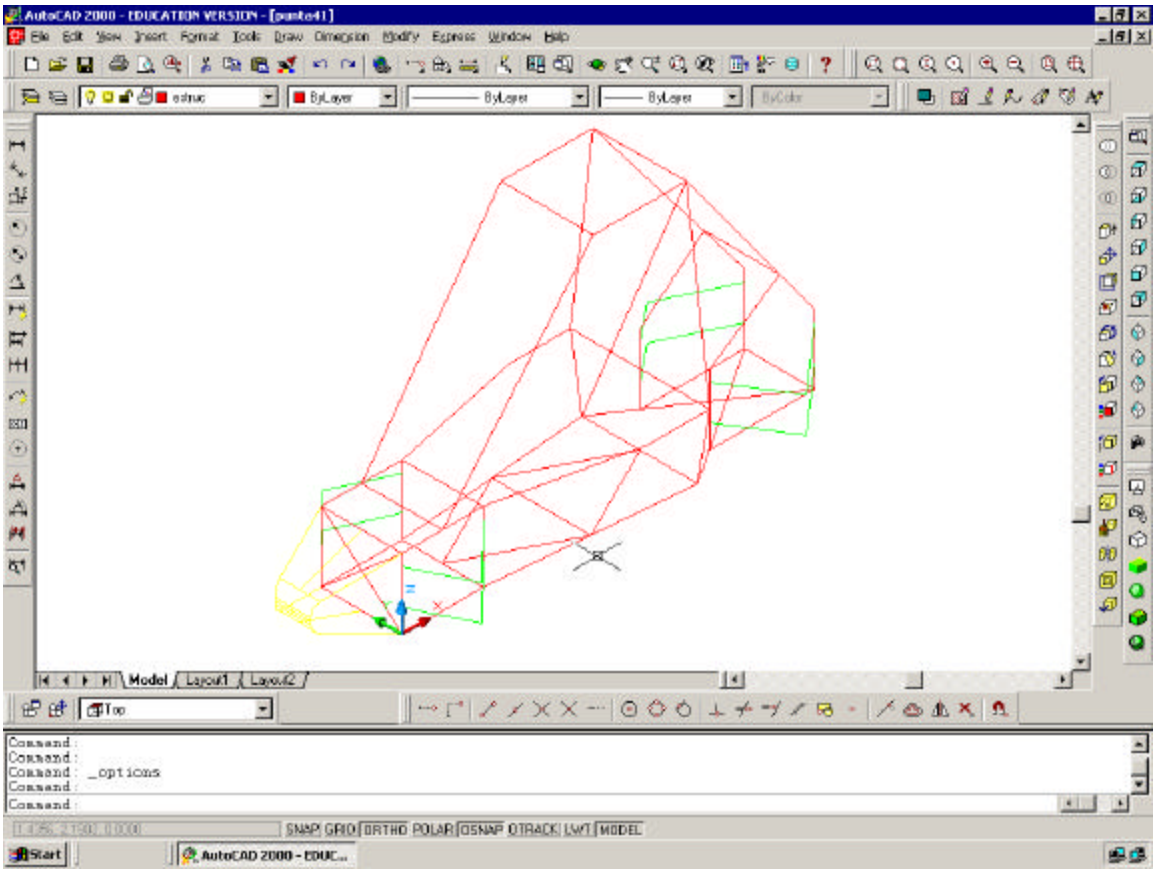

Figura 7. 11 Modelo del Auto Minibaja en Estructura de Alambre.

Las propiedades geométricas para el análisis estático se introducen en el subprograma Beam Design Editor, los valores de inercia, diámetros, momentos polares y área se calculan para cada una de las secciones. ver Figura 7.12.

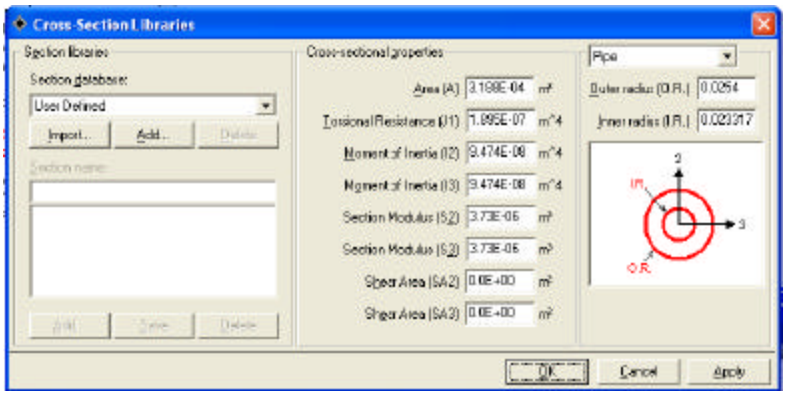

Figura 7. 12 Ingreso de las Propiedades Geométricas.

El modelo de alambre generado en el capítulo 6 es sometido a carga frontal estática sin punta de impacto en el primer evento ver Figura 7.13.

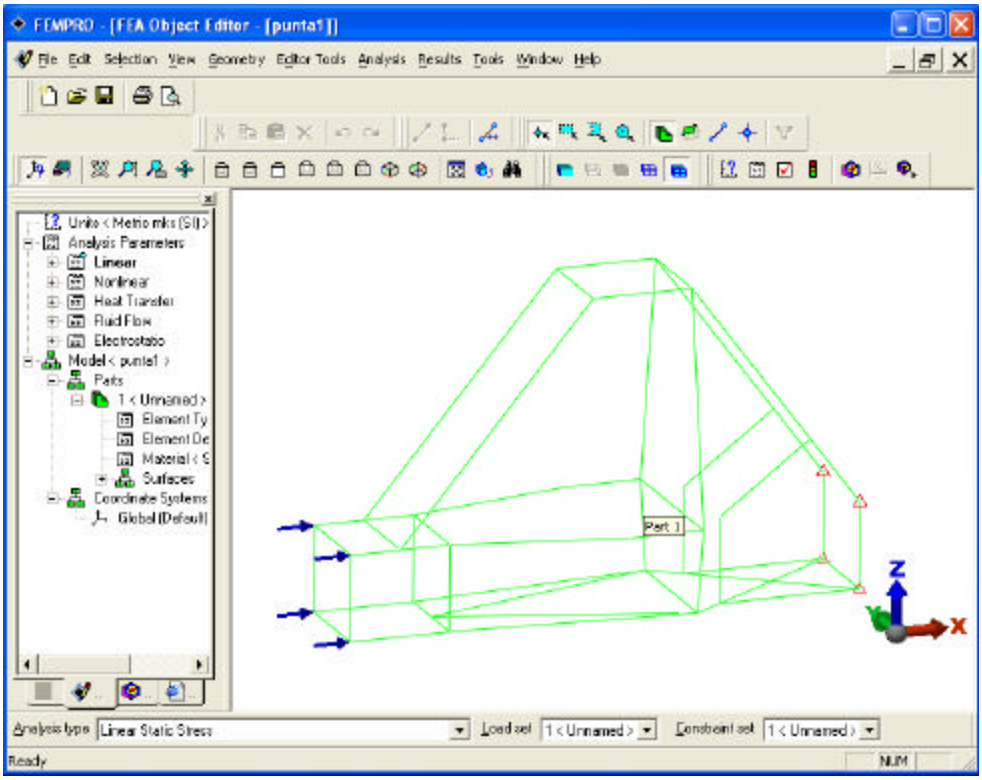

Figura 7. 13 Modelo Sometido a Cargas Estáticas.

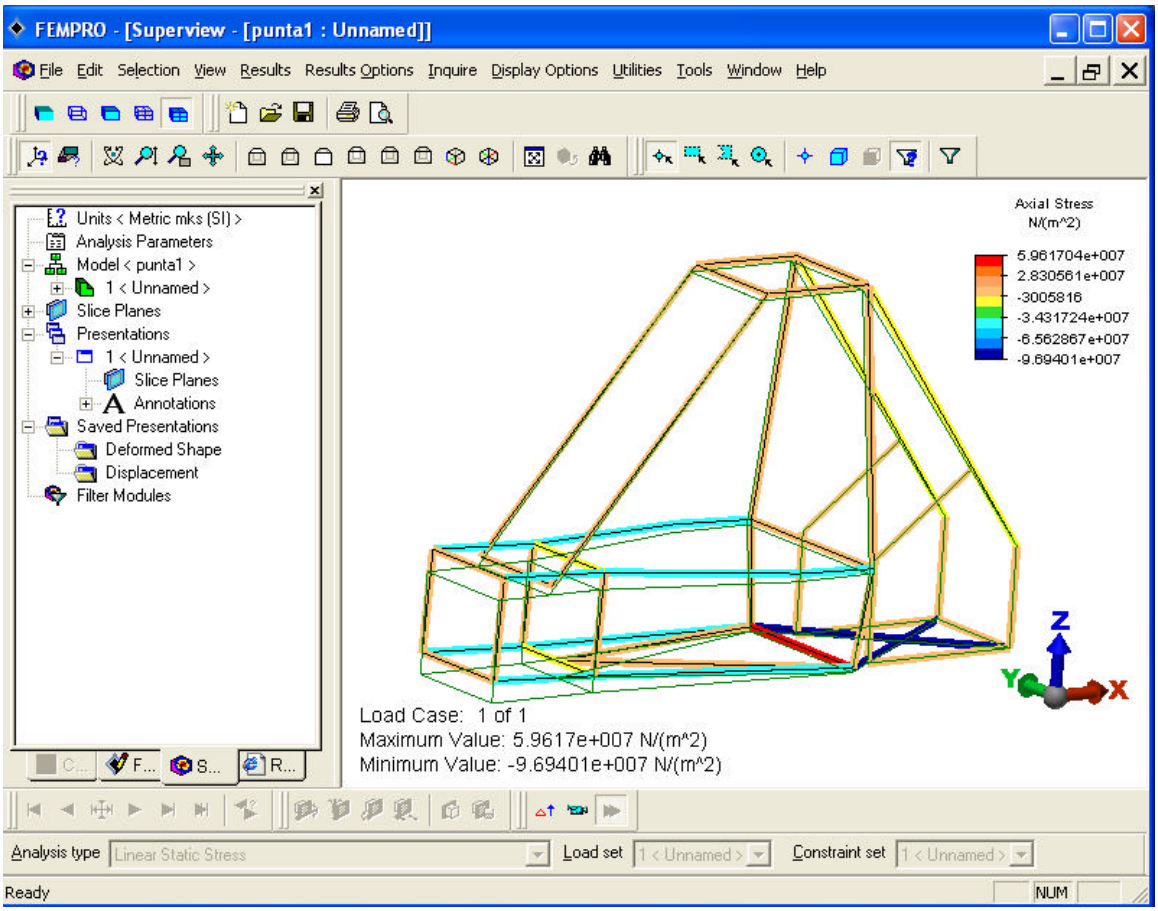

Figura 7. 14 Presencia de Esfuerzos Después de las Cargas Estáticas.

El material utilizado para éste análisis fue el Acero ASTM-A36, este es un material que se encuentra en las librerías de Algor y además comparte las características del material del auto original.

La Fuerza a la que se somete el auto en el análisis estático es de 15000 N Y es únicamente un valor simbólico, puesto que el interés de éste análisis se centra en el comportamiento general de la estructura, par con ello poder diseñar una punta de impacto capaz de corregir los excesos de esfuerzos dentro de la estructura.

El método de los elementos finitos de análisis ingenieríl es relativamente nuevo, ya que sus inicios han servido para realizar mejores diseño, pero la utilidad de éste tipo de sofware no ha sido explotada al 100% ya que existen infinidad de procesos y análisis para los que se puede emplear éste método.

Las ventajas de éste tipo de análisis es que con un solo evento podemos obtener diferentes resultados como se muestran en las siguientes Figuras, por ejemplo; en la Figura 7.15 se obtuvo el Bending Stress respecto al eje local 2, en la Figura 7.16 esta presentado el Bending Stress, pero ahora con respecto al eje local 3 y por último en la Figura 7.17 podemos observar el Worst Stress que sufre la estructura.

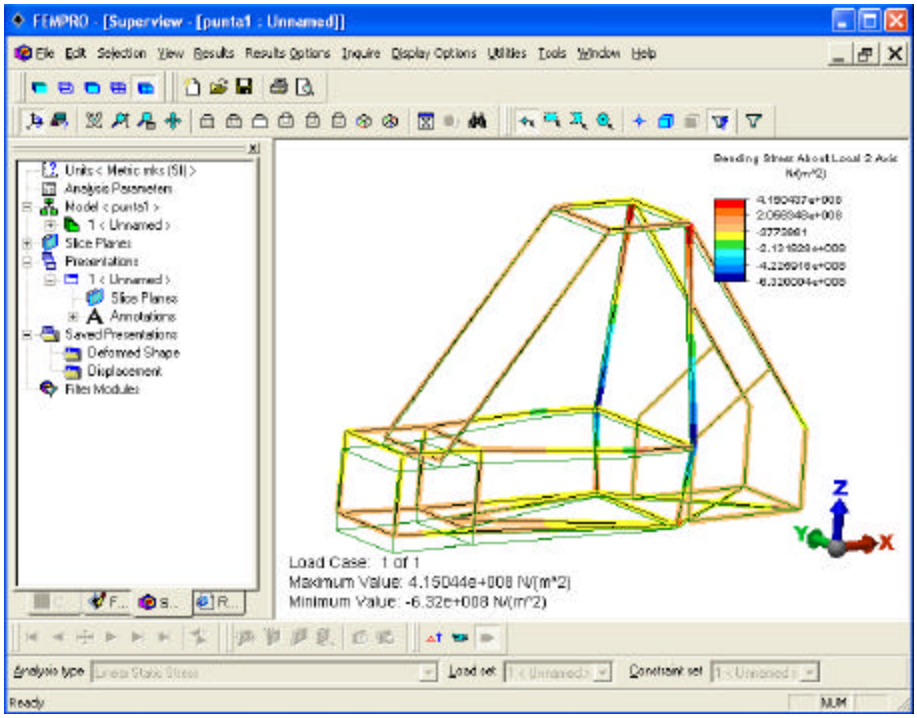

Figura 7. 15 Modelo que Presenta Bending Stress Respecto al Eje Local 2.

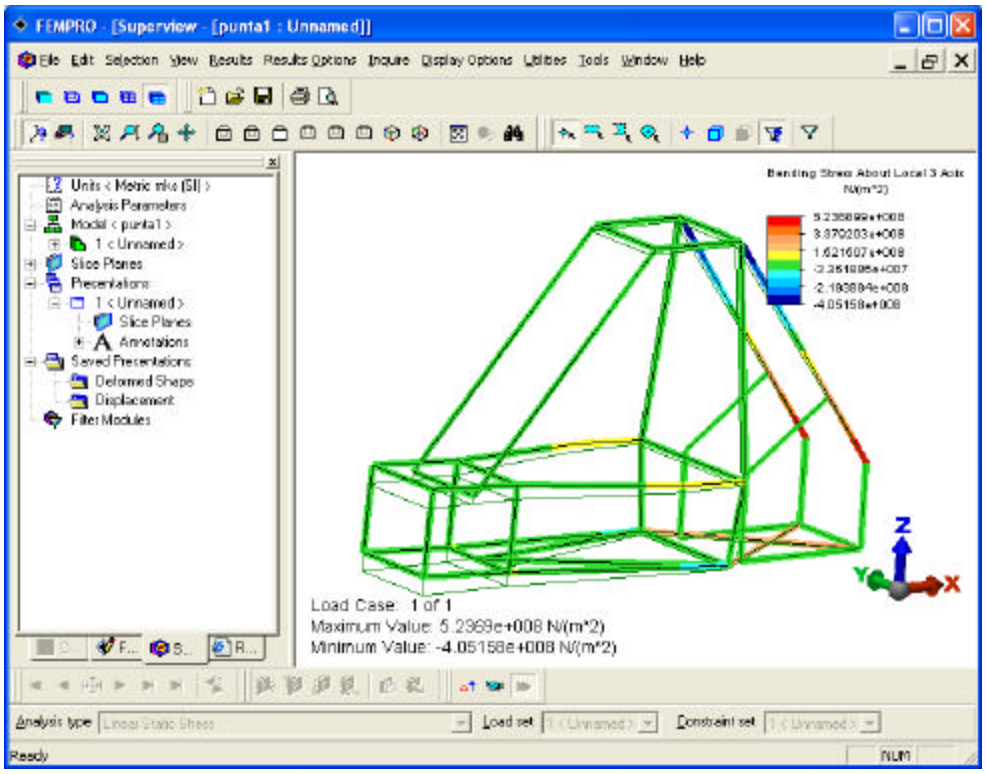

Figura 7. 16 Modelo que Presenta Bending Stress Respecto al Eje Local 3.

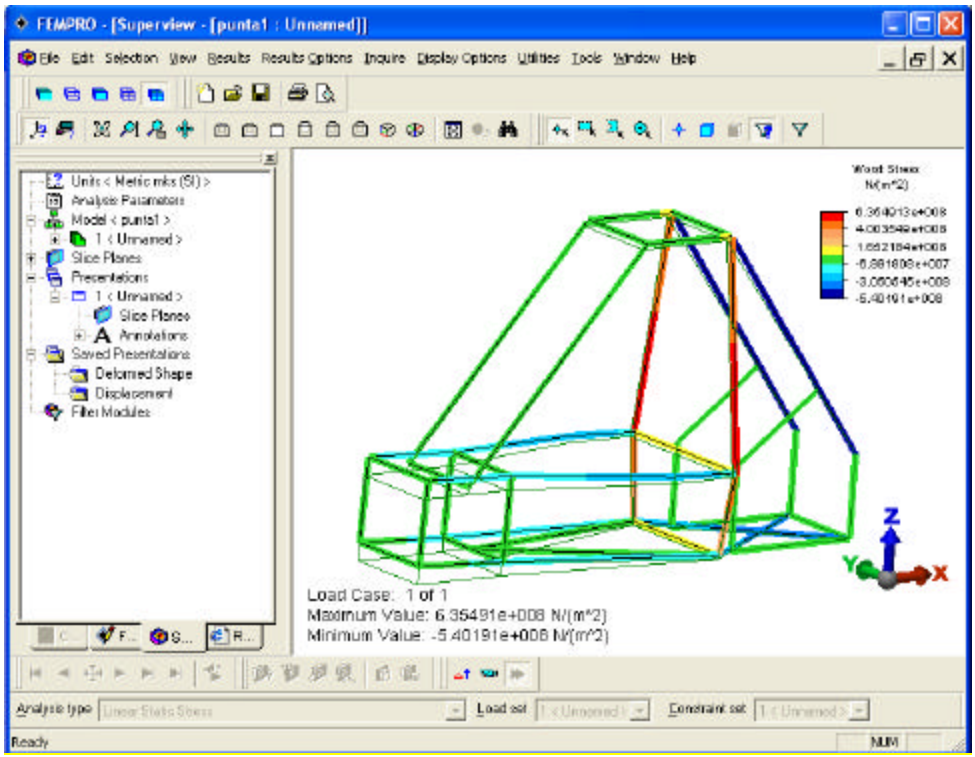

Figura 7. 17 Modelo que Presenta el Peor Esfuerzo.

Las Figuras 7.15, 7.16, y 7.17 muestran los diferentes datos que podemos obtener con un solo evento estático, la representación en vista isométrica que se hizo solo nos muestra datos que nos servirán para ver los puntos críticos en el auto.

La mayor concentración de esfuerzos se encuentra en las uniones que están cerca de donde se encontrará la punta de impacto, incluso esas uniones se desoldan y en la base de la cabecera del soporte. Con los datos obtenidos hasta el momento no podemos decir que la cabina mantiene la seguridad e integridad del piloto. Es importante recalcar que las deformaciones mostradas de las Figuras 7.14 a la 7.17 no son las deformaciones que esperamos, ya que debemos esperar buenos resultados con un análisis dinámico.

A pesar de que los valores de esfuerzo en la zona de aplicación de la fuerza superan el límite de esfuerzo de cedencia del material como se muestra en la siguiente tabla:

Número y de Descripción de las Figuras	**Valor Máximo del Esfuerzo en el Evento Estático N/(m^2)**	**Valor del Módulo de Elasticidad del Material N/(m^2)**	**Valor Permisible del Esfuerzo de Cedencia del Material N/(m^2)**
Figura 7.12 "Axial Stress"	5.961709 E7	19.995000 E10	2.48210000 E8
Figura 7.13 "Bending Stress About Local 2 Axis"	4.150437 E8	19.995000 E10	2.48210000 E8
Figura 7.14 "Bending Stress About Local 3 Axis"	5.236899 E8	19.995000 E10	2.48210000 E8
Figura 7.15 "worst Stress	6.354913 E8	19.995000 E10	2.48210000 E8

Los esfuerzos presentados van desde 5.961709 E7 Pa llegando a 6.354913 E8 Pa, debemos tomar en cuenta que el material no se comporta como no lineal ni se ve afectado por deformaciones permanentes ni ruptura del material, sino solo la desunión de los componentes y por el contrario en un evento dinámico encontramos endurecimiento por deformación, deformación permanente entre otras características, por lo cual el anterior

análisis encontramos limitaciones de éste método de resolución tan básico, al mismo tiempo que los recursos demandados al sistema son muy pocos, y la realización de este primer evento de simulación solo nos permite reafirmar los comentarios antes hechos.

Con esto podemos concluir que los resultados de éste análisis no son confiables y se debe a esfuerzos localizados, producto de las 4 fuerzas puntuales puestas sobre la base para la punta de impacto. Sin embargo el objetivo de este análisis se cumplió y se puede concluir que es necesario poner especial atención a la punta de impacto en especial a la zona superior para futuros análisis, con lo cual se diseñaran diferentes puntas para lograr una disminución de esfuerzos localizados, pero sobre todo que las deformaciones que se presenten en la estructura no pongan en peligro la integridad del piloto en ningún momento.

7.2.2 Análisis estático en la parte lateral del auto Minibaja.

Al igual que en el análisis estático anterior, éste proceso se realizará para tener una idea de las reacciones y distribuciones de fuerzas para seguir después con un análisis dinámico que incluya elementos no lineales, y cabe mencionar que para realizar los análisis prudentes, se siguieron los mismos procesos de diseño, modelado en el Beam Desig Editor, al igual que procesos de condiciones de frontera y aplicaciones de las fuerzas, que para este caso también se aplicarán fuerzas de 15000 N para ver el comportamiento general de la estructura del auto y así corregir la posible aparición de excesos de

esfuerzos.

El material utilizado para éste análisis fue el Acero ASTM-A36, este es un material que se encuentra en las librerías de Algor y además comparte las características del material del auto original.

El comportamiento de la estructura y los esfuerzos de dicha estructura se presentan en las siguientes Figuras:

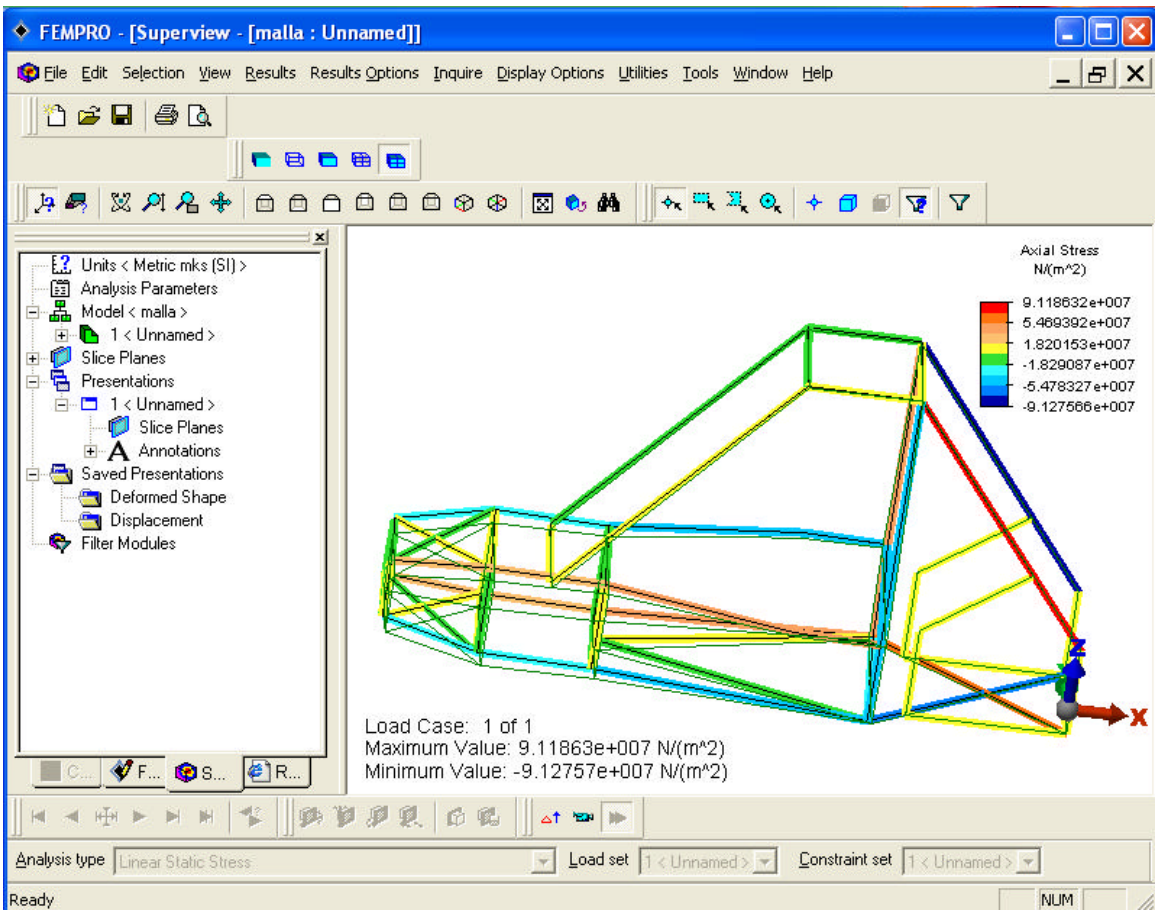

Figura 7. 18 Esfuerzo Axial en el Primer Diseño de la Punta de Impacto.

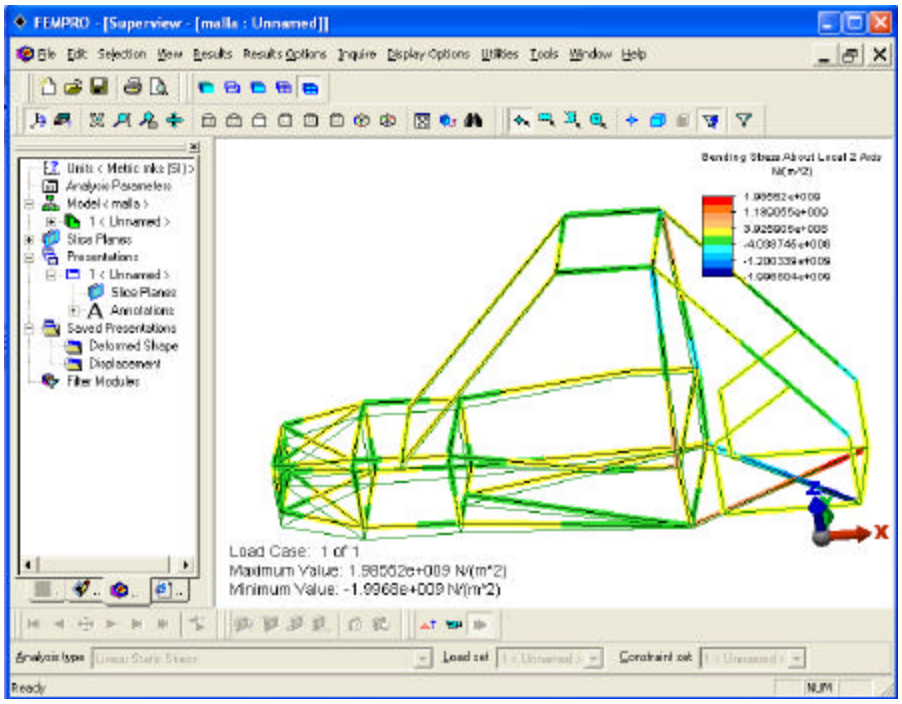

Figura 7. 19 Esfuerzo en la Primera Punta de Impacto, Respecto al Eje Local 2.

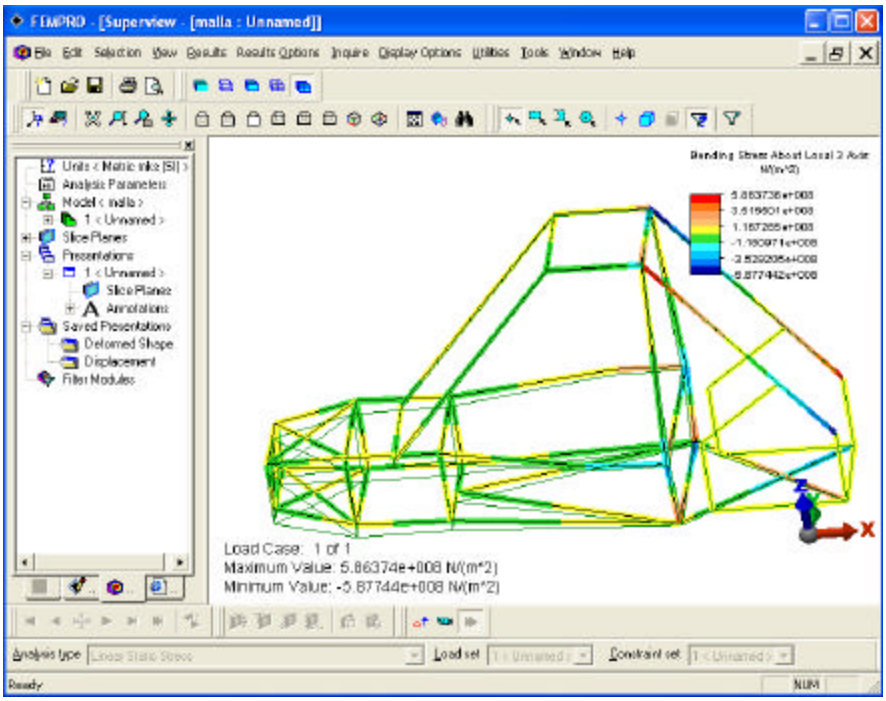

Figura 7. 20 Esfuerzo en la Primera Punta de Impacto, Respecto al Eje Local 3.

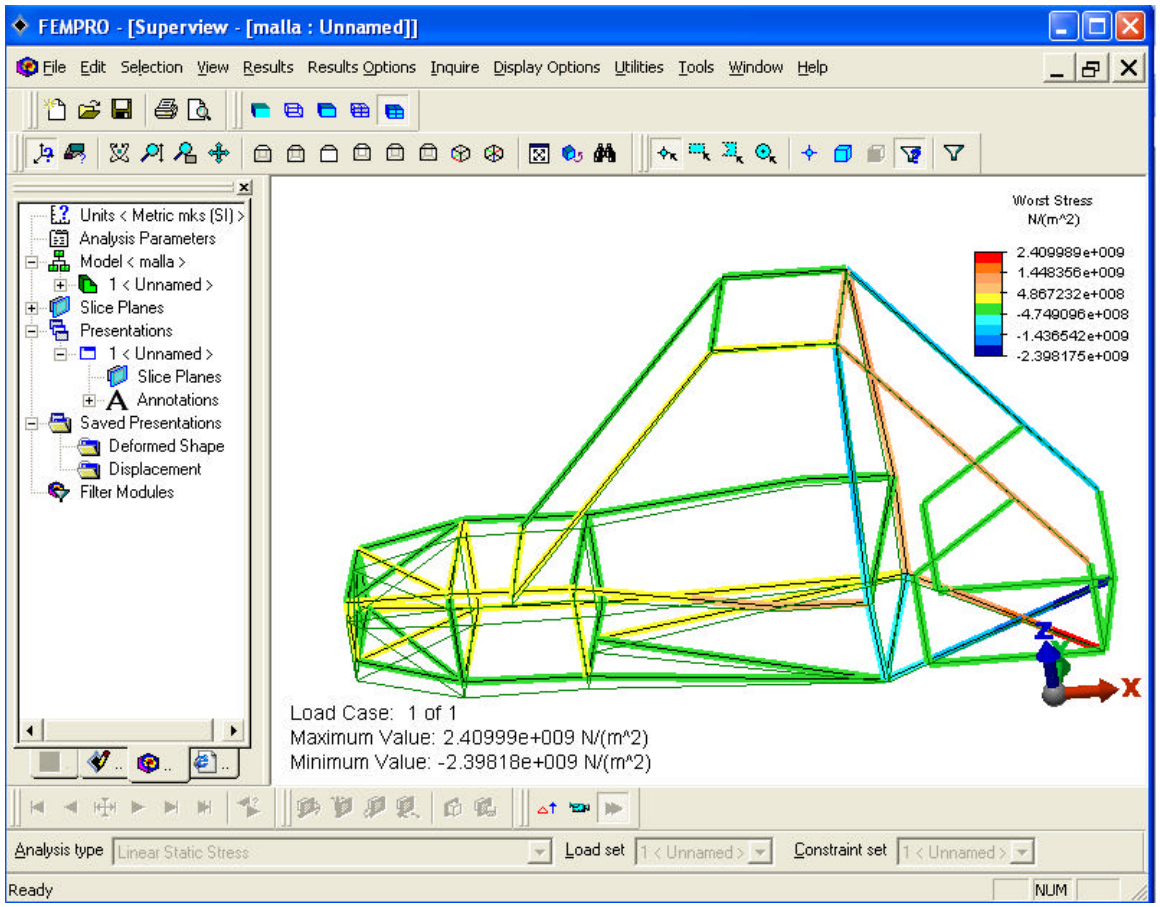

Figura 7. 21 Presencia del Peor Esfuerzo en la Primera Punta de Impacto.

La mayor concentración de esfuerzos se encuentra en las uniones superiores de la cabecera del piloto, al igual que en los tubos que sirven de unión entre el soporte del motor y la cabecera, también existe mayor presencia de esfuerzos en los tubos de soporte lateral, cabe hacer la apreciación del desplazamiento que sufre la estructura después de la aplicación de las fuerzas. Con los datos obtenidos hasta el momento no podemos decir que la cabina mantiene la seguridad e integridad del piloto.

Es importante recalcar que las deformaciones mostradas de las Figuras 7.18 a 7.21 no son las deformaciones que esperamos, ya que debemos esperar buenos resultados con

un análisis dinámico.

Algunos de los valores de esfuerzo en la zona de aplicación de la fuerza superan el límite de esfuerzo de cedencia del material como se muestra en la siguiente tabla:

Número y de Descripción de las Figuras	**Valor Máximo del Esfuerzo en el Evento Estático N/(m^2)**	**Valor del Módulo de Elasticidad del Material N/(m^2)**	**Valor Permisible del Esfuerzo de Cedencia del Material N/(m^2)**
Figura 7.16 "Axial Stress"	9.118632 E7	19.995000 E10	2.48210000 E8
Figura 7.17 "Bending Stress About Local 2 Axis"	1.98552 E9	19.995000 E10	2.48210000 E8
Figura 7.18 "Bending Stress About Local 3 Axis"	5.863736 E8	19.995000 E10	2.48210000 E8
Figura 7.19 "worst Stress	2.409989 E9	19.995000 E10	2.48210000 E8

Los esfuerzos presentados van desde 9.118632 E7 Pa llegando a 2.409989 E9 Pa, debemos tomar en cuenta que el material no se comporta como no lineal ni se ve afectado por deformaciones permanentes ni ruptura del material, sino solo la desunión de los componentes y por el contrario en un evento dinámico encontramos endurecimiento por deformación, deformación permanente entre otras características.

Con esto podemos concluir que los resultados de éste análisis no son confiables y se debe a esfuerzos localizados, producto de las 3 fuerzas puntuales puestas sobre los tubos de soporte de los componente laterales. Sin embargo el objetivo de este análisis se cumplió y se puede concluir que es necesario poner especial atención en la distribución de los esfuerzos, con lo cual se diseñaran diferentes arreglos estructurales para la disminución y mejor distribución de los esfuerzos localizados.

Una vez concluido este análisis estático, podemos efectuar el siguiente análisis, que será el dinámico.

7.3 Descripción de los Análisis Frontales y Laterales.

Para los siguientes análisis, se empleará el modelo completo del auto Minibaja, ya que se incluirán diferentes puntas de impacto al igual que diferentes diseños para los impactos laterales Figuras 7.22 y 7.23

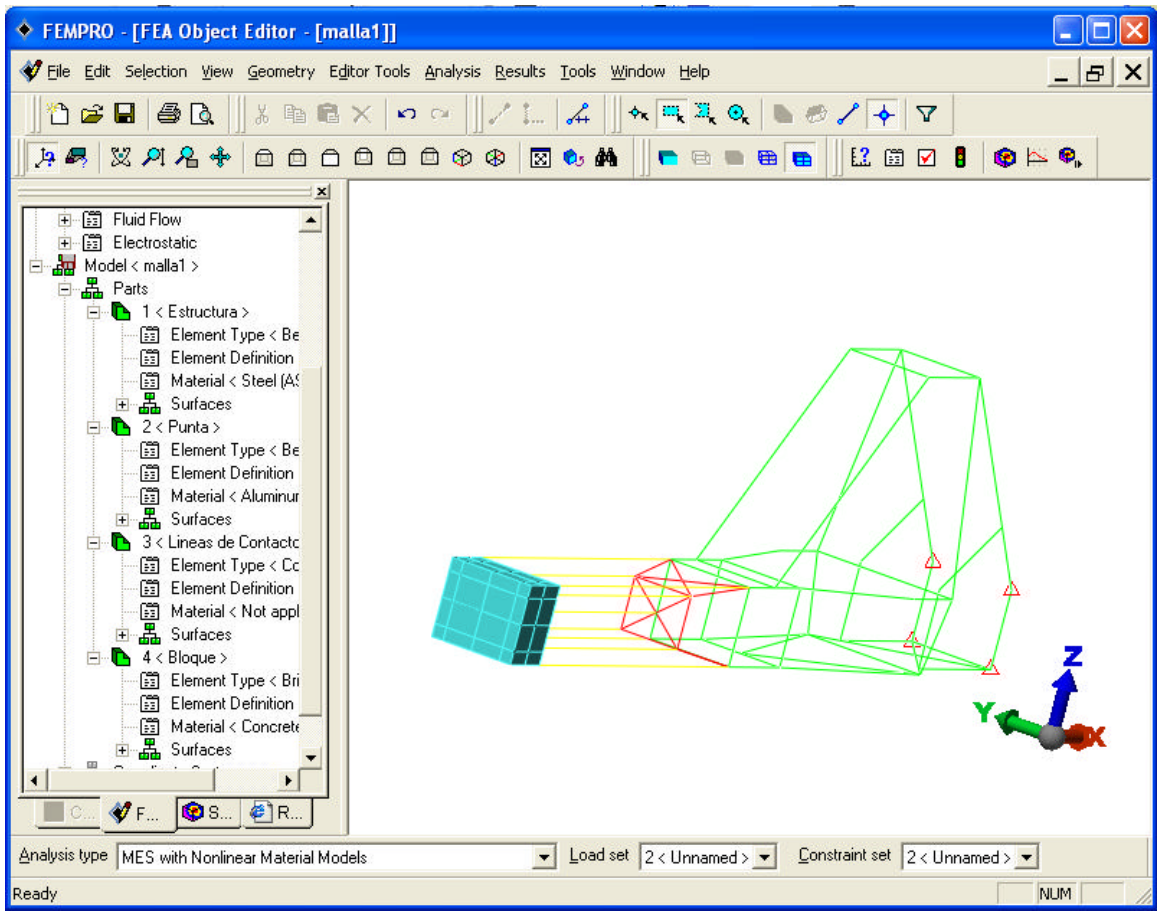

Figura 7. 22 Modelo de Impacto Frontal.

Para el análisis de impacto frontal debemos poner especial atención en la reducción de los esfuerzos, y tomando en consideración el comportamiento del evento estático (ver Figuras de 7.13 a 7.17), podemos observar como existen mayor concentración de esfuerzos en la parte superior de la base de la punta de impacto, que en la inferior.

Todos los diseños de las puntas de impacto estarán encaminados a la reducción de los esfuerzos concentrados, al igual que en las deformaciones de la punta y la estructura del automóvil, pero sin llegar a que alguna de ellas ponga en riesgo la integridad del

piloto.

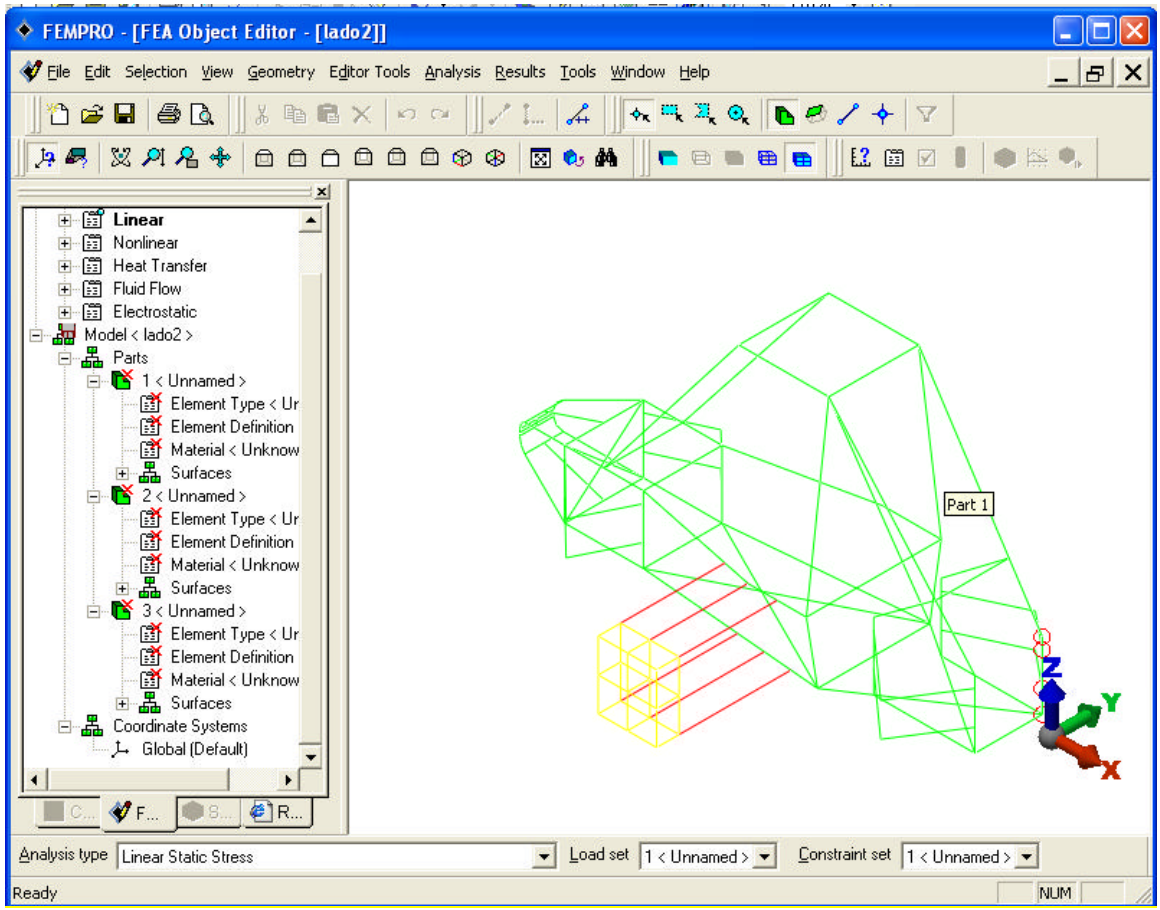

Figura 7. 23 Modelo para el Impacto Lateral.

Para el evento de impacto frontal se diseñarán diferentes arreglos en el acomodo de los tubos, encaminados a la estructura tenga mayor rigidez y mejor absorción y propagación de los esfuerzos y tratar de disminuir la deformación de la estructura que a diferencia del evento de impacto frontal, el piloto esta expuesto en mayor nivel a los efectos de la velocidad en el impacto.

7.4 Desarrollo de los Análisis Dinámicos de Simulación de Impacto del Modelo Estructural del Auto Minibaja.

En los siguientes análisis de describirá los grupos que componen el modelo del auto, las propiedades y características del auto Minibaja. Es un análisis que arrojará resultados precisos de manera del modelo real. Esto permite observar las deformaciones y comportamiento general de la estructura.

A continuación se presenta el sumario generado en Algor donde especifica todas las características del análisis.

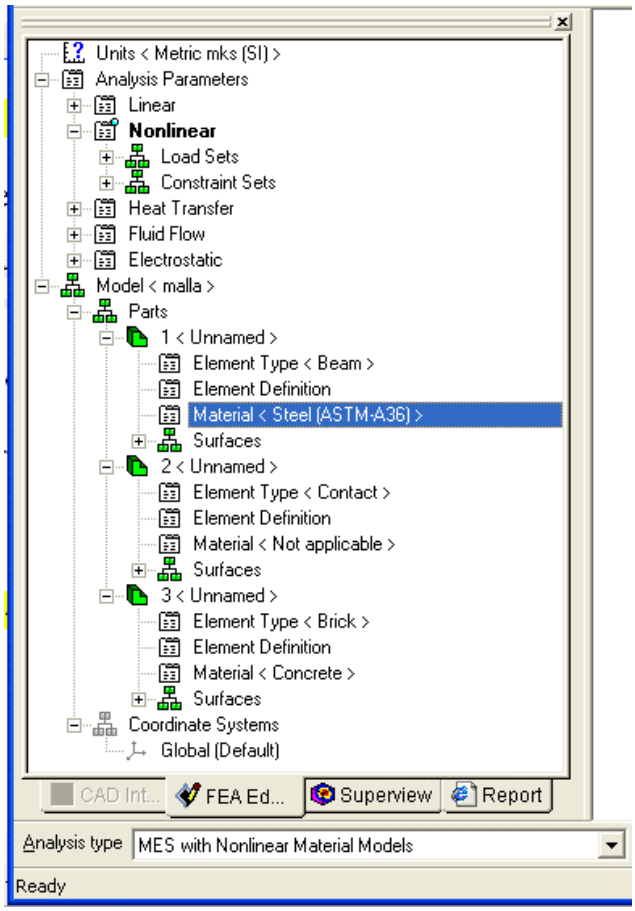

Figura 7. 24 Árbol para la definición de las características del evento.

El tipo de análisis es de arreglo estructural con un comportamiento de cada elemento como viga, sin embargo, a diferencia del primer análisis de la estructura en forma estática, éste análisis incluye las propiedades del material cuando se deforma en la zona plástica, es decir propiedades no lineales.

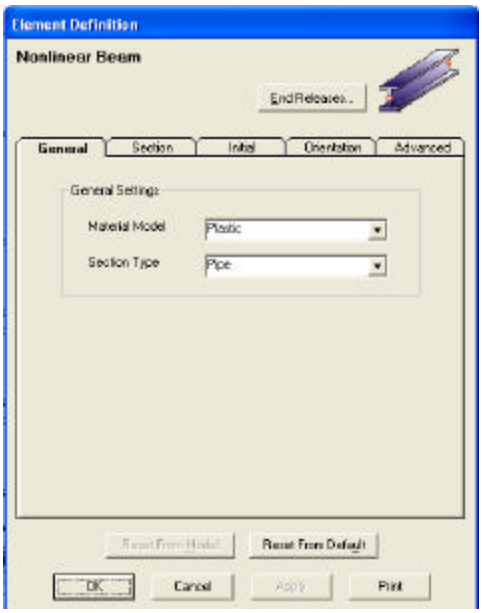

Figura 7. 25 Definición de las propiedades de cada elemento.

Otra enorme diferencia entre éste análisis y los anteriores es la magnitud de las fuerzas. El presente análisis sufrirá esfuerzos internos y deformaciones producto del cálculo del cambio de aceleración respecto al tiempo y la inercia del vehículo. Es decir, se trata de un análisis de simulación de eventos donde no es necesario aplicar ninguna carga localizada, ya que para cada elemento se definirán las condiciones iniciales y si alguno de ellos presenta alguna velocidad.

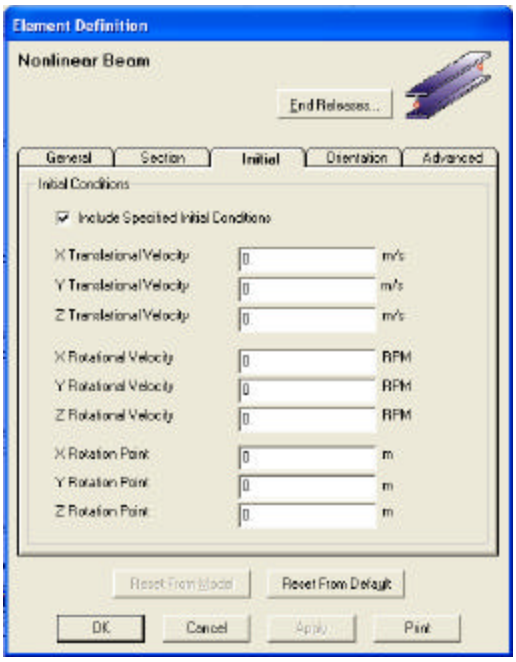

Figura 7. 26 Especificaciones de las condiciones iniciales de cada elemento.

Esto significa que no es necesario asumir ni calcular los valores de las magnitudes de las cargas, puesto que el programa se encarga de formular y resolver respecto a la velocidad, propiedades del material y la inercia.

Para analizar de forma detallada fue necesario completar el modelo con cuatro elementos que se describen a continuación.

El elemento del grupo 1 es una estructura tubular que conforma la cabecera de las barras antivuelco, la cabina del vehículo y el arreglo que soporta el motor. El arreglo estructural está modelado en barras de tubería dinámica capaz de soportar un análisis dinámico de tipo no lineal con deformaciones plásticas. El diámetro exterior del tubo es de 0.0254 m y el interior es de 0.0233172 m. Las condiciones iniciales de este elemento

no incluyen una velocidad inicial, ya que los análisis se modelarán de tal forma que el elemento dinámico será el bloque de impacto y las restricciones de movimiento serán en la parte posterior del arreglo, es decir en la parte de soporte del motor. Las características del material están especificadas por las librerías de Algor y se trata del acero ASTM-A36 con una densidad del material de 7855 kg/m^3, un módulo de elasticidad de 199950000000 N/m^2, una razón de poisson de 0.29. Este material sufre modificaciones en sus propiedades de resistencia a medida que las deformaciones dejan de ser elásticas. El endurecimiento que este material sufre debido a deformaciones plásticas y a los esfuerzos del material se ven reflejados en el coeficiente de endurecimiento de deformación, con un valor de 663057000 N/m2. E1 valor máximo del esfuerzo de cedencia del material es de 248210000 N/m2.

El segundo elemento está conformado por la punta de impacto. Al igual que el grupo número 1, está modelado con una estructura con comportamiento de vigas dinámicas con deformación plástica. El diámetro exterior es de 0.0254 m y el interior es de 0.0233172 m. Ésta estructura está conectada a la estructura general por medio de las restricciones de desplazamiento. Las condiciones iniciales de este elemento no incluyen una velocidad inicial, ya que los análisis se modelarán de tal forma que el elemento dinámico será el bloque de impacto. Las características del material están especificadas por las librerías de Algor y se trata del Aluminio 6061-T6 con una densidad del material de 2703.8 kg/m^3, un módulo de elasticidad de 69637000000 N/m^2, una razón de Poisson de 0.36. Este material sufre modificaciones en sus propiedades de resistencia a medida que las deformaciones dejan de ser elásticas. El endurecimiento que este material sufre debido a deformaciones plásticas y a los esfuerzos del material se ven reflejados en el

coeficiente de endurecimiento de deformación, con un valor de 124178000 N/m2. E1 valor máximo del esfuerzo de cedencia del material es de 241320000 N/m2.

El tercer grupo está constituido por la pared de impacto. Dicha unidad está modelada en elemento de tipo bloque con características isotrópicas. Este elemento tiene la mayoría de sus características de resolución en los niveles más simples, ya que no aporta ningún tipo de información relevante. El tipo de material de este elemento es concreto. Se eligió este material por tener una mayor resistencia y menos deformación que el aluminio, y la velocidad de este elemento será de 16.67 m/s. Además de esto, las secciones de éste elemento son suficientes para resistir sin mayor problema los esfuerzos generados sin opacar los resultados del auto.

El cuarto grupo es un dispositivo conector encargado de indicar la trayectoria del auto y la localización del punto de impacto de la pared sobre la estructura. Dicho elemento es modelado como elemento de contacto general de tipo no lineal. Este elemento no necesita las mismas especificaciones que los tres anteriores. Lo único necesario de definir es el tipo no lineal, la distancia de contacto que sirve para impedir que una superficie de un grupo penetre otra superficie sin hacer contacto matemático y el área de contacto.

Una vez definidos los elementos que intervienen en el evento de colisión, es necesario agregar los parámetros globales del ejercicio. La duración del evento es un parámetro muy importante, ya que debe abarcar en su totalidad el suceso pero no debe excederse mucho ya que consumiría demasiado tiempo en el procesamiento. Para el

evento a analizar se coloca un valor de 0.09 s con una razón de captura de 1000 1/s. La razón de captura sirve para dividir el evento del suceso en diferenciales de tiempo y calcular el cambio de velocidad entre cada uno de ellos. A pesar de que una razón de tiempo que genere intervalos más pequeños es más exacta, depende también de las características del equipo de cómputo con las que se cuenta. La razón de captura seleccionada nos da unos incrementos de tiempo de tamaño 0.00125 s.

El tipo de evento es otro dato que debe agregarse en las consideraciones globales. Desde un inicio se definió como simulación de evento mecánico (MES) con materiales no lineales. Además de esto se le da la libertad al programa de cambiar el tamaño de los incrementos del tiempo en caso de ser necesario debido al contacto entre los cuerpos. Si el programa detectara que los detalles de los desplazamientos se pierden o se ven modificados debido a sucesos más pequeños que el incremento, inmediatamente se modifica el valor hasta obtener resultados confiables.

Una vez ingresados todos estos datos se puede obtener el análisis. Los resultados arrojan conocimiento muy interesante, por ejemplo: para el caso de impacto frontal tenemos una velocidad crucero de 16.67 m/s.

7.4.1 Desarrollo de los Análisis Dinámicos con el Diseño de la Primera Punta de Impacto.

En las siguientes imágenes se mostrarán la secuencia del evento de impacto para el primer diseño de la punta de impacto.

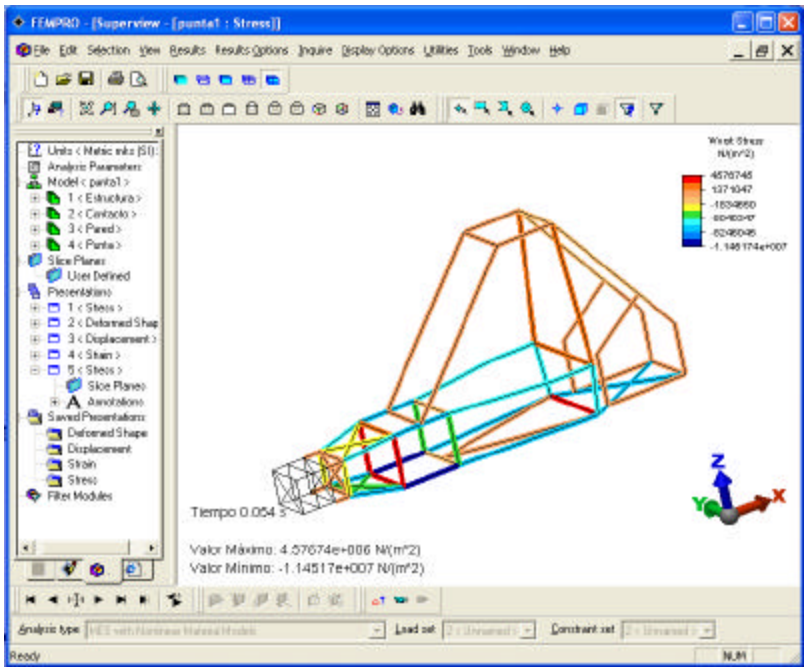

Figura 7. 27 Tiempo en el que el Bloque Hace Contacto con el Auto a los 0.054 s.

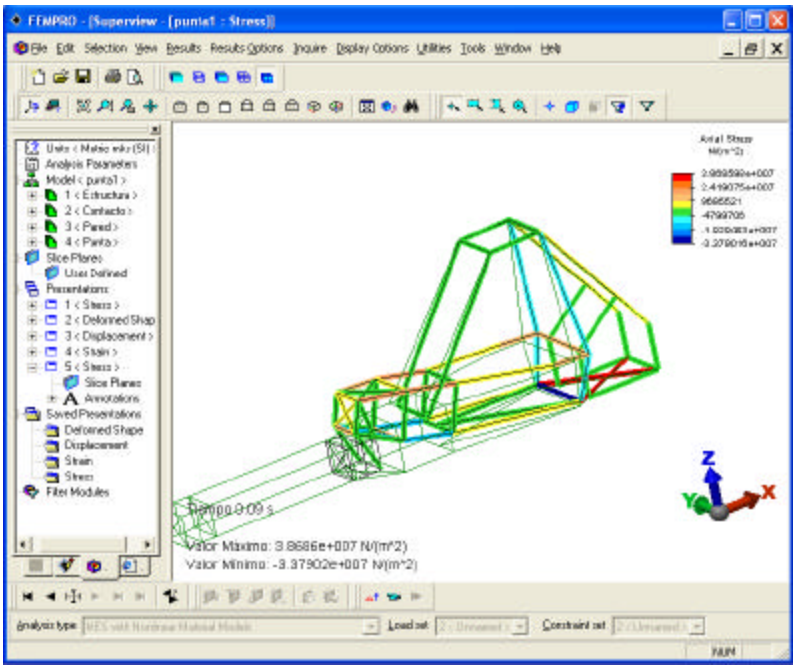

Figura 7. 28 Vista Isométrica del Esfuerzo Axial para la Primera Punta.

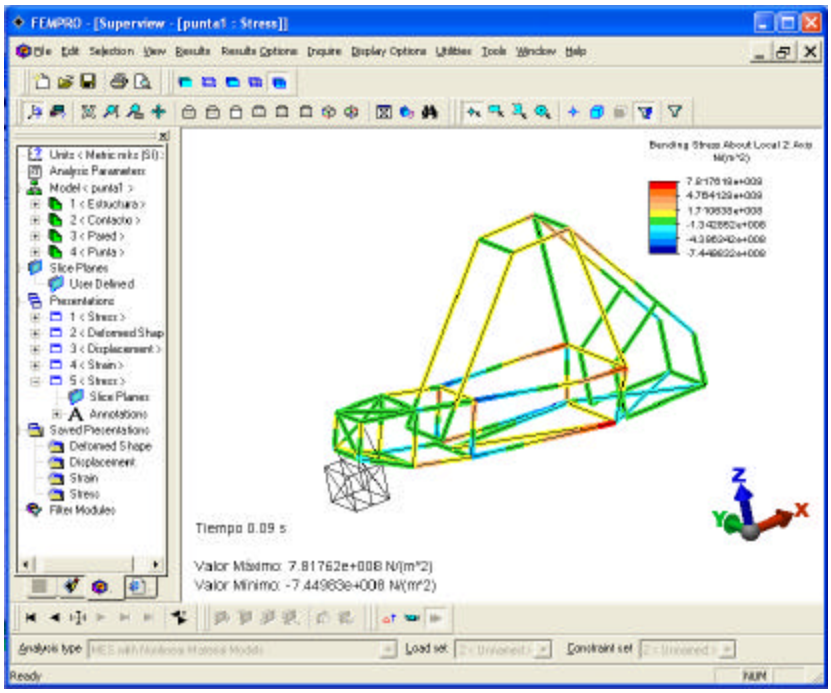

Figura 7. 29 Vista Isométrica del Esfuerzo de Flexión Sobre el Eje Local 2

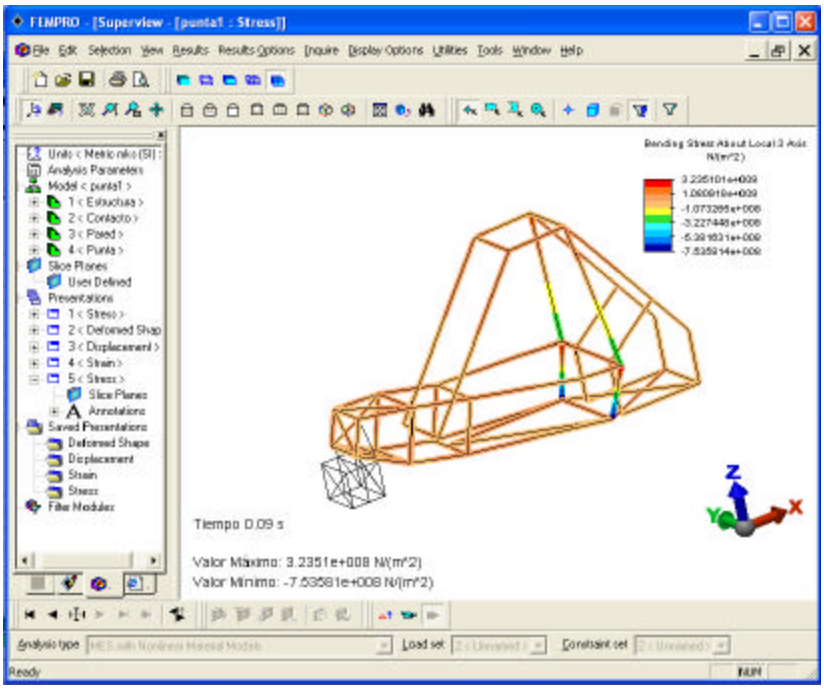

Figura 7. 30 Vista Isométrica del Esfuerzo de Flexión Sobre el Eje Local 3

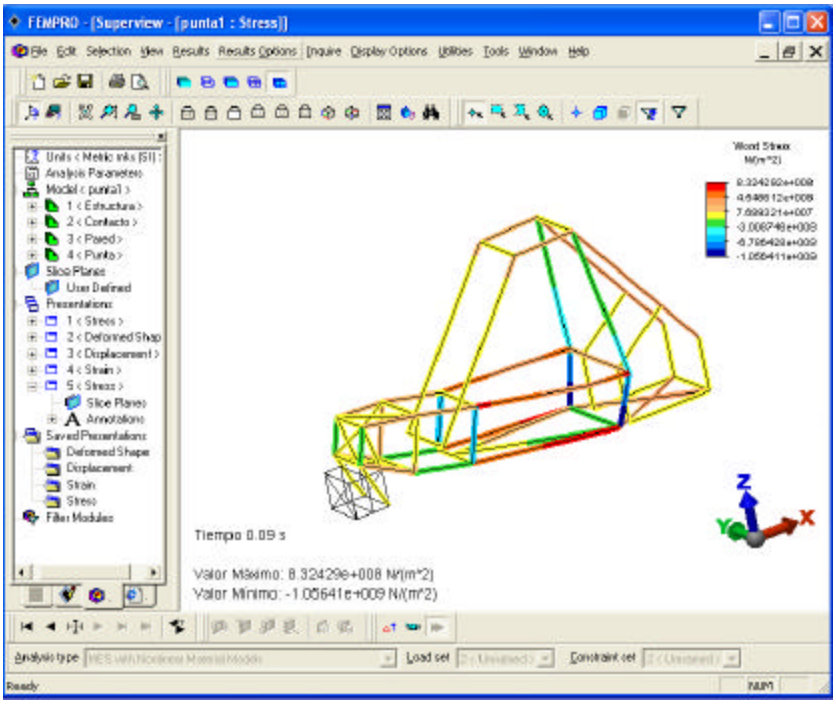

Figura 7. 31 Vista Isométrica del Peor Esfuerzo.

De la Figura 7.27 a la 7.31 se muestran los resultados de los diferentes esfuerzos que se generan debido al impacto del auto, al mismo tiempo que se observan las deformaciones sufridas por la estructura.

La Figura 7.27 muestra la vista isométrica de la punta de impacto en el momento justo cuando toca la pared de impacto. A pesar de que los esfuerzos son elevados, toda la estructura se mantiene en el rango elástico, a excepción de la zona de contacto, que es la parte frontal central de la punta de impacto y el soporte de la misma. Los esfuerzos localizados en estas zonas aun no sobrepasan el límite de cedencia, y tampoco se presentan las deformaciones debido a la velocidad de bloque de impacto.

Conforme el tiempo transcurre, las deformaciones comienzan a manifestarse y los valores de los esfuerzos también aumentan en magnitud. La Figura 7.32 muestra el impacto unos instantes después del contacto inicial apenas han transcurrido 0.0025 s desde el impacto y los esfuerzos se elevaron hasta 7.03241E8 Pa.

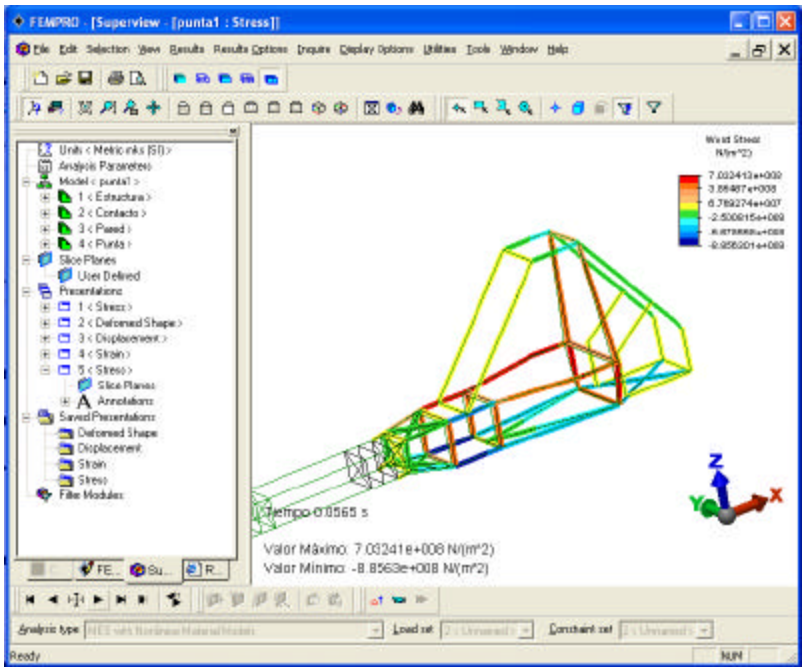

Figura 7. 32 Deformaciones después de 0.0025 s después del impacto.

Es importante tomar en cuenta de que a pesar de que los esfuerzos se encuentran presentes en la estructura, la deformación generada por estos se manifiesta a medida que el material se va alterando, lo cual toma tiempo. El proceso de endurecimiento por deformación también aumenta la resistencia del material.

A lo largo de las Figuras anteriores se puede observar el progreso de los esfuerzos y deformaciones en cada uno de los miembros que componen la estructura del automóvil.

Es importante destacar que los enormes esfuerzos generados por la colisión, la estructura que conforma la cabina, sufre grandes deformaciones y sobre todo se llega a la ruptura de la estructura, incluso sufre pandeo localizado. Por otro lado, la punta de impacto sufre deformaciones permanentes comenzando en la parte superior de la misma y

extendiéndose en los brazos que la conforman. La mayor concentración de esfuerzos se encuentra en la parte superior de la punta de impacto, oscilando entre esfuerzos por encima y por debajo del límite de cedencia.

Debido a las enormes deformaciones en la punta, el comportamiento general del no es seguro para el piloto, ya que no cumple con el objetivo para el cual fue diseñada, que es salvaguarda la integridad del piloto, por otra parte cabe mencionar que como la punta de impacto no es la adecuada la estructura sufre deformaciones permanentes, mismas que originan la ruptura de la estructura.

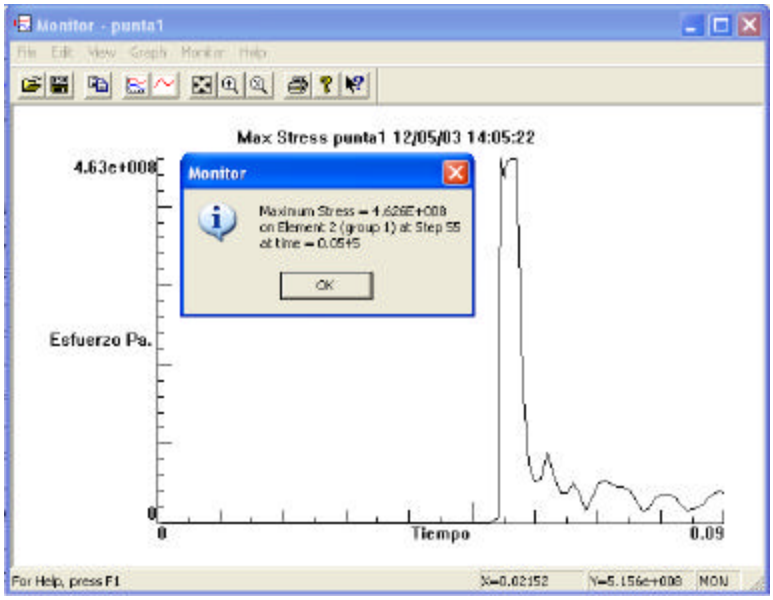

Figura 7. 33 Gráfica del Cambio del Valor de Esfuerzo en el Tiempo y el esfuerzo máximo.

La gráfica mostrada en la Figura 7.33 obtenida directamente del análisis da como dato un esfuerzo máximo de 4.626 E8 Pa, cual se encuentra por encima del esfuerzo de cedencia, sin embargo, ésta gráfica calcula únicamente los resultados obtenidos con la

fuerza sobre unidad de área, sin tomar en cuenta los valores generados por los momentos flectores, El máximo valor obtenido de la combinación de momentos flectores, cortantes y esfuerzo, ver Figuras 7.29 y 7.30 los esfuerzos fueron de 7.81762 E8 Pa y 3.2351 E8 Pa lo cual supera el límite de esfuerzo de cedencia colocando el comportamiento del material en el área no lineal.

7.4.2 Desarrollo de los Análisis Dinámicos con el Diseño de la Segunda Punta de Impacto.

En las siguientes imágenes se mostrarán la secuencia del evento de impacto para el primer diseño de la punta de impacto.

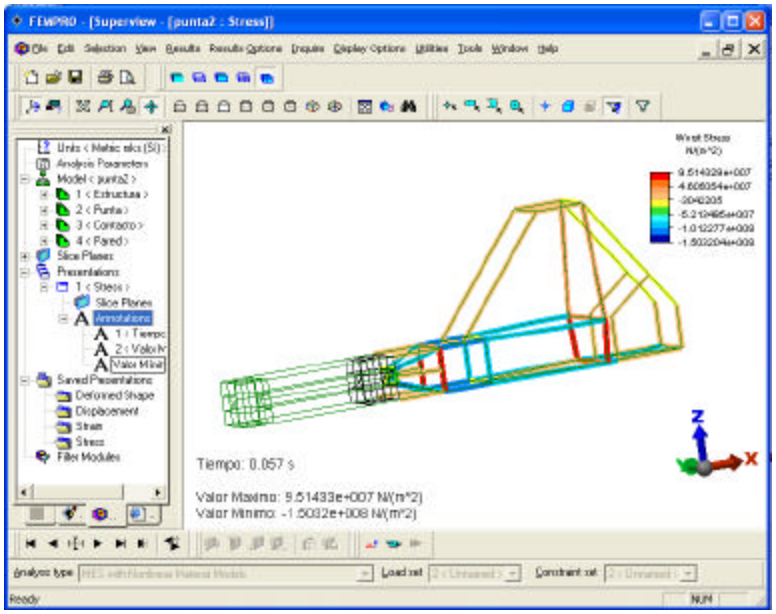

Figura 7. 34 Tiempo en el que el Bloque Hace Contacto con el Auto a los 0.057 s.

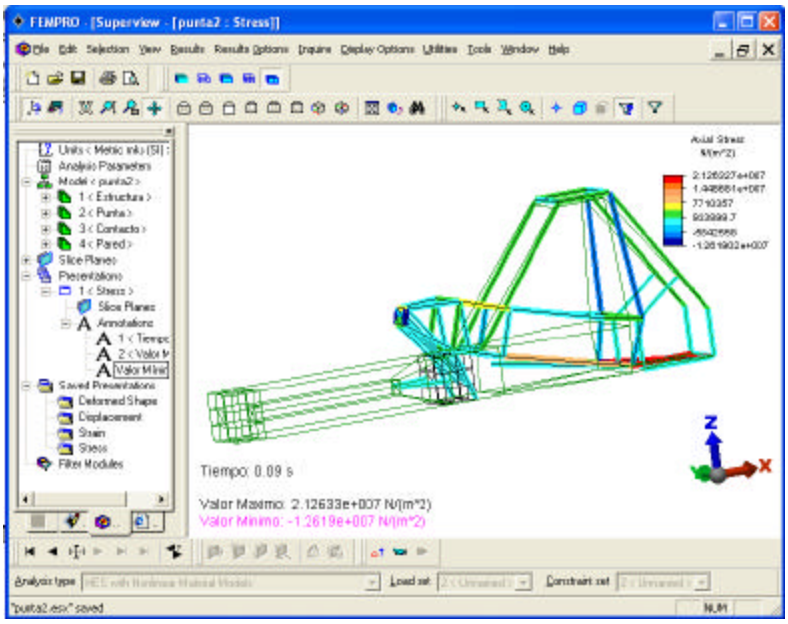

Figura 7. 35 Vista Isométrica del Esfuerzo Axial para la Primera Punta.

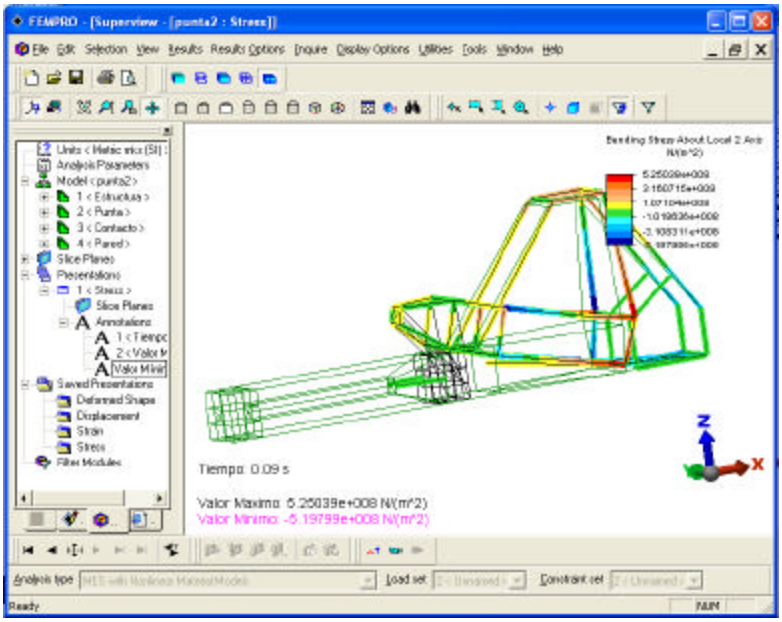

Figura 7. 36 Vista Isométrica del Esfuerzo de Flexión Sobre el Eje Local 2

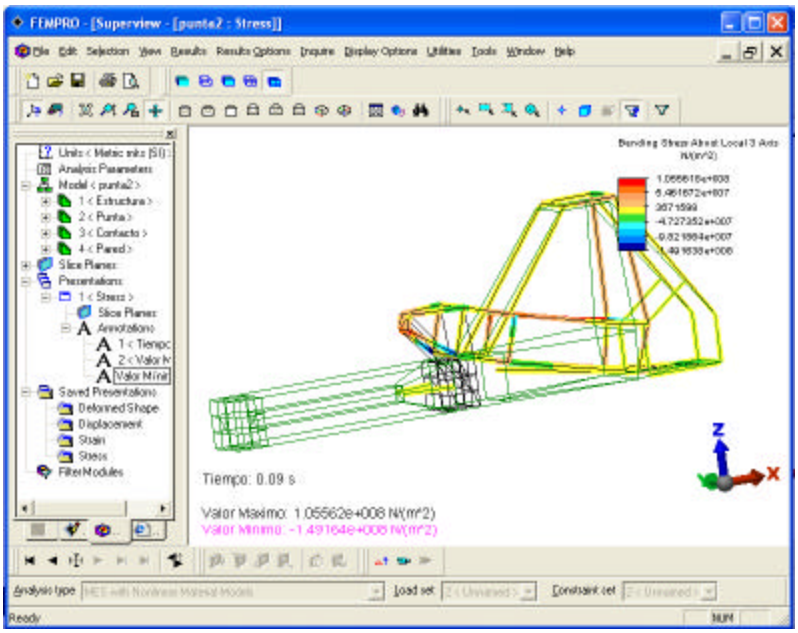

Figura 7. 37 Vista Isométrica del Esfuerzo de Flexión Sobre el Eje Local 3

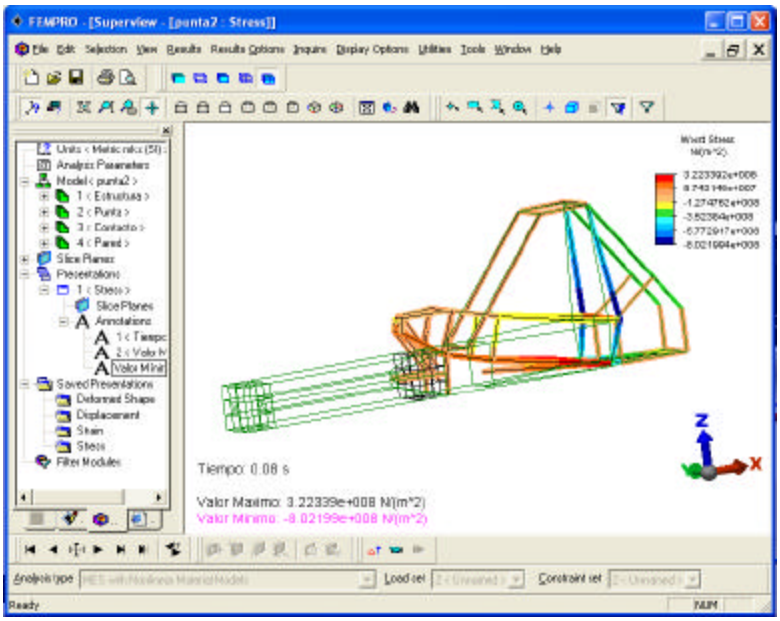

Figura 7. 38 Vista Isométrica del Peor Esfuerzo.

De la Figura 7.34 a la 7.38 se muestran los resultados de los diferentes esfuerzos

que se generan debido al impacto del auto, al mismo tiempo que se observan las deformaciones sufridas por la estructura.

La Figura 7.34 muestra la vista isométrica de la punta de impacto en el momento justo cuando toca la pared de impacto. A pesar de que los esfuerzos son elevados, toda la estructura se mantiene en el rango elástico, a excepción de la zona de contacto, que es la parte frontal central de la punta de impacto y el soporte de la misma. Los esfuerzos localizados en estas zonas aun no sobrepasan el límite de cedencia, y tampoco se presentan las deformaciones debido a la velocidad de bloque de impacto.

Conforme el tiempo transcurre, las deformaciones comienzan a manifestarse y los valores de los esfuerzos también aumentan en magnitud. La Figura 7.39 muestra el impacto unos instantes después del contacto inicial apenas han transcurrido 0.003 s desde el impacto y los esfuerzos se elevaron hasta 9.32471E8 Pa.

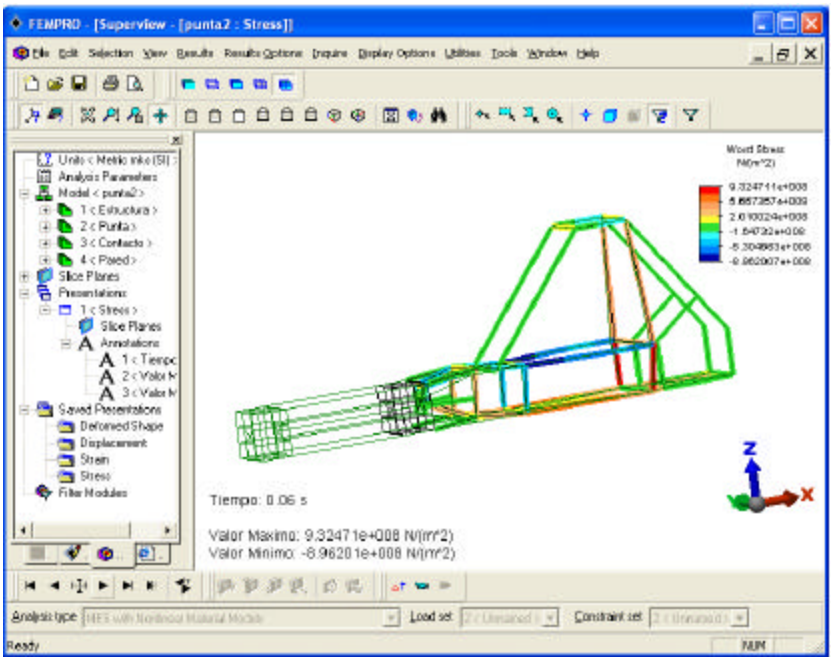

Figura 7. 39 Deformaciones después de 0.003 s después del impacto.

Es importante tomar en cuenta que los esfuerzos se encuentran presentes en la estructura, la deformación generada por estos se manifiesta a medida que el material se va alterando, lo cual toma tiempo. El proceso de endurecimiento por deformación también aumenta la resistencia del material.

A lo largo de las Figuras anteriores se puede observar el progreso de los esfuerzos y deformaciones en cada uno de los miembros que componen la estructura del automóvil y al igual que el diseño de la primera punta éste diseño también no es conveniente para implementarlo en el auto, ya que no brinda ninguna seguridad para el piloto, ya que la punta de impacto no es lo suficientemente rígida para soportar los esfuerzos concentrados en la parte superior y sobre todo la distribución de los esfuerzos a lo largo de la estructura hace que ésta falle en algunos puntos importante de soporte como lo son los tubos de

soporte del piloto.

Es importante destacar que los enormes esfuerzos generados por la colisión, hacen que la cabina del piloto sufra grandes deformaciones y sobre todo se llega a la ruptura de la estructura, incluso sufre pandeo localizado.

Como punto importante del análisis es que la punta de impacto sufre deformaciones permanentes comenzando en la parte superior de la misma y extendiéndose en los brazos que la conforman. La mayor concentración de esfuerzos se encuentra en la parte superior de la punta de impacto, oscilando entre esfuerzos por encima y por debajo del límite de cedencia.

Debido a las enormes deformaciones en la punta, el comportamiento general del no es seguro para el piloto, ya que no cumple con el objetivo para el cual fue diseñada, que es salvaguarda la integridad del piloto, por otra parte cabe mencionar que como la punta de impacto no es la adecuada la estructura sufre deformaciones permanentes, mismas que originan la ruptura de la estructura.

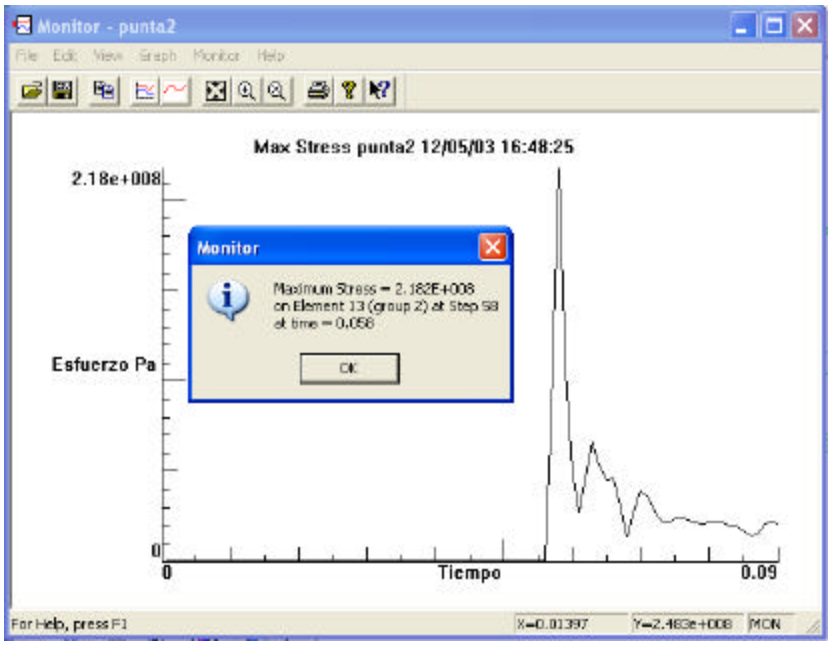

Figura 7. 40 Gráfica del Cambio del Valor de Esfuerzo en el Tiempo y el esfuerzo máximo.

La gráfica mostrada en la Figura 7.34 obtenida directamente del análisis da como dato un esfuerzo máximo de 2.18 E8 Pa, la cual se encuentra por debajo del esfuerzo de cedencia, sin embargo, ésta gráfica calcula únicamente los resultados obtenidos con la fuerza sobre unidad de área, sin tomar en cuenta los valores generados por los momentos flectores, El máximo valor obtenido de la combinación de momentos flectores, cortantes y esfuerzo, ver Figuras 7.36 y 7.37 los esfuerzos fueron de 5.25039 E8 Pa y 1.05562 E8 Pa, lo cual los esfuerzos presentados sobre el eje local 2 son mayores que el límite de esfuerzo de cedencia colocando el comportamiento del material en el área no lineal y con ello deformaciones permanentes.

7.4.3 Desarrollo de los Análisis Dinámicos con el Diseño de la Tercera Punta de Impacto.

En las siguientes imágenes se mostrarán la secuencia del evento de impacto para el tercer diseño de la punta de impacto, que a diferencia de los diseños anteriores en éste se implemento el uso de la deformación de los tubos en forma semicircular, con el propósito de la mejor distribución de los esfuerzos y con un arreglo que permita la deformación de la punta.

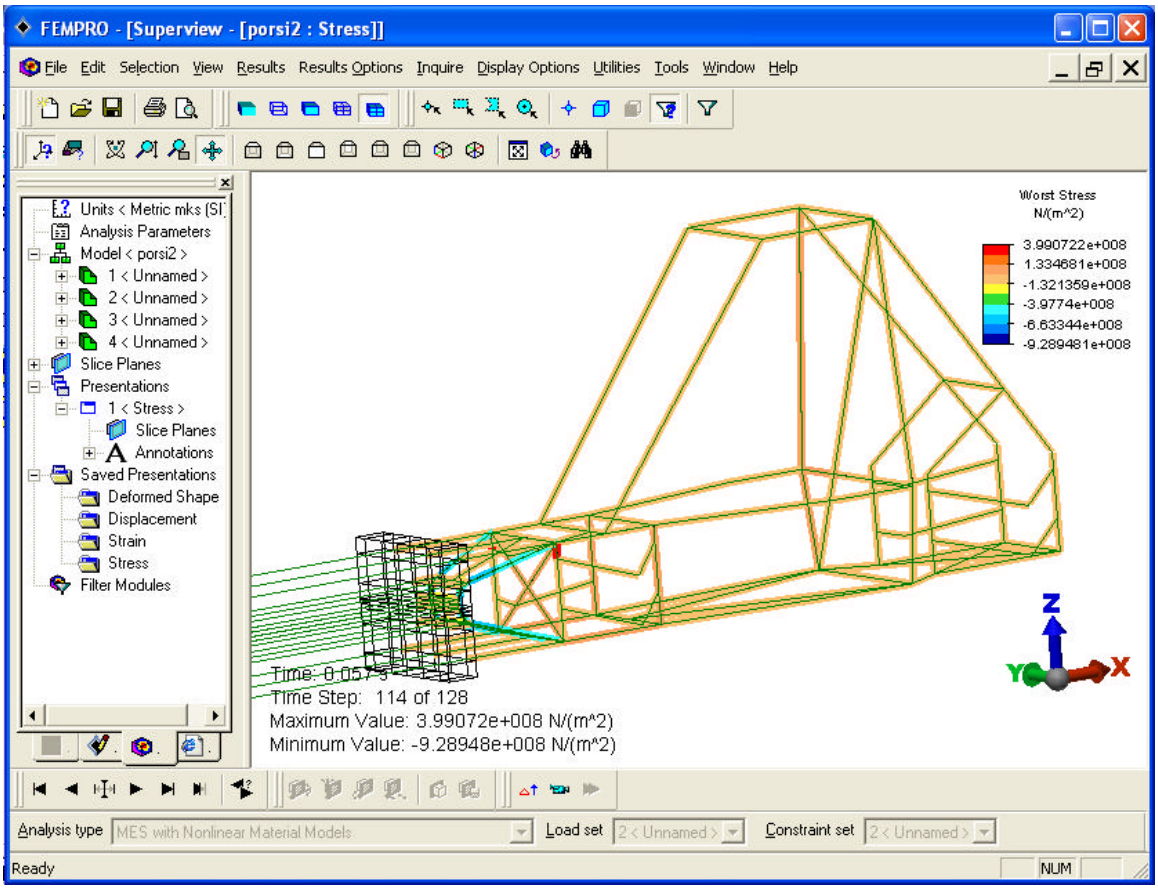

Figura 7. 41 Tiempo en el que el Bloque Hace Contacto con el Auto a los 0.057s.

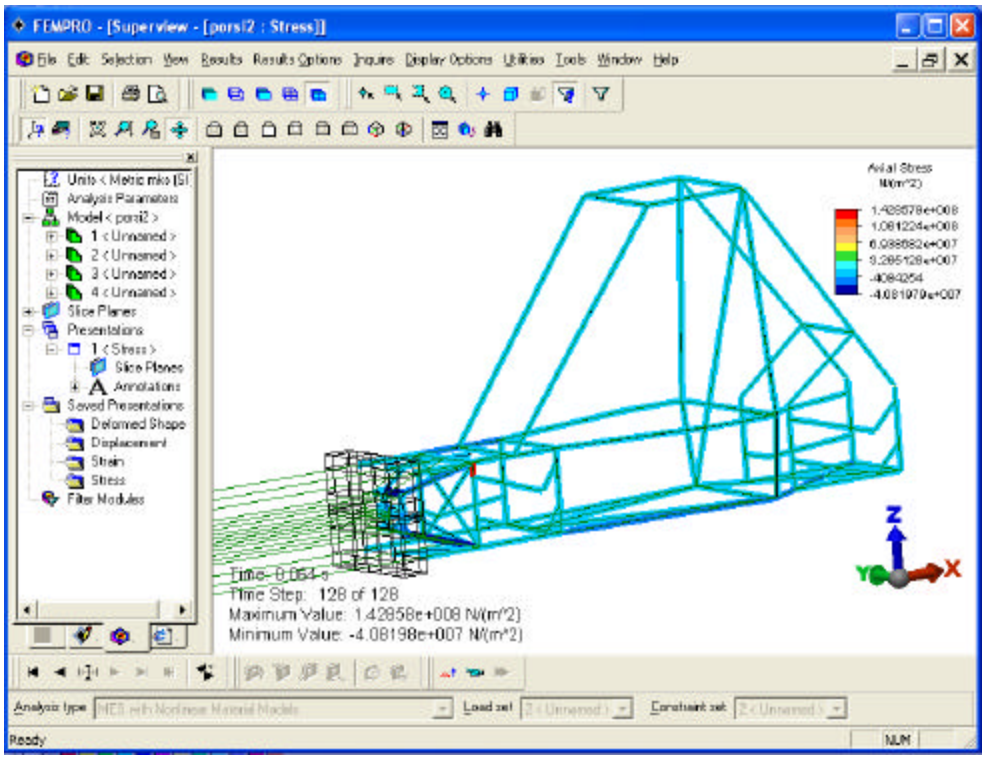

Figura 7. 42 Vista Isométrica del Esfuerzo Axial para la Tercera Punta.

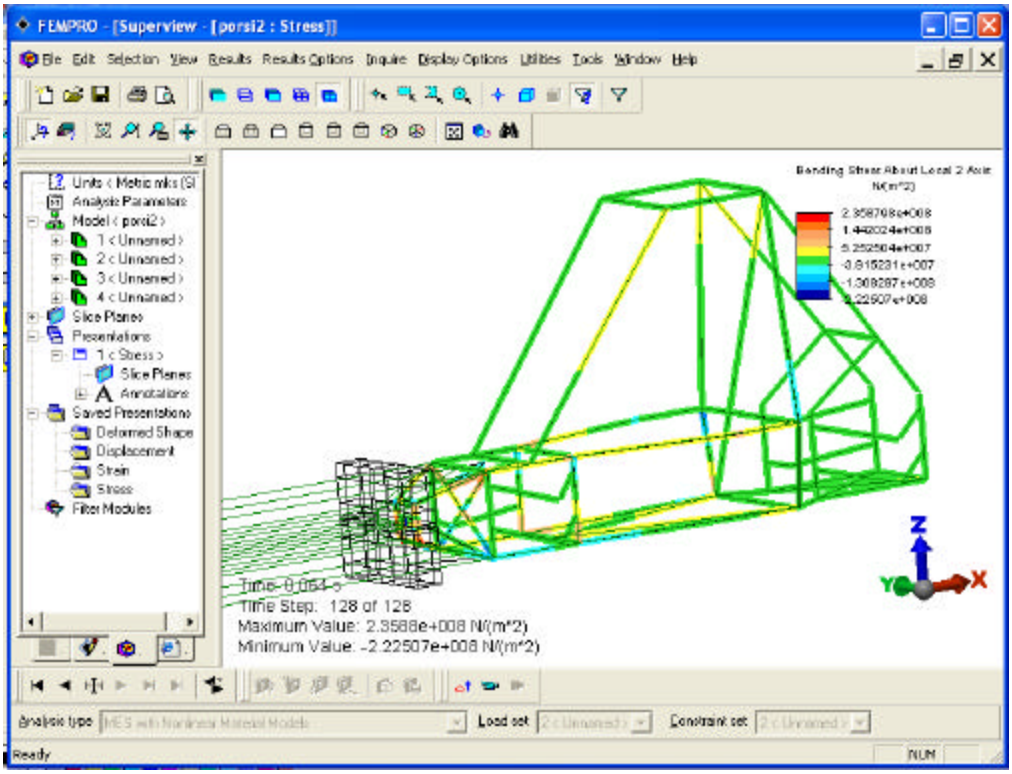

Figura 7. 43 Vista Isométrica del Esfuerzo de Flexión Sobre el Eje Local 2

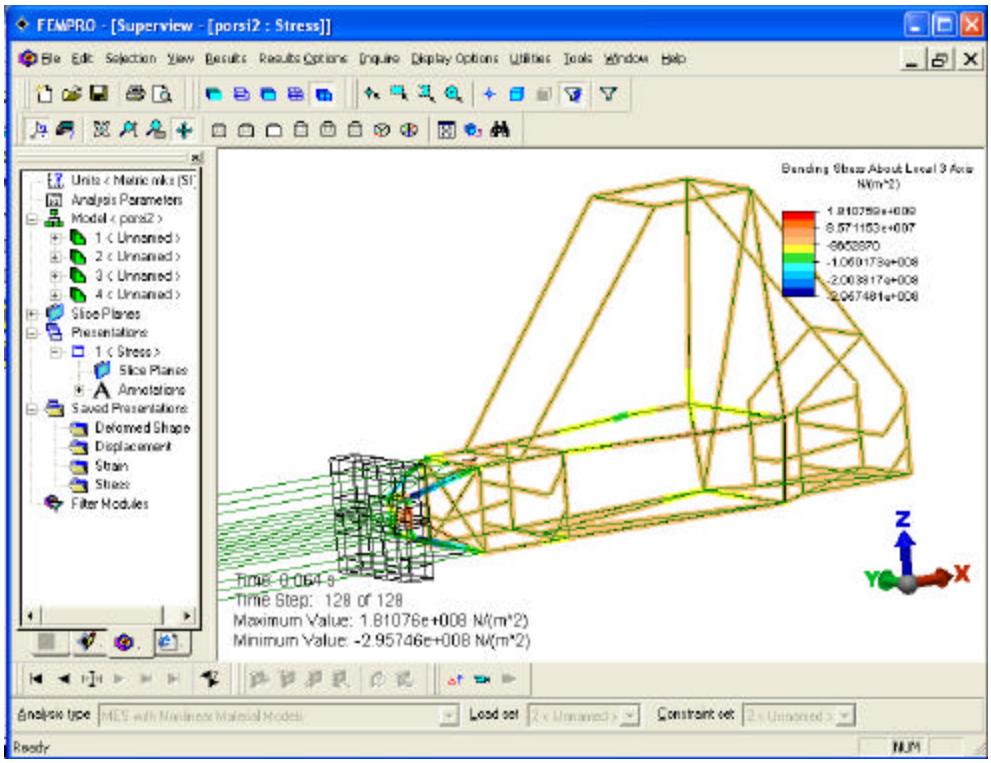

Figura 7. 44 Vista Isométrica del Esfuerzo de Flexión Sobre el Eje Local 3.

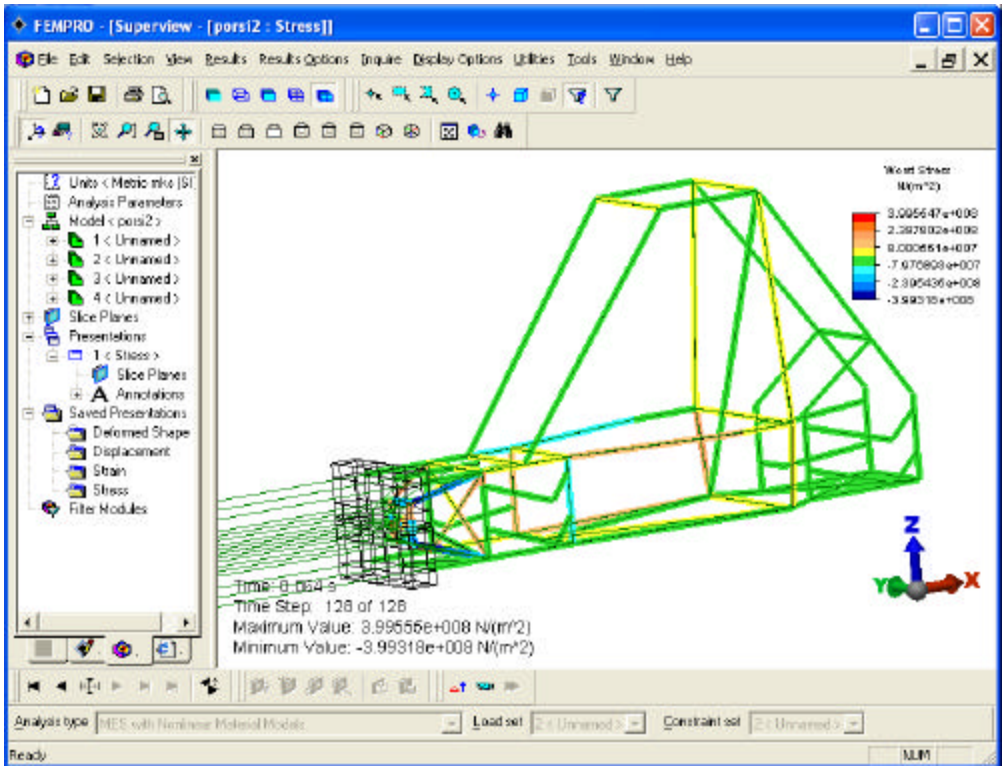

Figura 7. 45 Vista Isométrica del Peor Esfuerzo.

De la Figura 7.41 a la 7.45 se muestran los resultados de los diferentes esfuerzos que se generan debido al impacto del auto, al mismo tiempo que se observan las deformaciones sufridas por la estructura, todo ello estaba tomado en cuenta en base a los 2 análisis realizados anteriormente, como la mayor cantidad de esfuerzos localizados en la parte superior de la punta, al mismo tiempo del desplazamiento que sufría la estructura y que ocasionaba la desunión de los elementos que se encuentran el en cubo de la suspensión delantera..

La Figura 7.41 muestra la vista isométrica de la punta de impacto en el momento justo cuando toca la pared de impacto. Los esfuerzos son elevados y toda la estructura se mantiene sin ninguna deformación ya que el esfuerzo en ella no supera el límite de cedencia a excepción de la zona en forma de cruz que está soportando la punta de impacto, que es la parte frontal superior de la estructura del automóvil, los esfuerzos localizados en la punta de impacto no sobrepasan los límites de cedencia e inicia la deformación plástica de la punta.

Conforme el tiempo transcurre, las deformaciones comienzan a manifestarse y los valores de los esfuerzos también aumentan en magnitud. La Figura 7.46 muestra el impacto unos instantes después del contacto inicial apenas han transcurrido 0.0005 s desde el impacto y los esfuerzos se elevaron hasta 5.19365 E8 Pa.

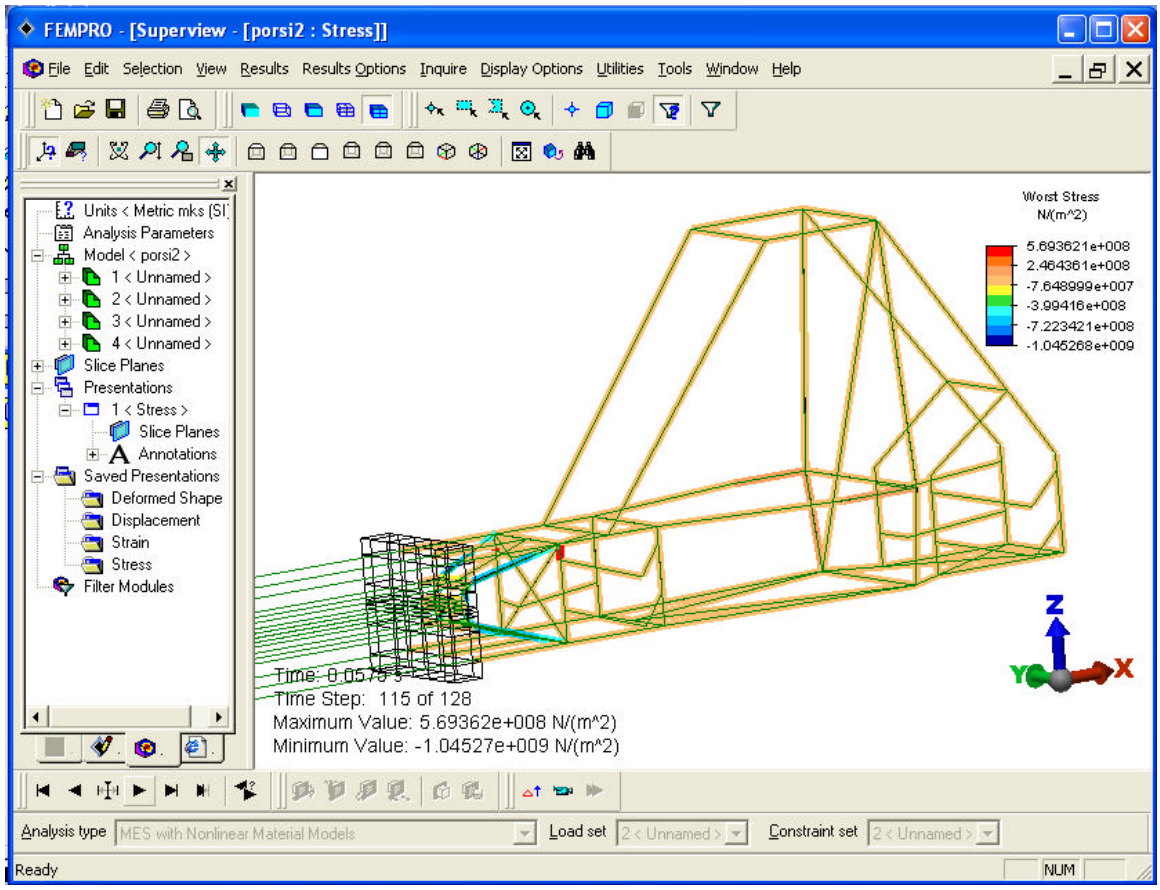

Figura 7. 46 Deformaciones después de 0.0005 s después del impacto.

Es importante tomar en cuenta que los esfuerzos que se encuentran presentes en la estructura van generando deformación en la punta y lo cual toma tiempo. El proceso de endurecimiento por deformación también aumenta la resistencia del material, pero la primera presencia de la deformación esta basada en la deformación elástica, después que se ha pasado los 124178000 Pa, empieza el endurecimiento por deformación en la punta.

A lo largo de las Figuras anteriores se puede observar el progreso de los esfuerzos y deformaciones en cada uno de los miembros que componen la estructura del automóvil y a diferencia de los diseños anteriores, éste arreglo estructural si es conveniente para

implementarlo en el auto, ya que brinda de una gran seguridad para el piloto, ya que la punta de impacto no es lo suficientemente rígida para soportar los esfuerzos concentrados en la parte superior y sobre todo la distribución de los esfuerzos a lo largo de la estructura y hace que ésta falle en algunos puntos importante como son los soportes que atraviesan a la punta de impacto por la mitad ofreciendo la rigidez necesaria, pero al mismo tiempo ofreciendo una cierta libertad para la deformación de la punta sin dañar la estructura principal del auto, pero sobre todo no poniendo en riesgo la integridad del piloto, por lo que se ha logrado el mejor diseño de la punta de impacto.

Es importante destacar que los enormes esfuerzos generados por la colisión, hacen que la cabina del piloto no sufra ningún tipo de deformaciones y sobre todo que llege a la ruptura de la estructura, incluso sufra pandeo localizado.

Como punto importante del análisis es que la punta de impacto sufre deformaciones permanentes comenzando en la parte frontal y extendiéndose a lo largo de la curvatura diseñada, para después propagarse en los brazos que la soportan por la mitad en forma simétrica. La mayor concentración de esfuerzos se encuentra en la parte superior de la punta de impacto, es así como después los esfuerzos oscilan por encima y por debajo del límite de cedencia, pero llega un punta en el cual sobre pasando la deformación plástica del material existe un comportamiento inestable, el cual se estudiara con base el la gráfica de esfuerzo presentada posteriormente.

Debido a las enormes deformaciones en la punta, el comportamiento general de la estructura es segura para el piloto, ya que cumple con el objetivo para el cual fue diseñada, que es salvaguarda la integridad del piloto, por otra parte cabe mencionar que

como la punta de impacto ya es la adecuada los cambios implementados serán para buscar la disminución de material, bajar costos de producción o el reemplazo de materiales para la punta de impacto.

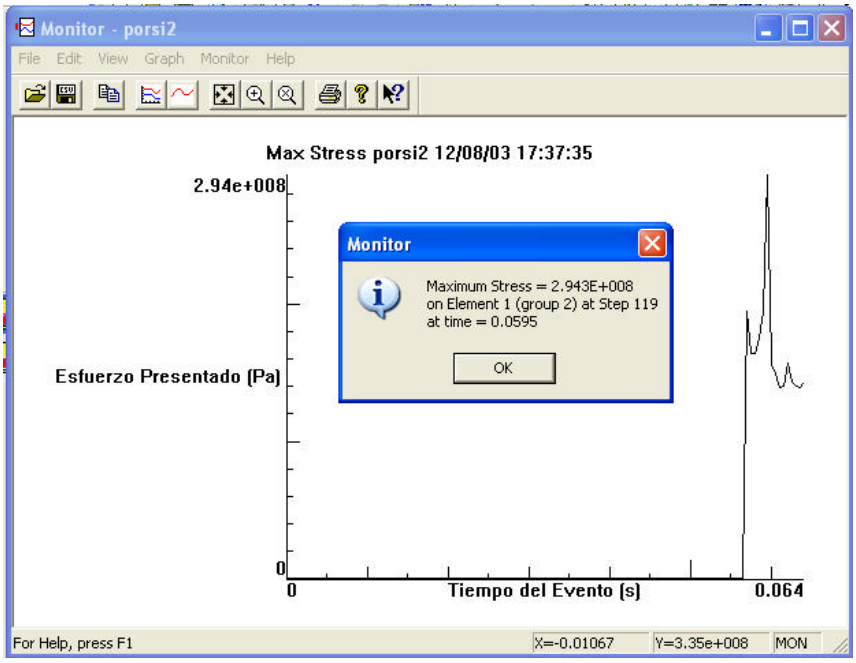

Figura 7. 47 Gráfica del Cambio del Valor de Esfuerzo en el Tiempo y el esfuerzo máximo.

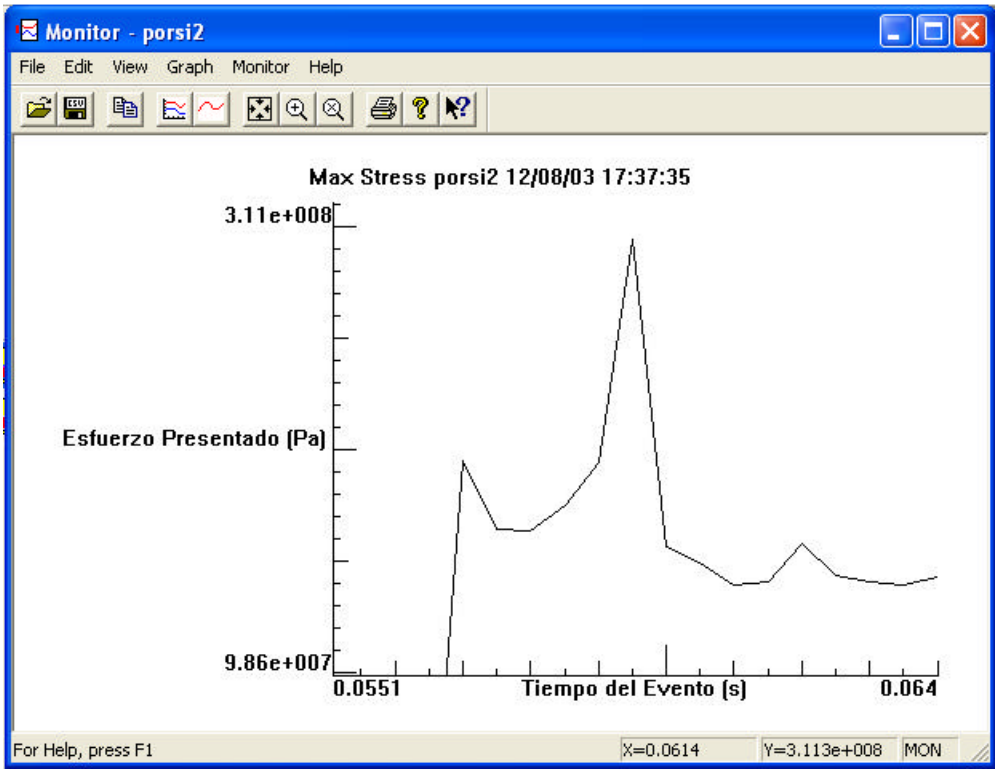

Figura 7. 48 Acercamiento de la Gráfica del Cambio del Valor de Esfuerzo en el Tiempo.

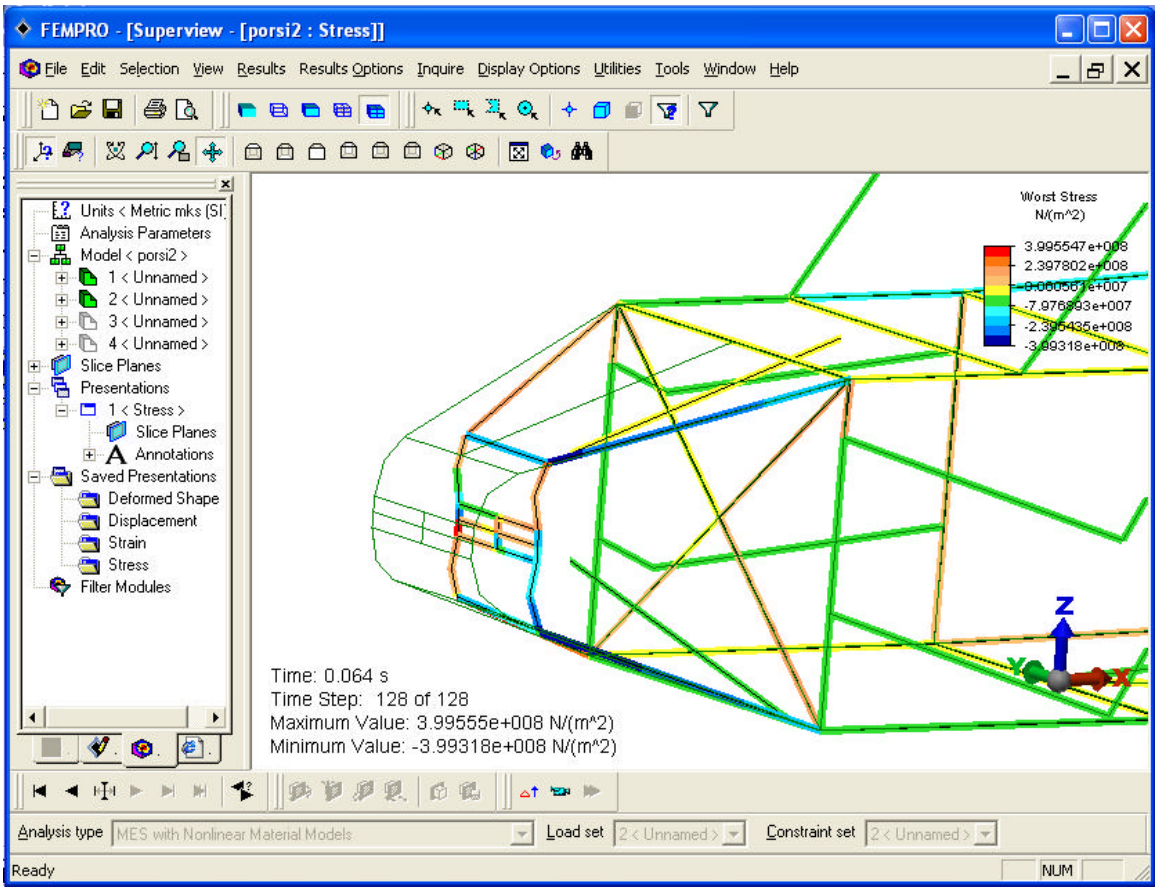

Figura 7. 49 Acercamiento de la Deformación de Punta de Impacto.

La gráficas mostradas en la Figuras 7.47 y 7.48 fueron obtenidas directamente del análisis del evento y en ellas podemos observar el valor máximo presentado que es 2.943 E8 Pa, el cual se encuentra por encima del esfuerzo de cedencia, lo cual nos indica que existe deformación permanente en la estructura, pero no es de gran atención, ya que en realidad éste resultado es sin tomar en cuenta los valores generados por los momentos flectores, El máximo valor obtenido de la combinación de momentos flectores, cortantes y esfuerzo, ver Figuras 7.43 y 7.44 los esfuerzos fueron de 2.3588 E8 Pa y 1.81076 E8 Pa, y como podemos ver los esfuerzos presentados sobre el eje local 2 son mayores que sobre el eje local 3, y a su vez ninguno de ellos con mayores al límite de esfuerzo de

cedencia.

7.5 Desarrollo de los Análisis Dinámicos de Simulación de Impacto Lateral del Modelo Estructural del Auto Minibaja.

Una diferencia entre éste análisis y los anteriores de impacto frontal es la magnitud de las fuerzas, la concentración de esfuerzos y sobre todo la distribución de los mismos a lo largo de la estructura. El presente análisis sufrirá esfuerzos internos y deformaciones producto del cálculo del cambio de aceleración respecto al tiempo y la inercia del vehículo, es decir, se trata de un análisis de simulación de eventos donde no es necesario aplicar ninguna carga localizada, ya que para cada elemento se definirán las condiciones iniciales y si alguno de ellos presenta alguna velocidad. Los pasos de modelado del problema son iguales a los de impacto frontal, esto significa que no es necesario asumir ni calcular los valores de las magnitudes de las cargas, puesto que el programa se encarga de formular y resolver respecto a la velocidad, propiedades del material y la inercia.

En el caso de impacto lateral se empleará la estructura de alambre del automóvil para obtener resultados certeros de manera rápida. Un objeto impactará el auto a 16.67m/s generando deformaciones permanentes. A diferencia del impacto frontal, el soporte ofrecido por el automóvil para colisión lateral es bastante pobre debido a los enormes momentos flectores generados y a la menor cantidad de elementos estructurales que soportan el golpe. A diferencia del análisis de impacto frontal fue necesario completar el modelo con tres elementos que se describen a continuación.

El elemento del grupo 1 es una estructura tubular que conforma a todo el automóvil mismo que incluyen la cabecera de las barras antivuelco, la cabina del vehículo, el arreglo que soporta el motor y la punta de impacto. El arreglo estructural está modelado en barras de tubería dinámica capaz de soportar un análisis dinámico de tipo no lineal con deformaciones plásticas. El diámetro exterior del tubo es de 0.0254 m y el interior es de 0.0233172 m. Las condiciones iniciales de este elemento no incluyen una velocidad inicial, ya que los análisis se modelarán de tal forma que el elemento dinámico será el bloque de impacto y las restricciones de movimiento serán en la parte posterior del arreglo, es decir en la parte de soporte del motor. Las características del material están especificadas por las librerías de Algor y se trata del acero ASTM-A36 con una densidad del material de 7855 kg/m^3, un módulo de elasticidad de 199950000000 N/m^2, una razón de Poisson de 0.29. Este material sufre modificaciones en sus propiedades de resistencia a medida que las deformaciones dejan de ser elásticas. El endurecimiento que este material sufre debido a deformaciones plásticas y a los esfuerzos del material se ven reflejados en el coeficiente de endurecimiento de deformación, con un valor de 663057000 N/m2. E1 valor máximo del esfuerzo de cedencia del material es de 248210000 N/m2.

El segundo grupo está constituido por la pared de impacto. Dicha unidad está modelada en elemento de tipo bloque con características isotrópicas. Este elemento tiene la mayoría de sus características de resolución en los niveles más simples, ya que no aporta ningún tipo de información relevante. El tipo de material de este elemento es concreto. Se eligió este material por tener una mayor resistencia y menos deformación que el acero, y la velocidad de este elemento será de 16.67 m/s. Además de esto, las secciones de éste elemento son suficientes para resistir sin mayor problema los esfuerzos

generados sin opacar los resultados del auto.

El tercer grupo es un dispositivo conector encargado de indicar la trayectoria del auto y la localización del punto de impacto de la pared sobre la estructura. Dicho elemento es modelado como elemento de contacto general de tipo no lineal. Este elemento no necesita las mismas especificaciones que los grupos anteriores, lo único necesario de definir es el tipo no lineal, la distancia de contacto que sirve para impedir que una superficie de un grupo penetre otra superficie sin hacer contacto matemático y el área de contacto.

Una vez definidos los elementos que intervienen en el evento de colisión, es necesario agregar los parámetros globales del ejercicio. La duración del evento es un parámetro muy importante, ya que debe abarcar en su totalidad el suceso pero no debe excederse mucho ya que consumiría demasiado tiempo en el procesamiento. Para el evento a analizar se coloca un valor de 0.03 s con una razón de captura de 800 1/s. La razón de captura sirve para dividir el evento del suceso en diferenciales de tiempo y calcular el cambio de velocidad entre cada uno de ellos. A pesar de que una razón de tiempo que genere intervalos más pequeños es más exacta, depende también de las características del equipo de cómputo con las que se cuenta. La razón de captura seleccionada nos da unos incrementos de tiempo de tamaño 0.00125 s.

El tipo de evento es otro dato que debe agregarse en las consideraciones globales. Desde un inicio se definió como simulación de evento mecánico (MES) con materiales no lineales. Además de esto se le da la libertad al programa de cambiar el tamaño de los

incrementos del tiempo en caso de ser necesario debido al contacto entre los cuerpos. Si el programa detectara que los detalles de los desplazamientos se pierden o se ven modificados debido a sucesos más pequeños que el incremento, inmediatamente se modifica el valor hasta obtener resultados confiables.

7.5.1 Desarrollo de los Análisis Dinámicos con el Primer Arreglo Estructural.

En las siguientes imágenes se mostrarán la secuencia del evento de impacto lateral para el primer arreglo estructural que es un arreglo que cruza la base del automóvil conectando el soporte de la cabecera y el soporte de la suspensión y dirección.

Como es de esperarse, el contacto inicial con el poste superior del lado del automóvil genera enormes esfuerzos localizados en la zona de contacto, esto se debe principalmente a la longitud de los elementos que genera enormes momentos flectores que deforman la estructura de manera peligrosa para el piloto, es decir en el contacto entre el poste y la pared. Rápidamente los esfuerzos de esa zona alcanzan un valor del peor esfuerzo hasta 2.36743 E8 Pa, como se muestra en la Figura 7.49.

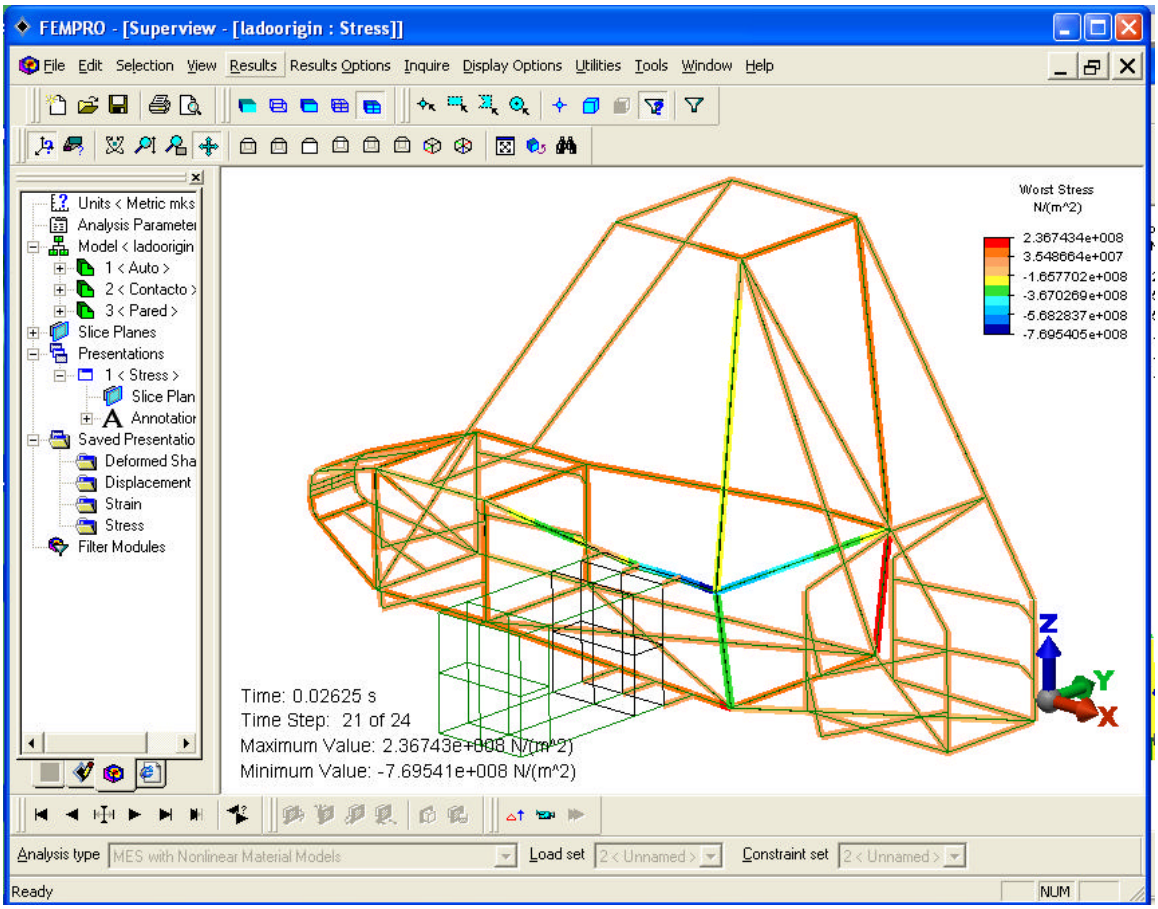

Figura 7. 50 Momento del choque con el tubo lateral en el tiempo 0.02625 s.

Conforme el auto comienza a perder velocidad, las deformaciones se propagan por toda la estructura del vehículo, principalmente en las partes que están conectadas con el tubo como lo son la base de la cabecera y el cubo de la dirección, sufriendo esfuerzos muy altos en las uniones soldadas ver Figura 7.49

Cuando los mayores esfuerzos se alcanzan, se observa preocupación que la estructura que contiene al piloto se encuentras sufriendo grandes esfuerzos y lo que es peor mucha deformación de la cabina del piloto con valores del esfuerzo axial alrededor de 8.1774488 E7 Pa, ver Figura 7.50.

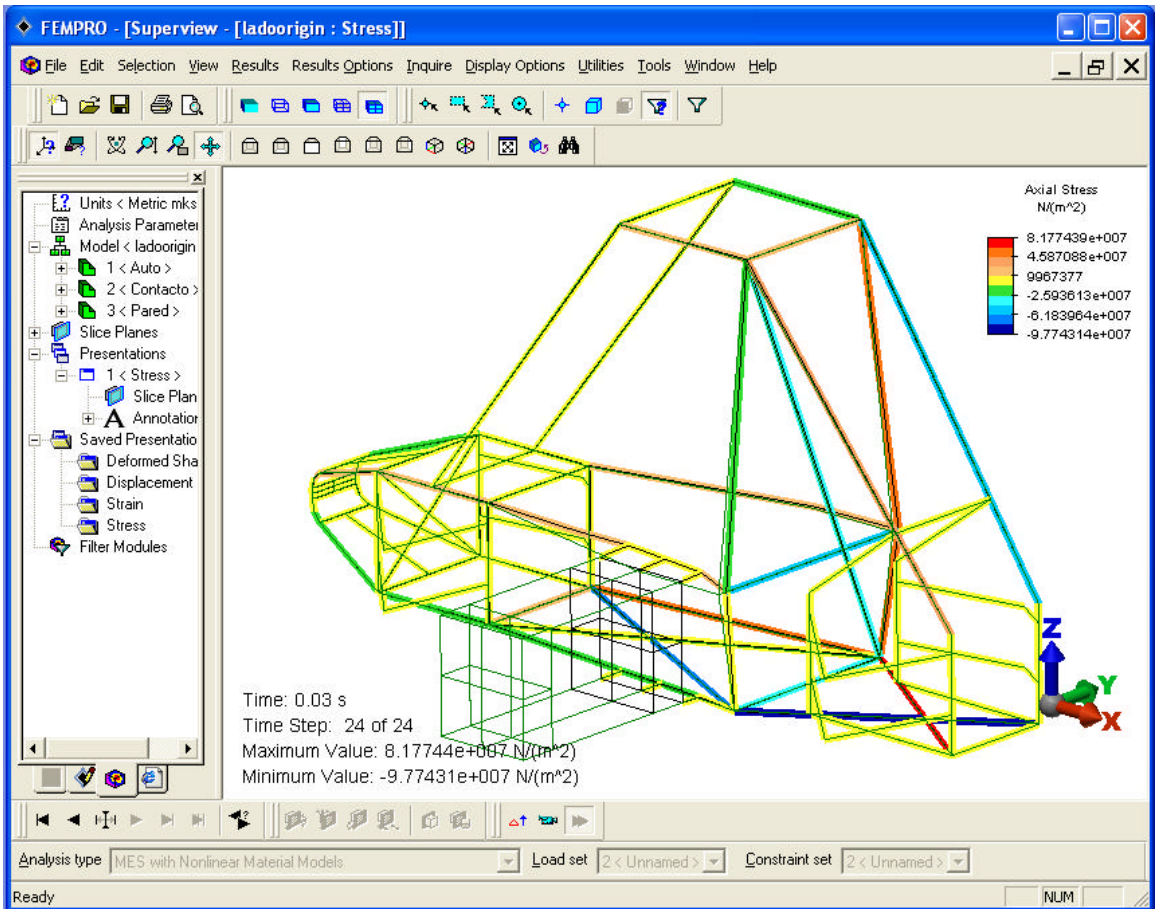

Figura 7. 51 Esfuerzos Axiales sobre la Estructura del Automóvil.

Una vez concluido el evento se observan las deformaciones finales ver Figuras 7.51 y 7.52 constatando que el auto se encuentra seriamente dañado por el impacto, incluso con la incrustación del elemento de impacto, que debido a su desaceleración logro penetrar la cabina del piloto.

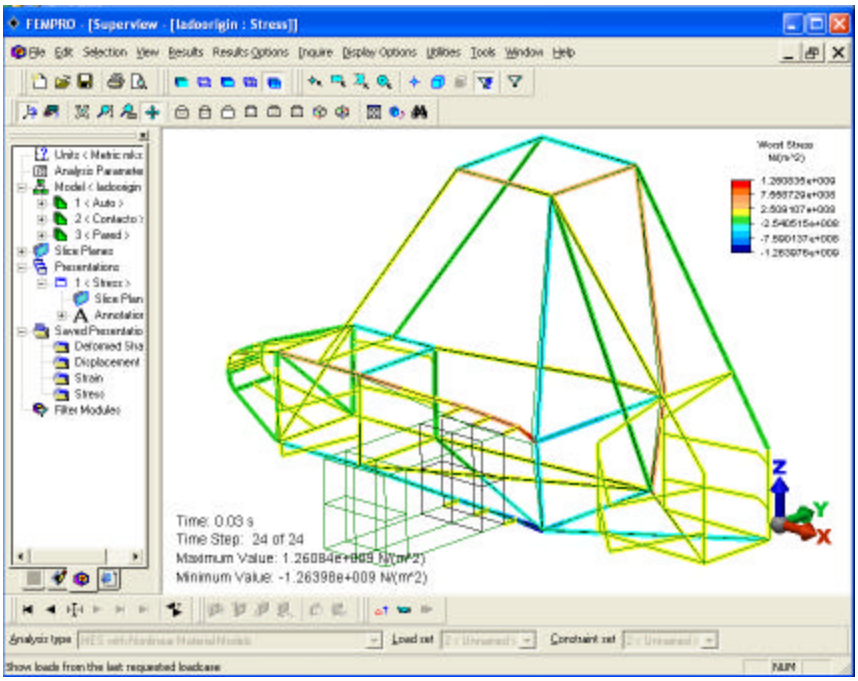

Figura 7. 52 Estructura Deformada al Final del Evento.

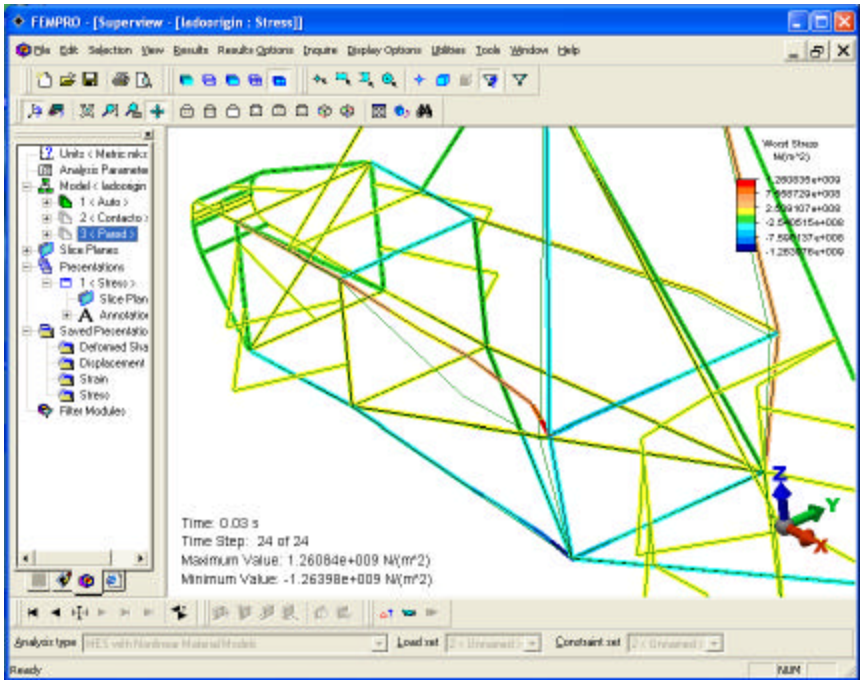

Figura 7. 53 Acercamiento de la Estructura Deformada al Final del Evento, con los Elementos de Impacto y Contacto Ocultos.

Como se mostraron en Figuras anteriores se puede observar una deformación en la cabina del piloto, principalmente en la barra de contacto y en el otro lado superior de la cabina, esto se debe a la deformación sufrida y a los componentes conectores que se ven afectados por la propagación de los esfuerzos, pero con cierta atención podemos observar como el resto de la estructura mantiene su integridad. No existe pandeo localizado en los soportes del motor o el cubo de suspensión frontal cual conforma al automóvil.

Las deformaciones producidas por el objeto ponen en riesgo la integridad de la cabina; considerando que la mayoría de los autos que compiten en esta categoría viajan a una velocidad similar pero tienen mayor inercia se observa que es necesario desarrollar mecanismos de desaceleración y absorción de impacto lateral.

Como se menciono anteriormente los momentos flectores que intervienen el evento son de gran importancia dado que los tubos de la cabina con elementos de gran longitud y por ende se deforman de manera peligrosa como se muestra en las Figuras 7.53 y 7.54.

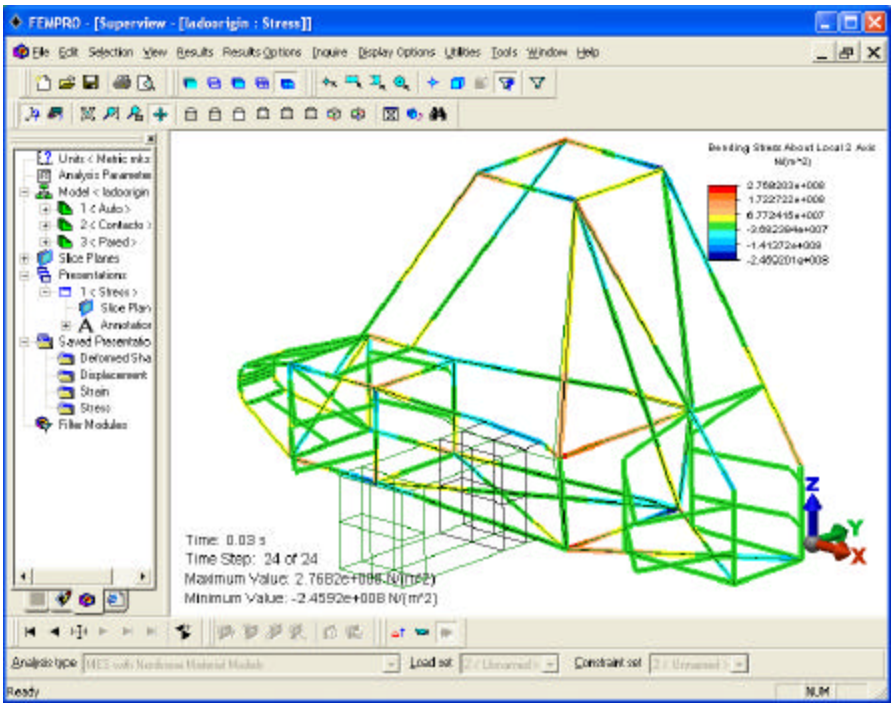

Figura 7. 54 Esfuerzos Causados por los Momentos Flectores en el Eje Local 2.

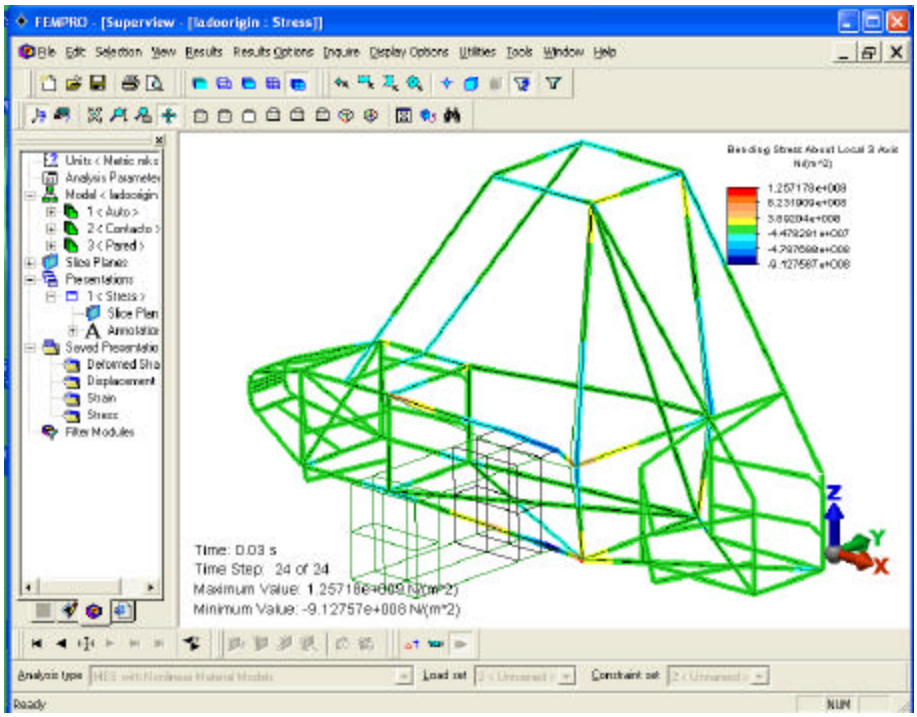

Figura 7. 55 Esfuerzos Causados por los Momentos Flectores en el Eje Local 3.

7.5.2 Desarrollo de los Análisis Dinámicos con el Segundo Arreglo Estructural.

El siguiente arreglo está compuesto por una barra que cruza por la mitad el ancho de la cabina y a su vez cada cuadro esta unido por barras en forma de cruz, el análisis del evento está representado por las siguientes Figuras.

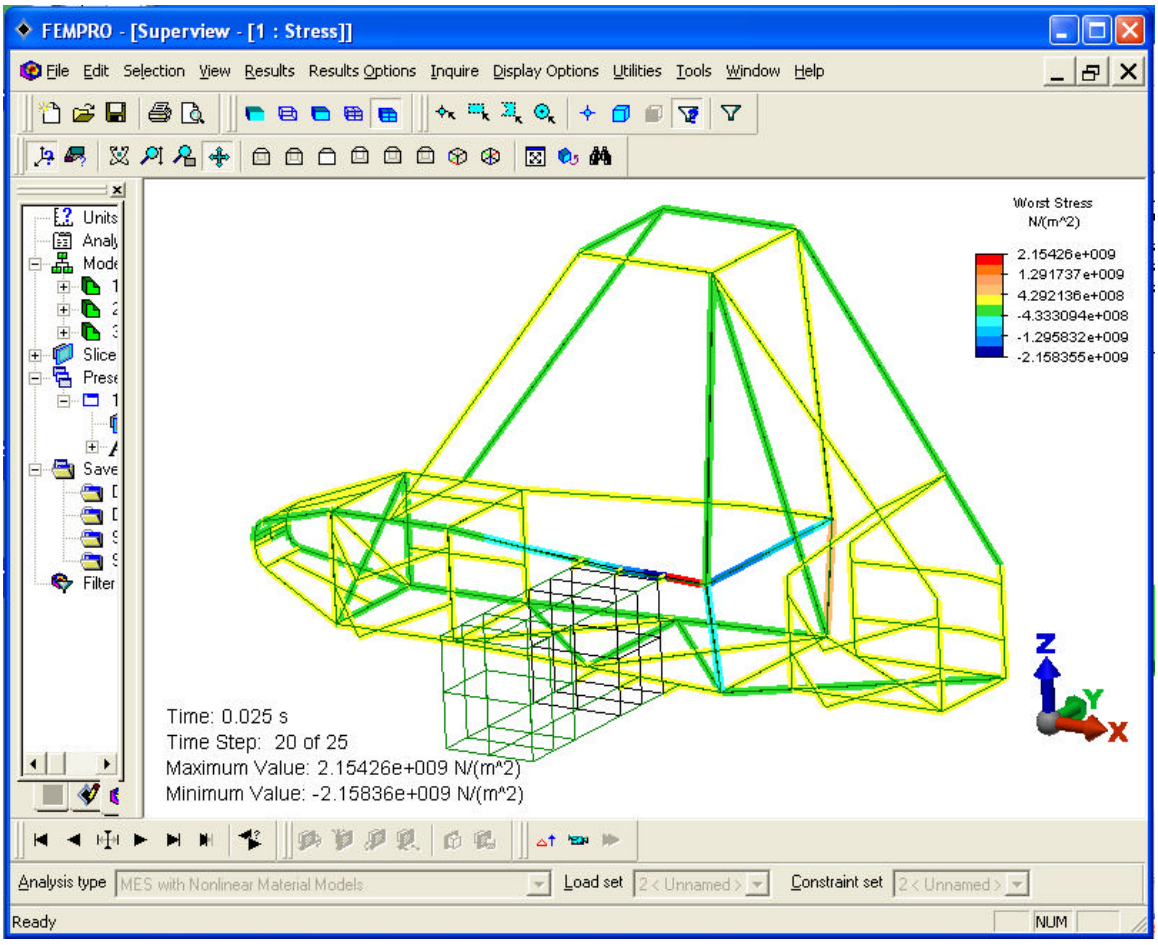

Figura 7. 56 Esfuerzos Causados al Momento del Impacto a los 0.025 s.

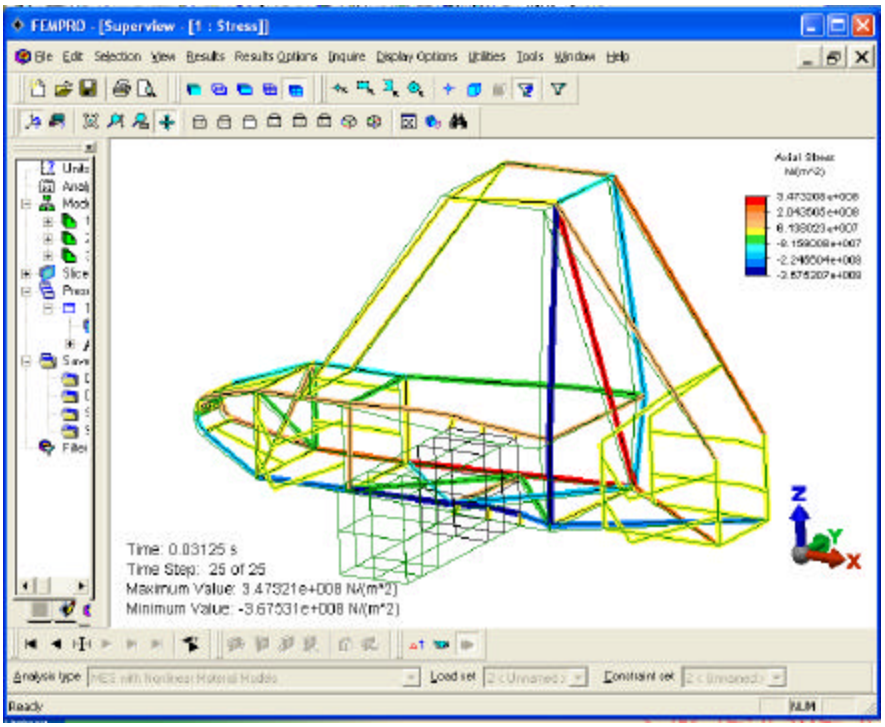

Figura 7. 57 Esfuerzos Axial.

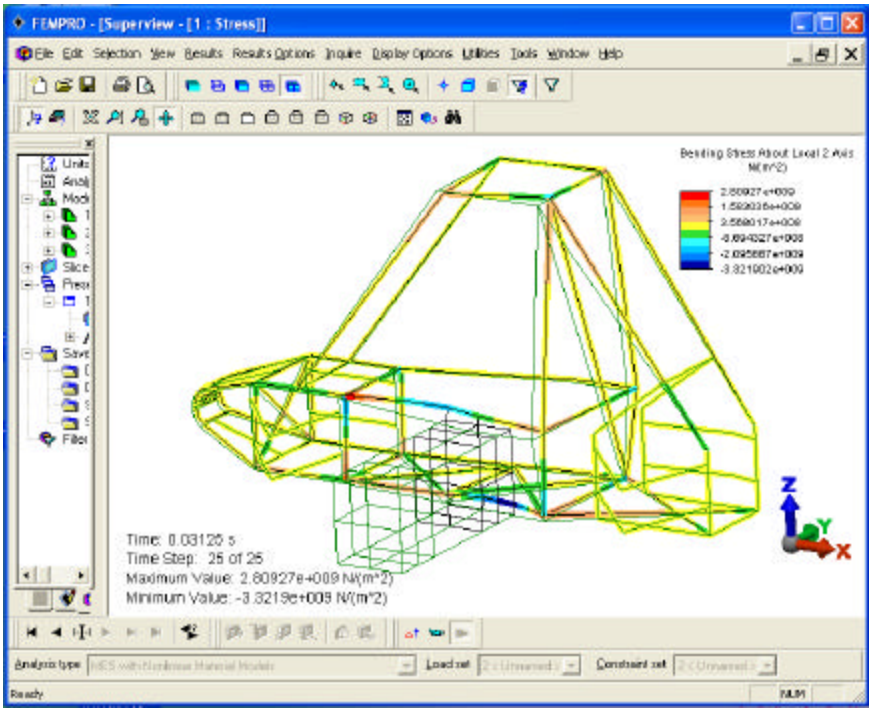

Figura 7. 58 Esfuerzos Causados por los Momentos Flectores en el eje Local 2.

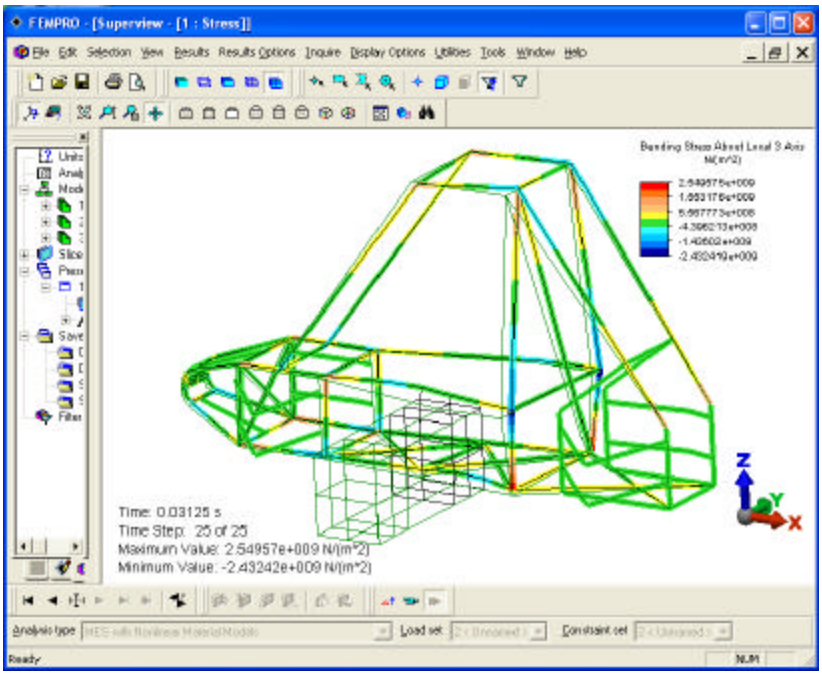

Figura 7. 59 Esfuerzos Causados por los Momentos Flectores en el eje Local 3.

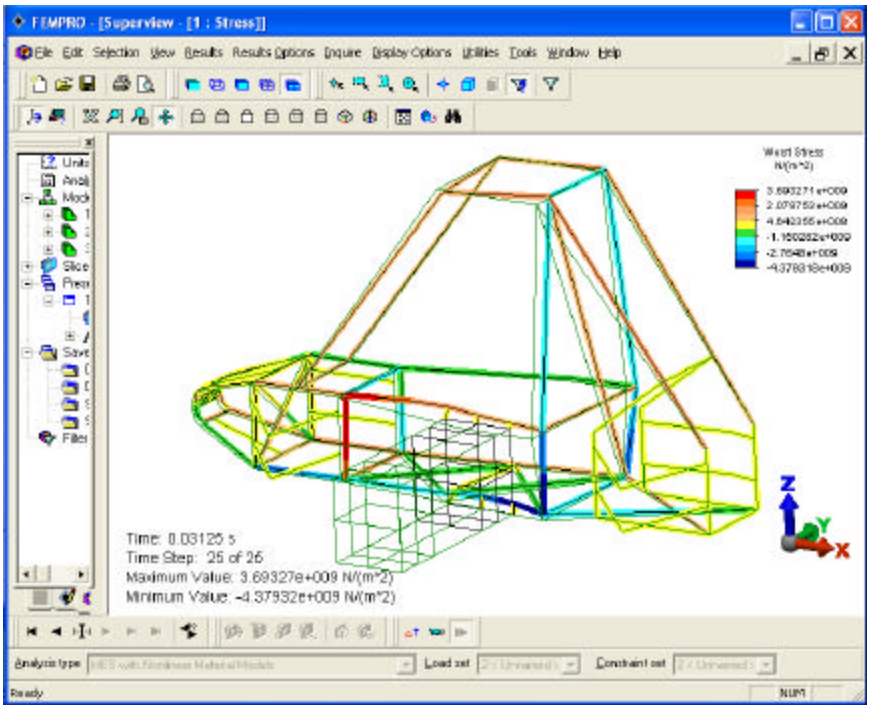

Figura 7. 60 Peores Esfuerzos Presentados en Toda la Estructura al Final del Evento.

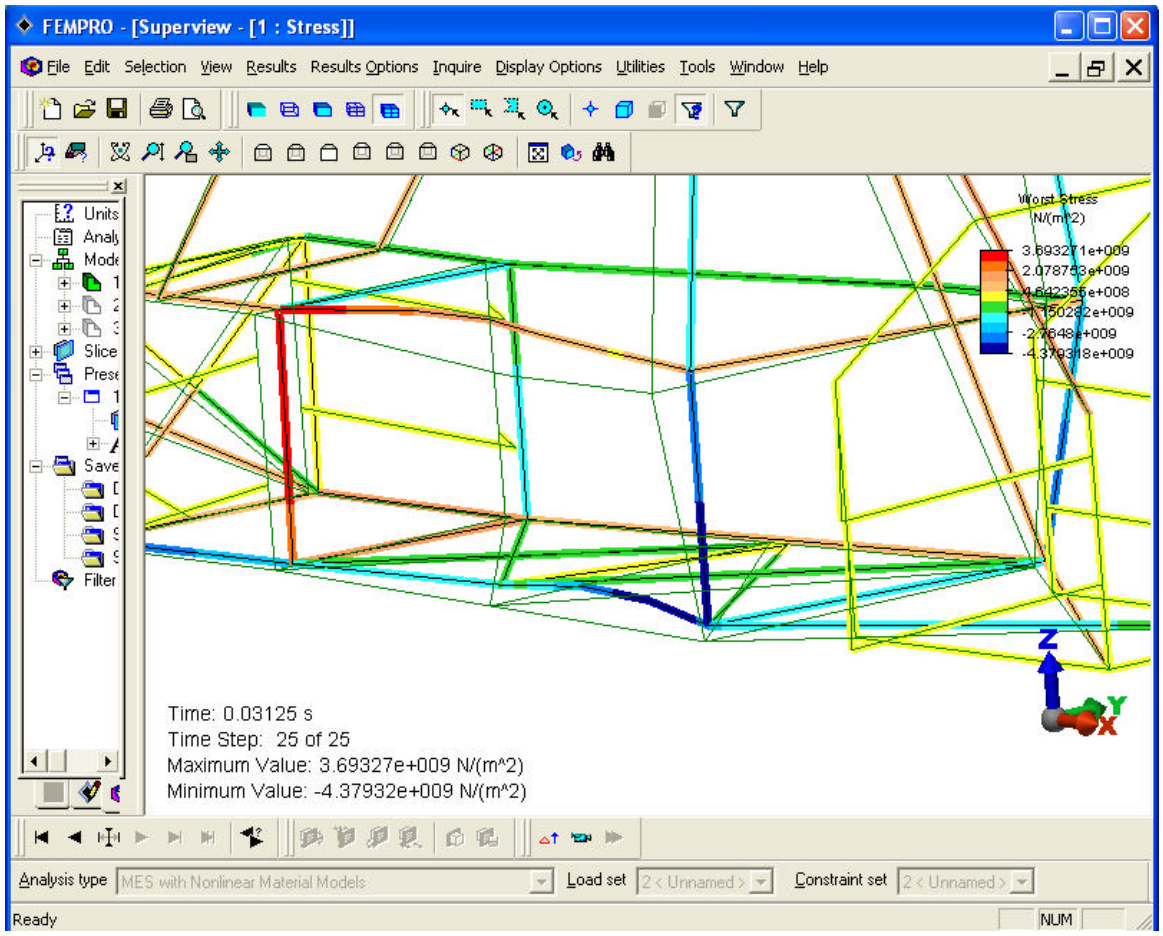

Figura 7. 61 Acercamiento a la Cabina del Piloto al Final del Evento.

Como se observo a lo largo de las Figuras anteriores hubo una mayor concentración de esfuerzo en la estructura ya que como se puede ver en la Figura 7.60 los esfuerzos llegaron hasta 3.69327 E9 Pa, y haciendo la comparación con el análisis anterior, en éste hubo una mayor deformación de los tubos, al mismo que se presento una mayor deformación de los elementos, destacando la mayor concentración de esfuerzos en la parte superior del cubo de la suspensión delantera y de la misma forma del análisis anterior que presento la mayor presencia de esfuerzos en la parte superior.

7.5.3 Desarrollo de los Análisis Dinámicos con el Tercer Arreglo Estructural.

El tercer arreglo está compuesto por una barra que cruza por la mitad el ancho de la cabina y a su vez cada cuadro esta unido por barras en forma de "V" hacia la barra intermedia, el análisis del evento está representado por las siguientes Figuras que muestran los esfuerzos en la estructura después del impacto.

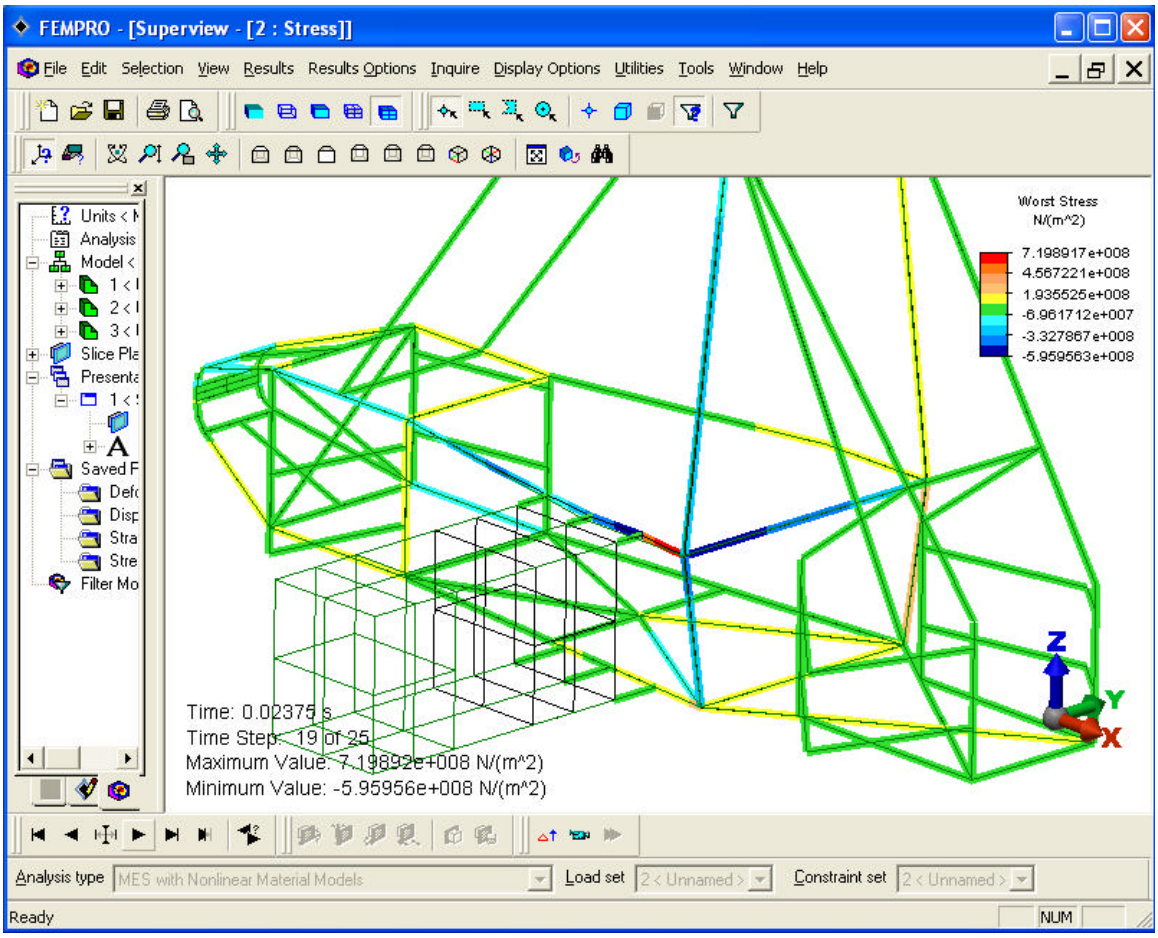

Figura 7. 62 Esfuerzos Causados al Momento del Imp acto a los 0.02375 s.

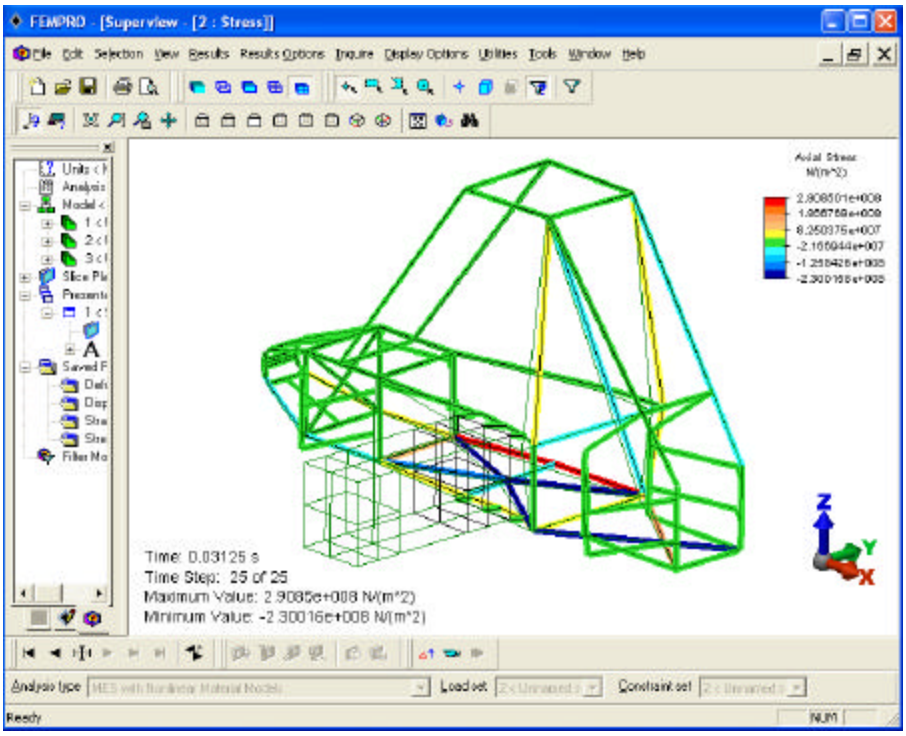

Figura 7. 63 Esfuerzos Axial.

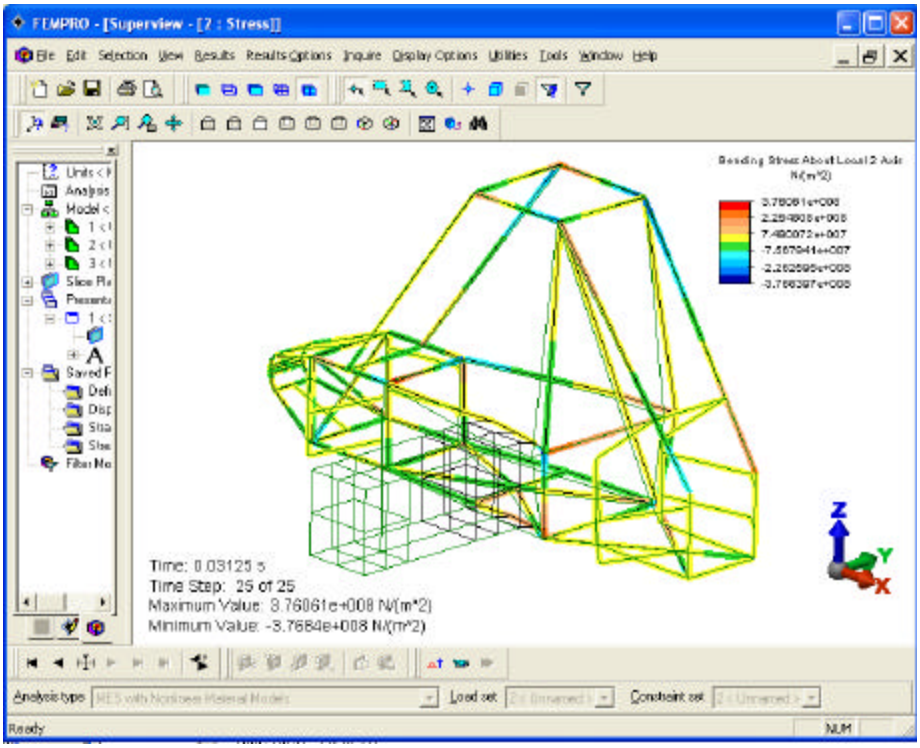

Figura 7. 64 Esfuerzos Causados por los Momentos Flectores en el eje Local 2.

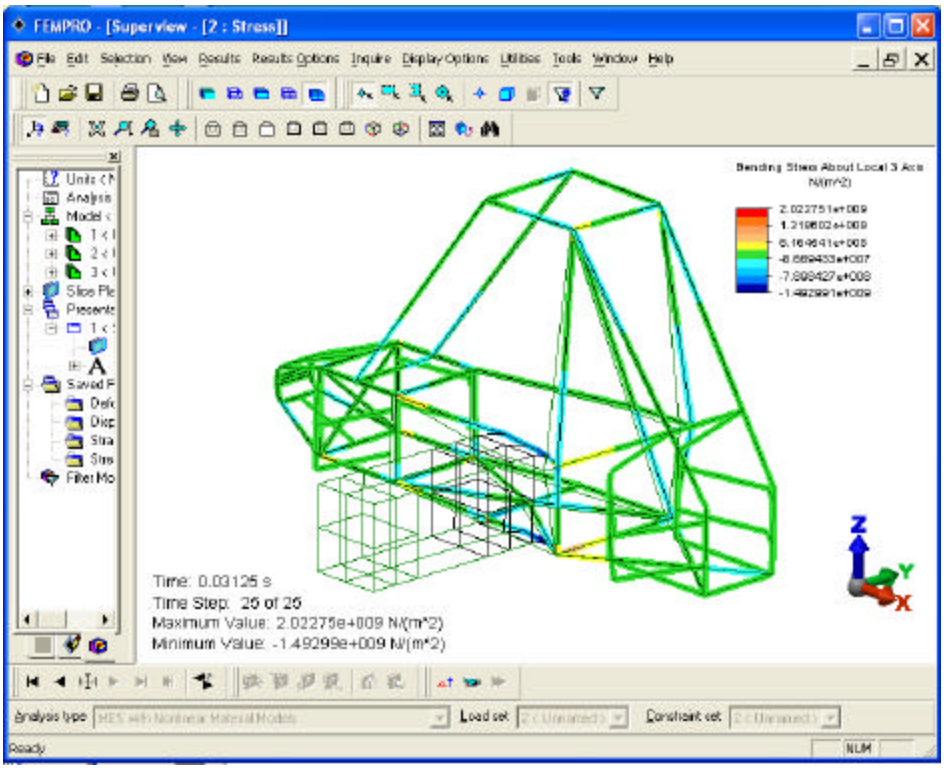

Figura 7. 65 Esfuerzos Causados por los Momentos Flectores en el eje Local 3.

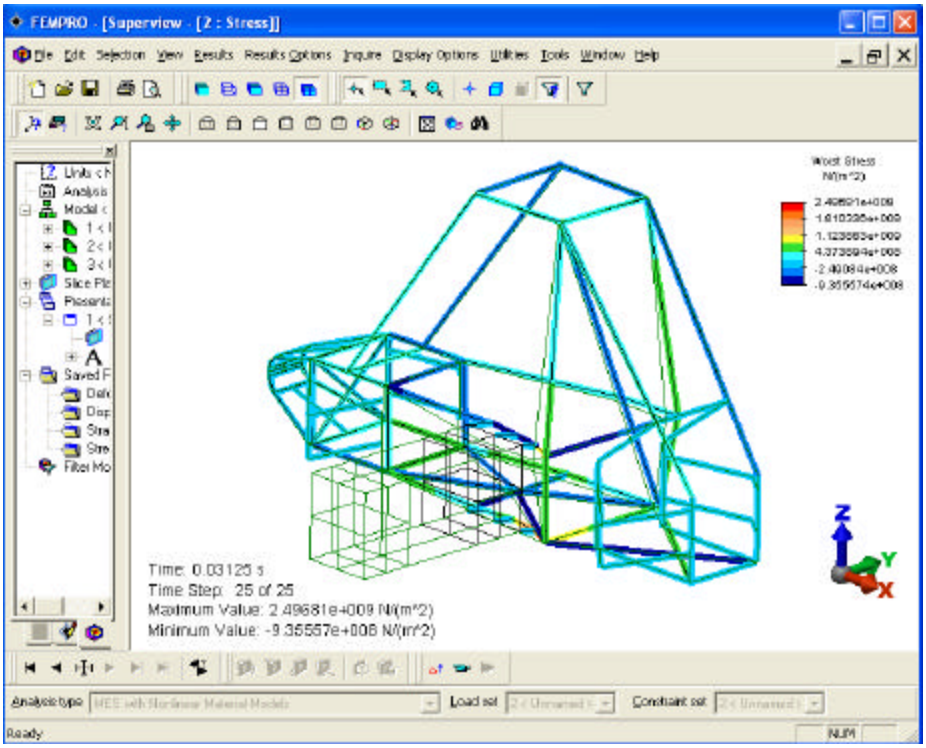

Figura 7. 66 Peores Esfuerzos Presentados en Toda la Estructura al Final del Evento.

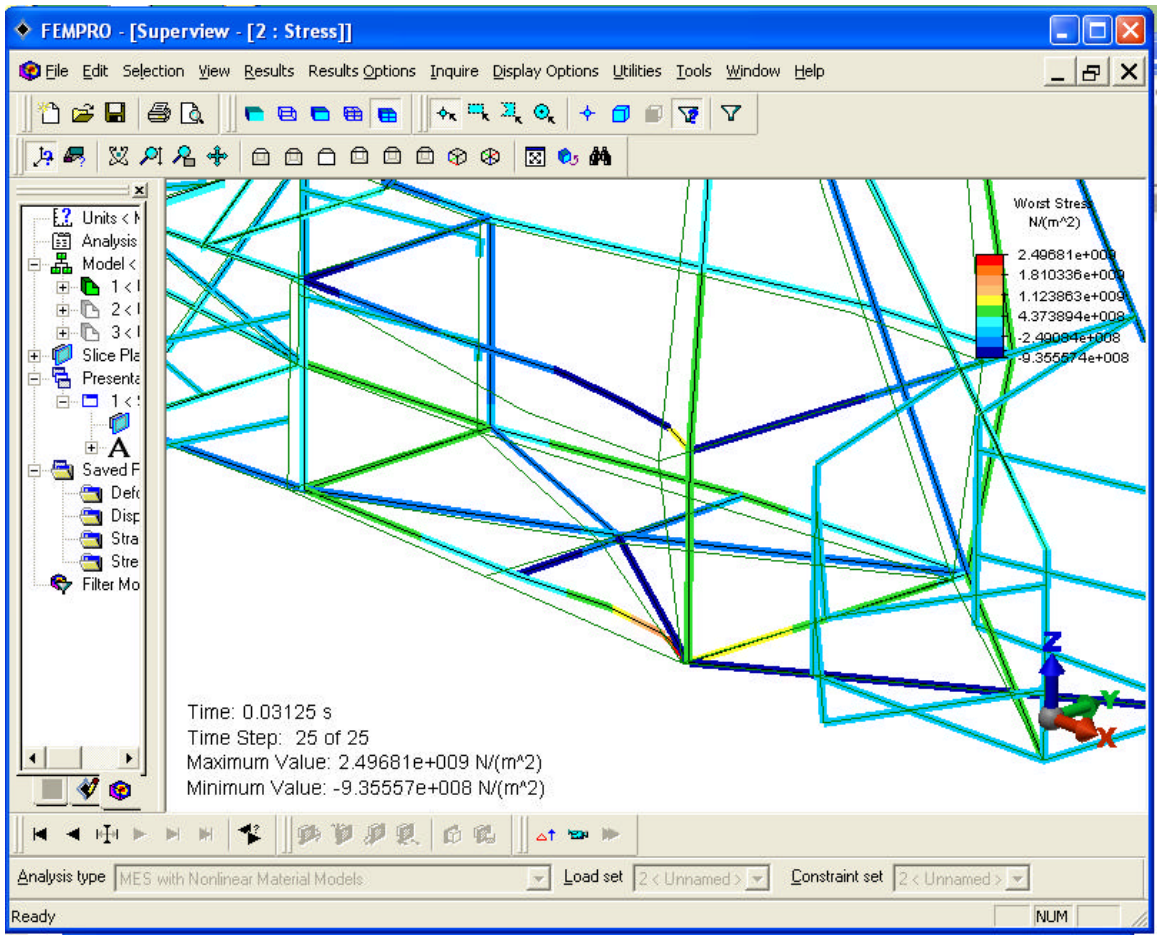

Figura 7. 67 Acercamiento a la Cabina del Piloto al Final del Evento.

En este evento observamos una mayor concentración de los esfuerzos en la parte inferior de la estructura, pero a diferencia del segundo arreglo hubo una disminución de los esfuerzos finales ya que en éste tercer arreglo se alcanzaron esfuerzos de 2.49681 E9 Pa, (ver Figura 7.65)y también se logro reducir los momento flectores en el eje locales 2, ya que en éste arreglo se redujeron hasta 3.76061 E8 Pa, al igual que en el eje local 3 ya que llegaron hasta 2.02275 E9 Pa, como se observa en las Figuras 7.63 y 7.64.

7.5.4 Desarrollo de los Análisis Dinámicos con el Cuarto Arreglo Estructural.

El último arreglo se dispuso un arreglo que está compuesto por una barra que cruza por la mitad el ancho de la cabina y a su vez cada cuadro esta unido por barras en forma de "V" hacia fuera de la barra intermedia, el análisis del evento está representado por las siguientes Figuras que muestran los esfuerzos en la estructura después del impacto.

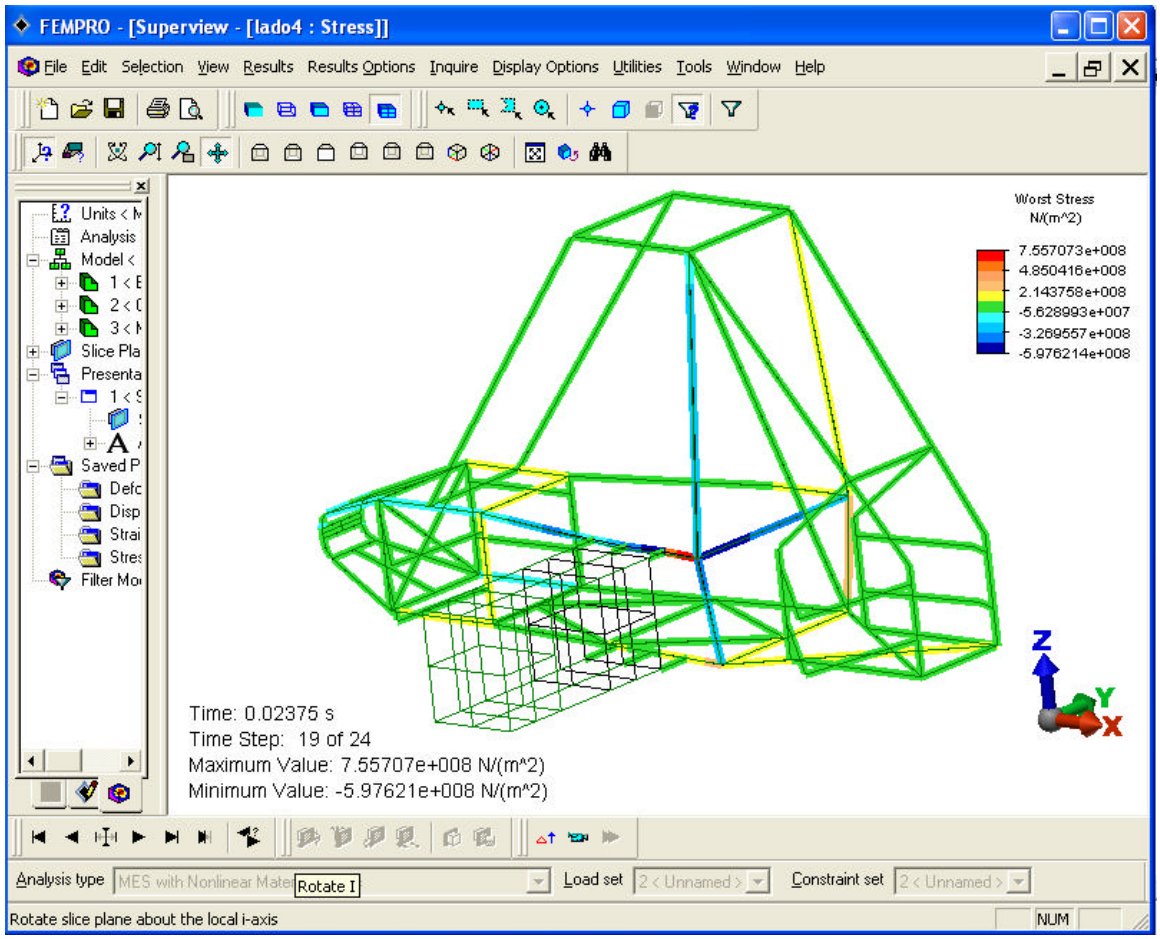

Figura 7. 68 Esfuerzos Causados al Momento del Impacto a los 0.02375 s.

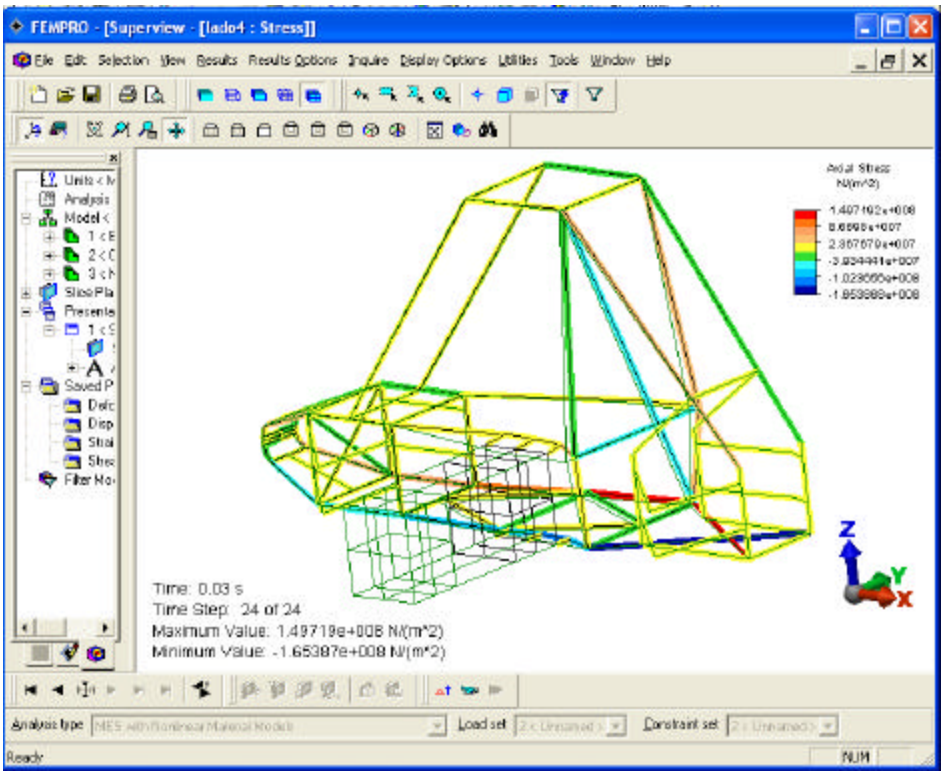

Figura 7. 69 Esfuerzo Axial.

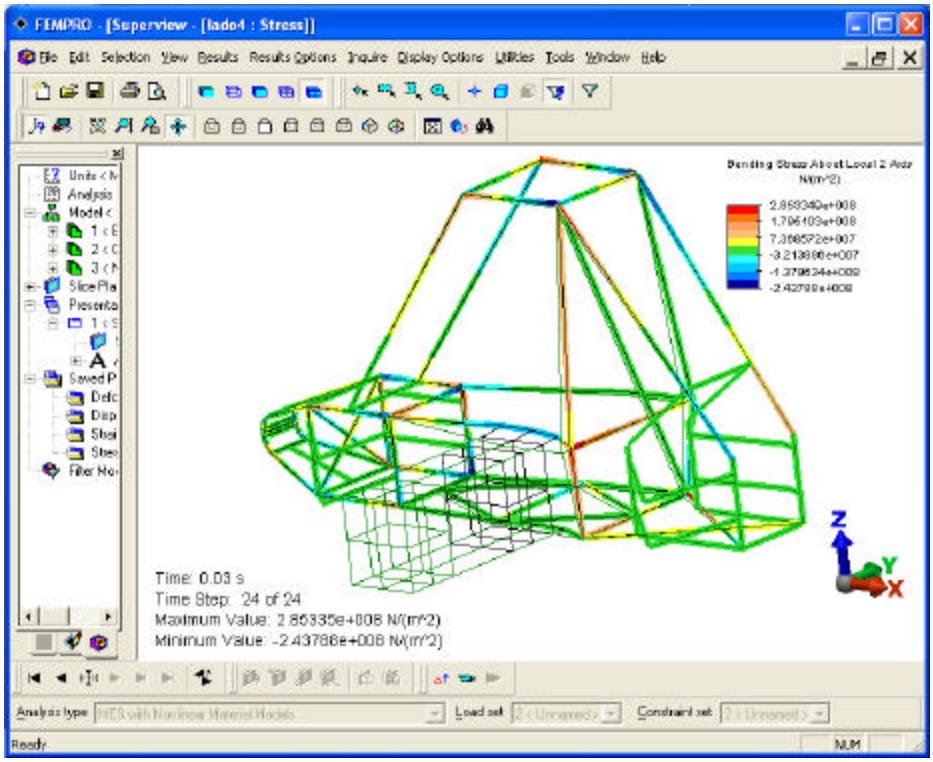

Figura 7. 70 Esfuerzos Causados por los Momentos Flectores en el eje Local 2.

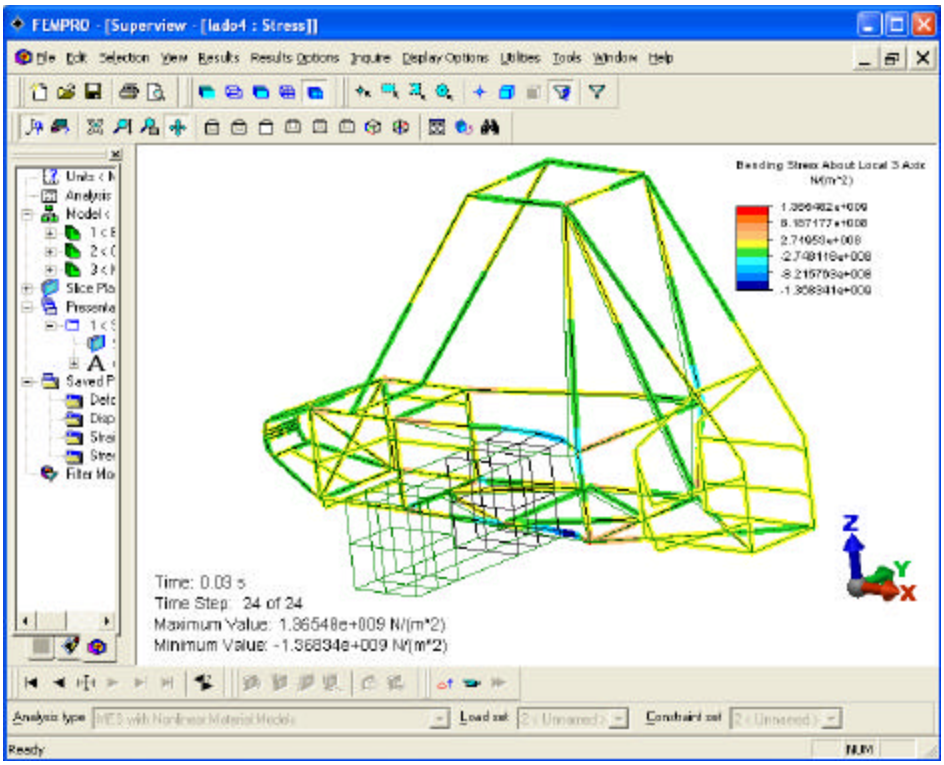

Figura 7. 71 Esfuerzos Causados por los Momentos Flectores en el eje Local 3.

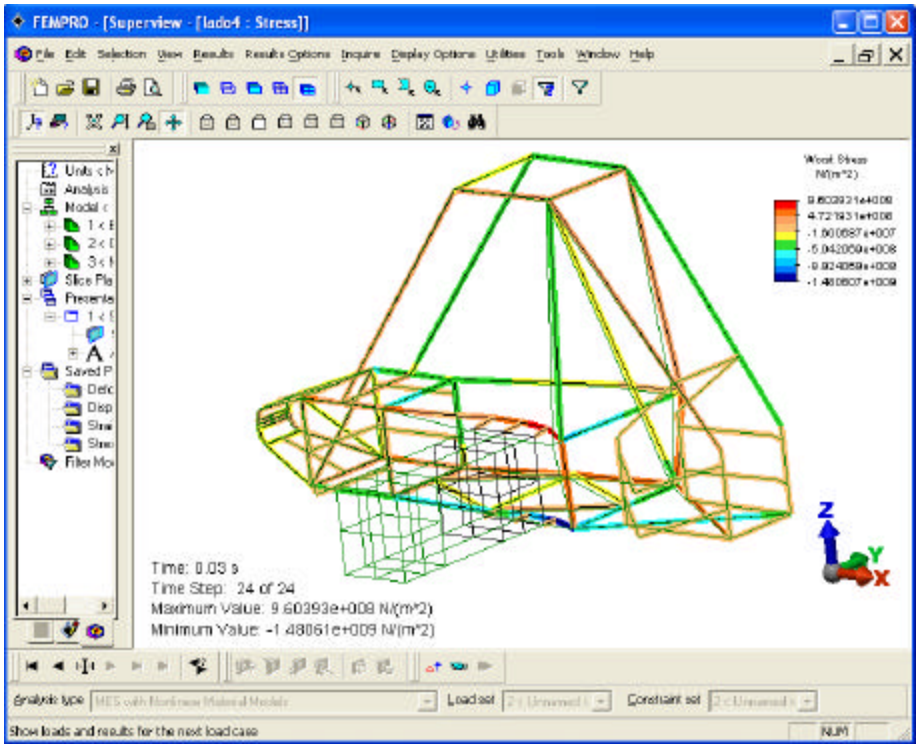

Figura 7. 72 Peores Esfuerzos Presentados en Toda la Estructura al Final del Evento.

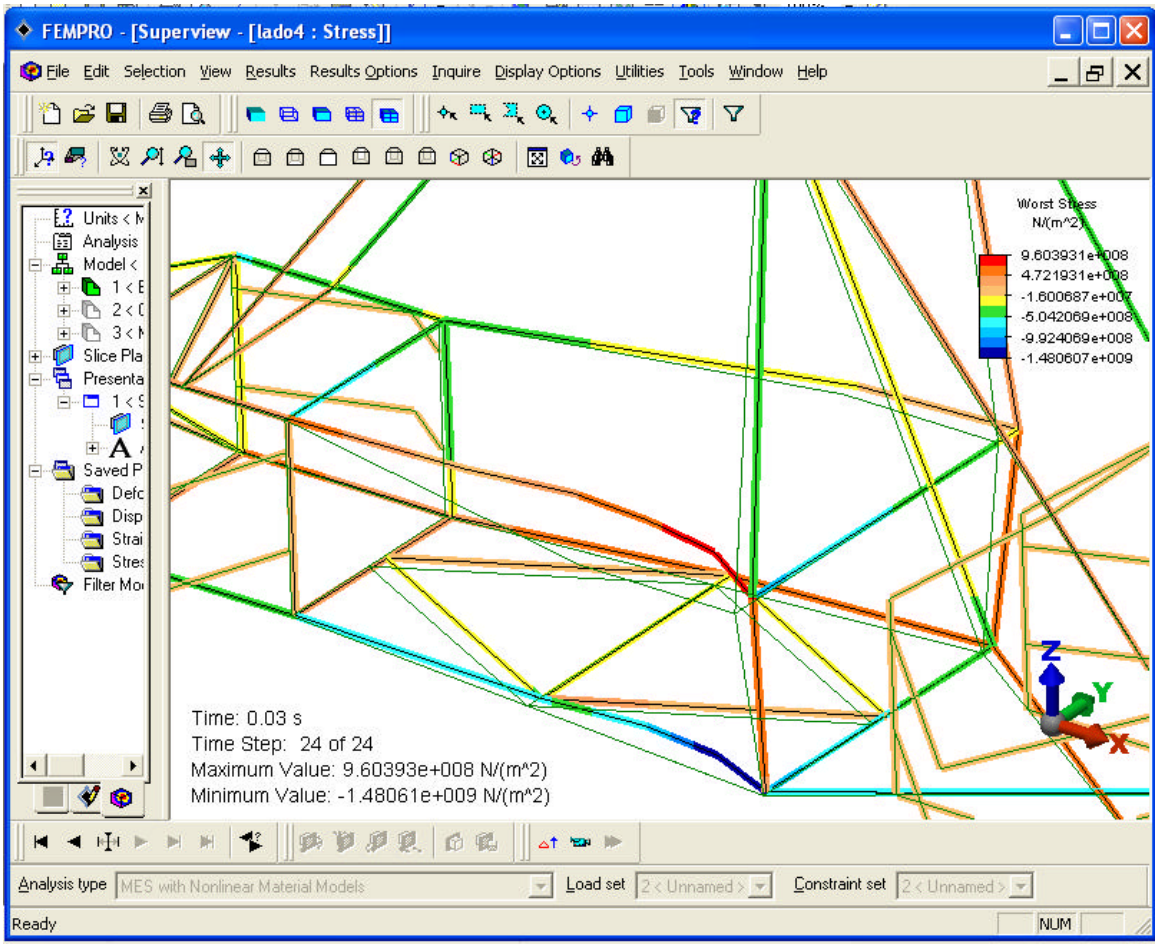

Figura 7. 73 Acercamiento a la Cabina del Piloto al Final del Evento.

En comparación con todos los arreglos, éste último presentó el menor esfuerzo final en la estructura (Figura 7.71), ya que éste fue de 9.60393 E8 Pa, el menor esfuerzo por momentos flectores en el eje local 3 (Figura 7.70) 1.36548 E9, pero el mayor esfuerzo al impacto y esto se debe a la rigidez del arreglo, ya que la parte inferior de la base de la cabecera está compuesta de tal manera que opone mayor resistencia a la deformación.

7.6 Mejoras al diseño

Para producir las mejoras del vehículo se trabajo con todas las variantes de los arreglos hechos en los análisis, para el caso de impacto frontal, se probaron 3 puntas de impacto con diferentes proporciones en cuanto a sus segmentos longitudinales laterales y frontales, es decir, cambiar los ángulos de los tubos de unión y su conformación geométrica como el uso de dobleces circulares en la punta.

Para el caso de impacto lateral se desarrollaron 4 arreglos estructurales que absorban una mayor cantidad de energía que las presentes, para impedir la penetración de los objetos en la cabina y para disminución de los esfuerzos. Los arreglos hechos van desde tener un arreglo más rígido hasta que absorban mas los esfuerzos, aunque eso significa un incremento en la deformación, en el caso de mayor deformación se estudiarán cual de ellas no ponen en riesgo la integridad del piloto.

7.6.1 Mejoras para impacto frontal

Para la mejora de la punta de impacto se analizaron los comportamientos de cada punta, se fueron realizando algunas modificaciones en su geometría, con el fin de ofrecer una menor deformación en la estructura de la punta para que, de sufrir un accidente de tipo frontal la estructura sufra la menor deformación y así solo el elemento a sustituir sea la punta de impacto, cabe mencionar que siempre fue de primordial importancia en ésta tesis la integridad del piloto.

La primera punta de impacto mostró poseer un pésimo comportamiento para el impacto a la que fue sometida. Sin embargo, todavía es posible generar una estructura más confiable empleando la misma cantidad de material, o incluso reducirla.

Tal fue el caso de la segunda punta, ya que se redujo el área de contacto, ya que como se sabe entre menor sea el área, el esfuerzo será mayor y haciendo la conjetura de que al ser mayor el esfuerzo también sería mayor la deformación del material, y con esto se observaría primero la deformación de la punta y no así la ruptura de los miembros que la conforman, pero como se vio en las desde la Figura 7.34 a la 7.39 esto no fue posible, ya que primero se presento la desunión de los elementos, incluso como se observo en la gráfica de la Figura 7.40 ni siquiera existe la aparición de endurecimiento por deformación, ya que la estructura es demasiado rígida limitando la deformación a solo elástica y linear.

En todos los casos siguientes, la estructura de la punta de impacto fue modelada en elementos demasiado rígidos, por lo que el impacto fue muy severo con proporciones suficientes para propiciar un comportamiento con deformaciones elásticas.

Todas las puntas de impacto fueron restringidas de igual manera y sometidas a cargas de la misma velocidad, es decir una velocidad promedio de 16.67 m/s.

A pesar de mostrar un comportamiento bastante aceptable, se harán algunas modificaciones para encontrar una estructura capaz de soportar impactos de mayor magnitud con la misma cantidad de material.

Para continuar con las pruebas se modela a continuación una punta de impacto completamente simétrica, tanto en el eje horizontal como en el eje vertical buscando una distribución más uniforme de los esfuerzos. La geometría simétrica sometida a la misma velocidad de 16.67 m/s la misma rigidez que los anteriores, buscando con ello una deformación y una absorción de esfuerzos lo suficientemente buena para así contener las fuerzas a las que se somete, y por otro lado permite deformación permanente solo en la punta de impacto.

Esta tercera geometría propuesta brinda una excelente mejora y por el contrario el esfuerzo se concentra en menos elementos pero con mayores magnitudes, al igual que las deformaciones solo en la punta. Se pudo lidiar con desventajas que presentaban los diseños anteriores incorporando elementos curvos para distribuir el impacto [16]. Una nariz redondeada es la encargada de distribuir los esfuerzos entre los diversos elementos que componen la punta de impacto. Como puede observarse en el análisis por elementos finitos, al ser sometida a la misma magnitud de velocidad que las dos puntas de impacto anteriores los esfuerzos internos fueron mucho menores, pero ganamos en una deformación que solo se presenta en la zona deseada sin trastornar la estructura elemental, ni llegar a la ruptura de los elementos.

Los valores de esfuerzos se redujeron, ya que de 8.32429 E8 Pa que presentaba la primera punta (ver Figura 7.31), se redujeron a 3.99555 E8 Pa, en la segunda punta, para finalmente reducirlos a 1.81076 E8 Pa en la tercera punta (ver Figura 7.44), cabe mencionar que aunque éste esfuerzo es menor al límite de cedencia no significa que la estructura no haya fallado, sino que el esfuerzo es el que presento al final del evento, ya

que como se había mencionado anteriormente una vez que sobre paso el límite de cedencia los tubos sufren cambios constantes de los valores de esfuerzo, pero aun así podemos ver el evento como exitoso, ya que la parte afectada es solo la punta de impacto.

7.6.2 Mejoras para impacto lateral.

Para mejorar las distribuciones de esfuerzo en el impacto lateral, se emplearán los tubos de aluminio de las mismas características, pero con la variantes en su base, con el fin de conseguir la mayor rigidez al momento del primer impacto, ya que al ofrecer una mayor resistencia al primer contacto, se buscará conseguir una menor deformación de los tubos laterales, y ver cual de estos arreglos demuestra una mejor distribución de esfuerzos en las zonas deformables.

Las barras que reciben el impacto directamente y que además son las que forman el volumen protector del piloto son las que también presentan mayor deformación, por lo cual los análisis anteriores nos sirvieron para saber cual arreglo de la base ayudaba a la menor presencia de deformaciones.

Lo que buscaremos principalmente es que la mejor distribución de la fuerza en la estructura, y por lo tanto una menor concentración de esfuerzos se deba a que la estructura se va deformando de manera más uniforme.

A continuación se analizan las gráficas generadas de desplazamiento contra

tiempo para los modelos diseñados y con ello poder establecer cual es el mejor modelo que podemos implementar la su construcción.

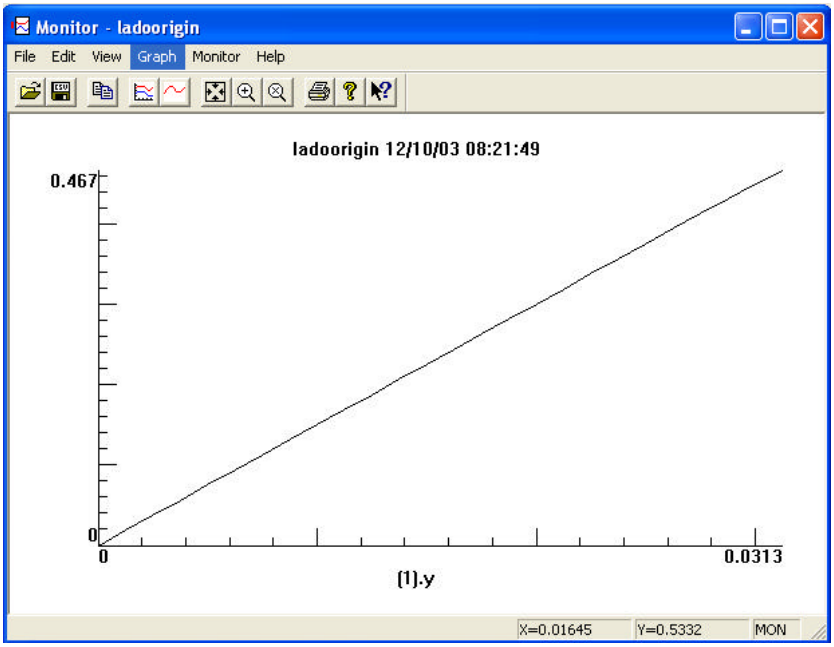

Figura 7. 74 Gráfica de Desplazamiento del Primer Arreglo.

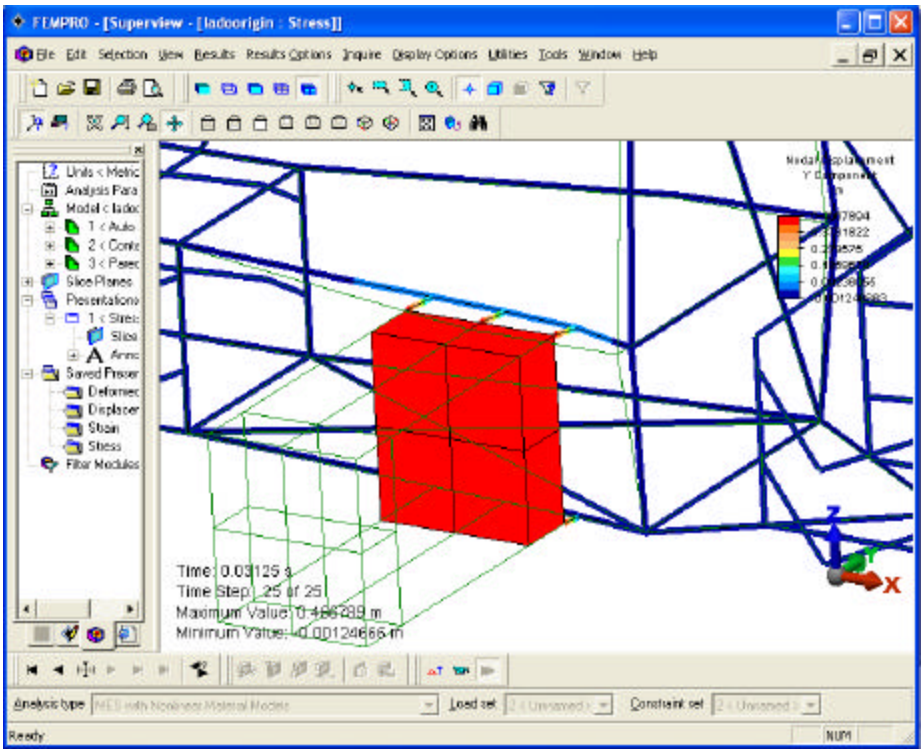

Figura 7. 75 Desplazamiento Nodal en el Eje Y del Primer Arreglo.

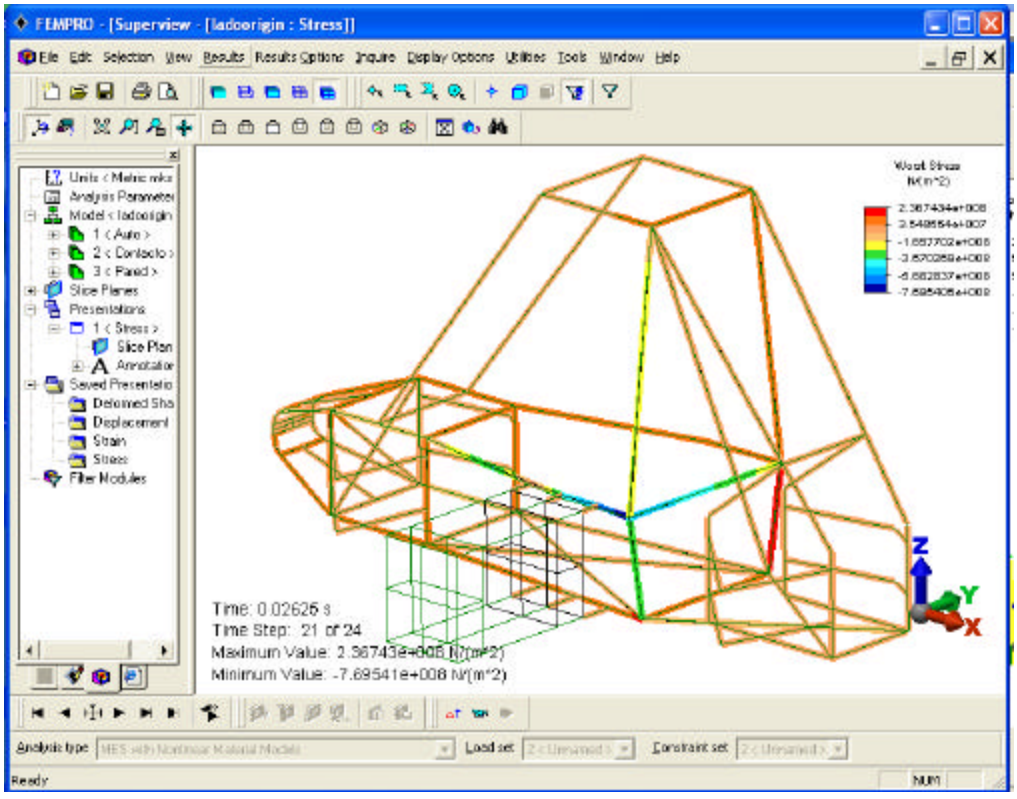

Figura 7. 76 Esfuerzo Generado en el Momento Justo del Impacto, Primer Arreglo

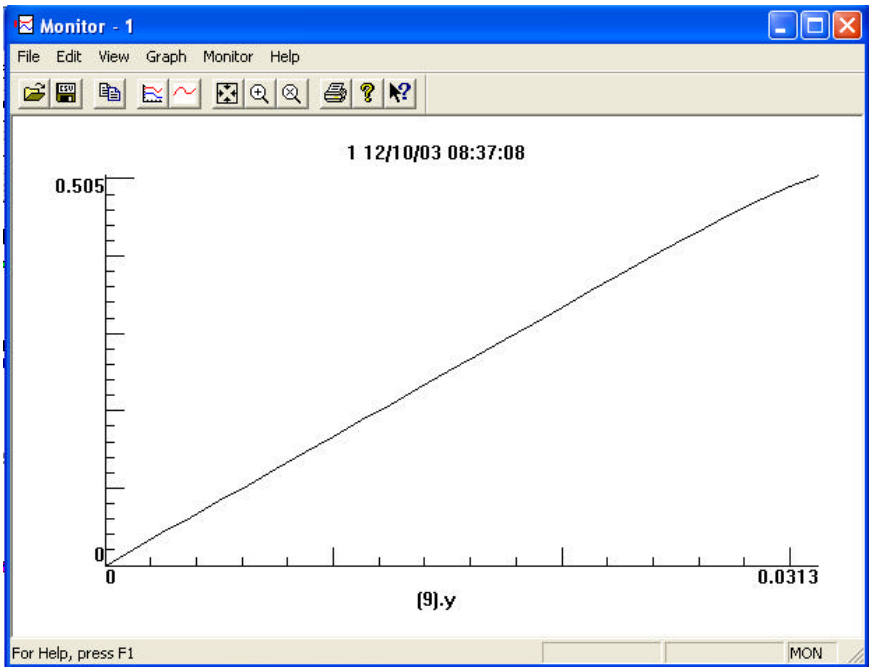

Figura 7. 77 Gráfica de Desplazamiento del Segundo Arreglo.

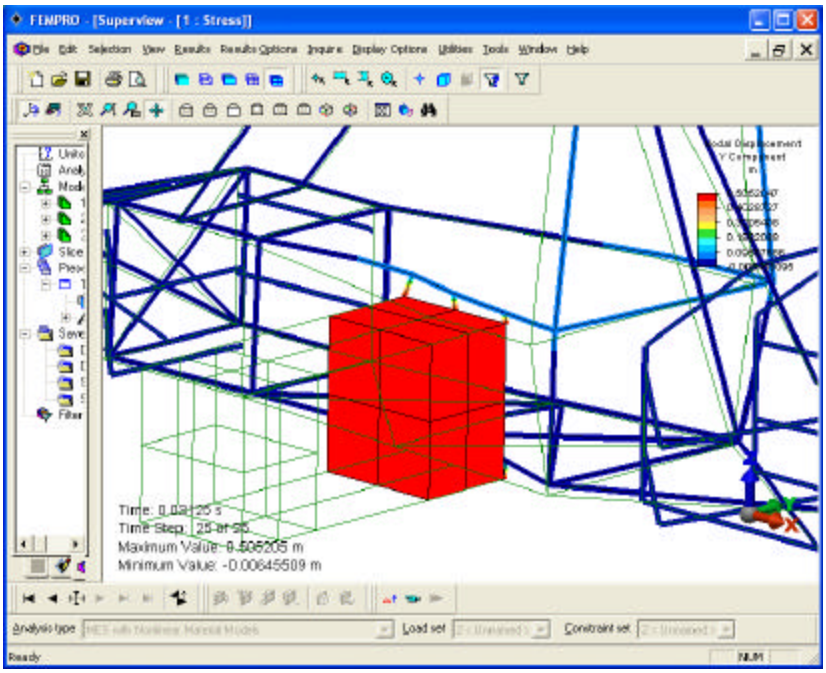

Figura 7. 78 Desplazamiento Nodal en el Eje Y del Segundo Arreglo.

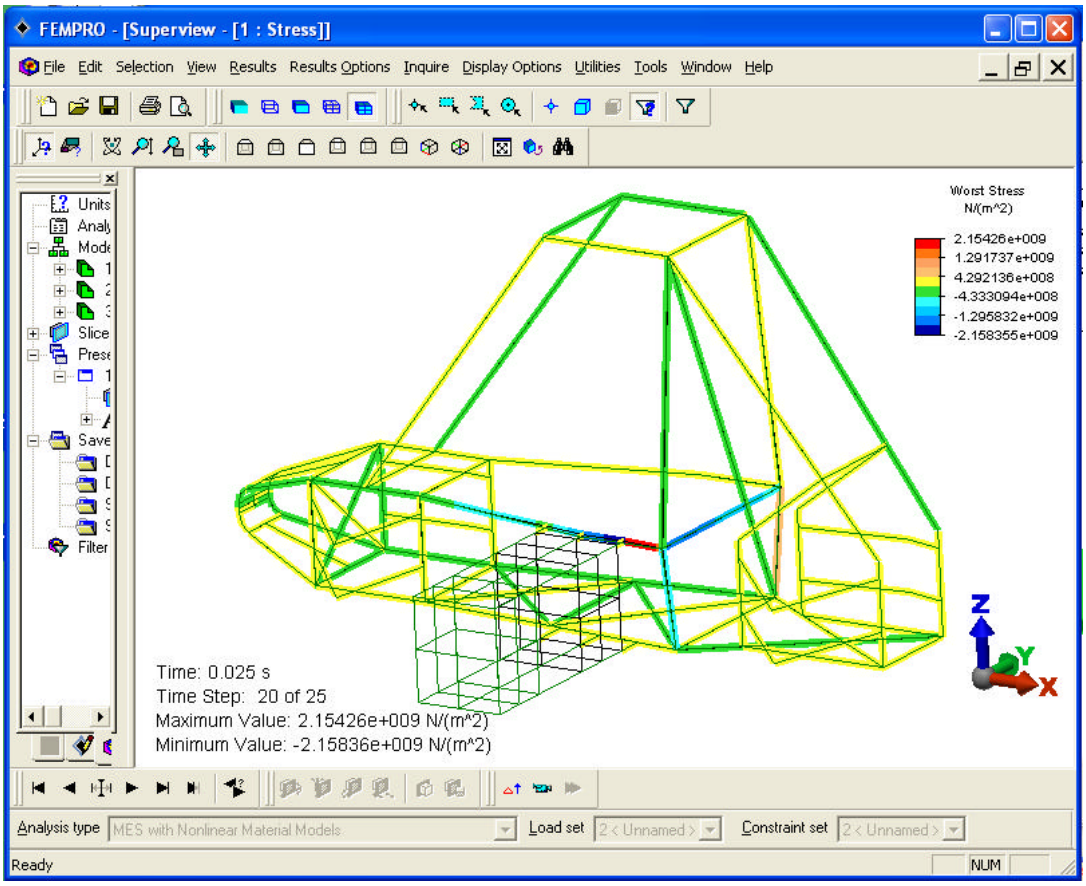

Figura 7. 79 Esfuerzo Generado en el Momento Justo del Impacto, Segundo Arreglo

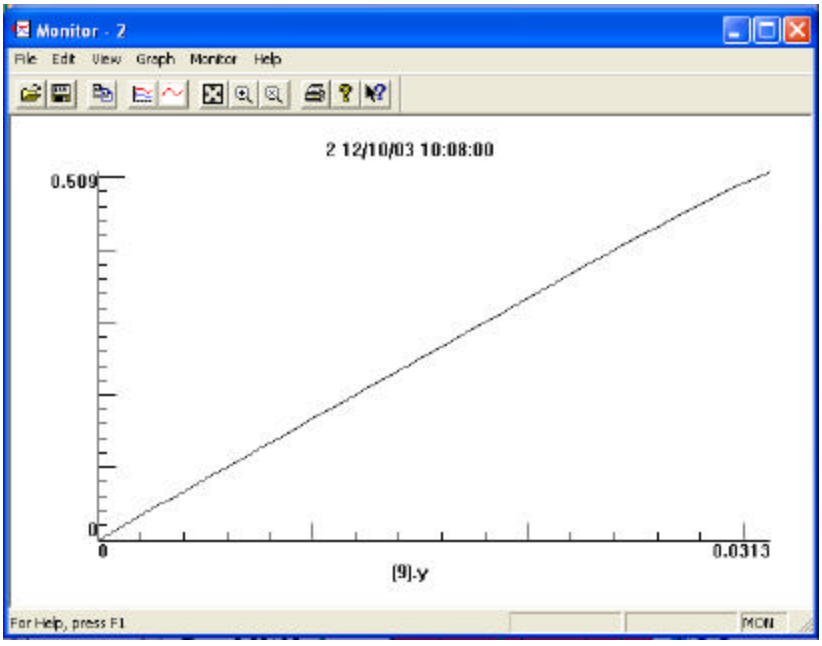

Figura 7. 80 Gráfica de Desplazamiento del Tercer Arreglo.

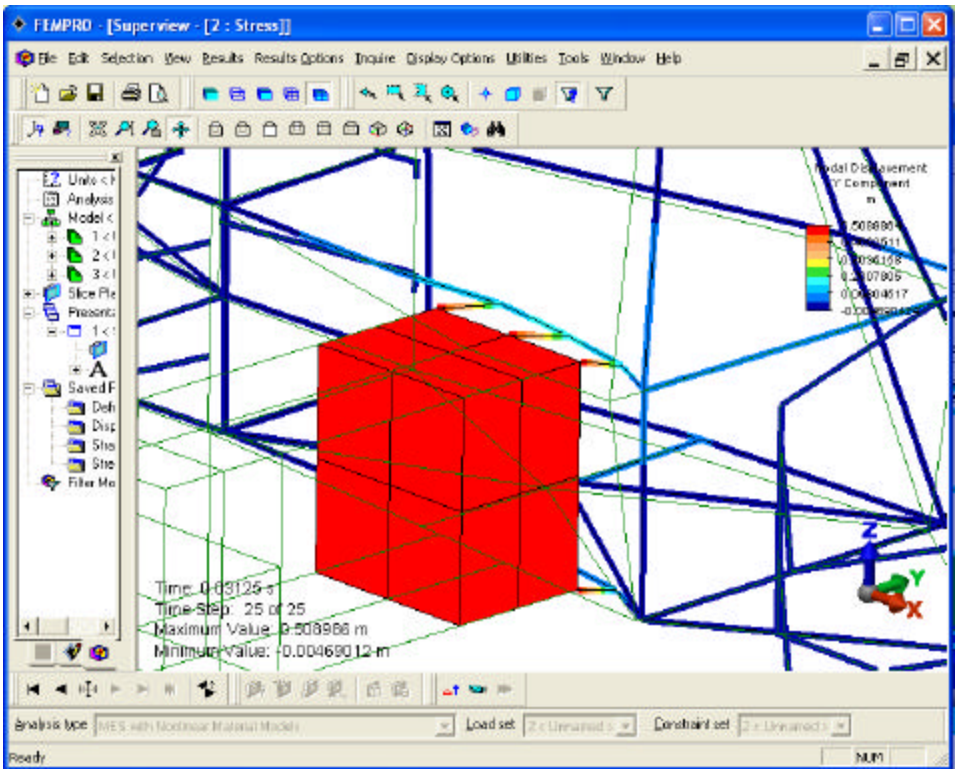

Figura 7. 81 Desplazamiento Nodal en el Eje Y del Tercer Arreglo.

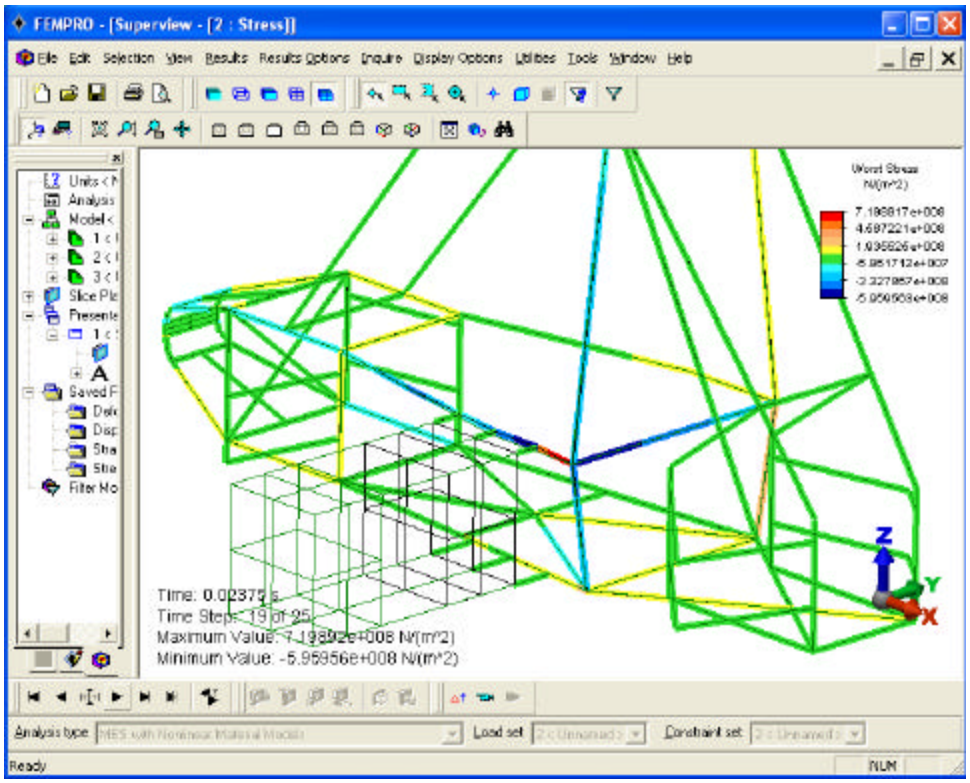

Figura 7. 82 Esfuerzo Generado en el Momento Justo del Impacto, Tercer Arreglo

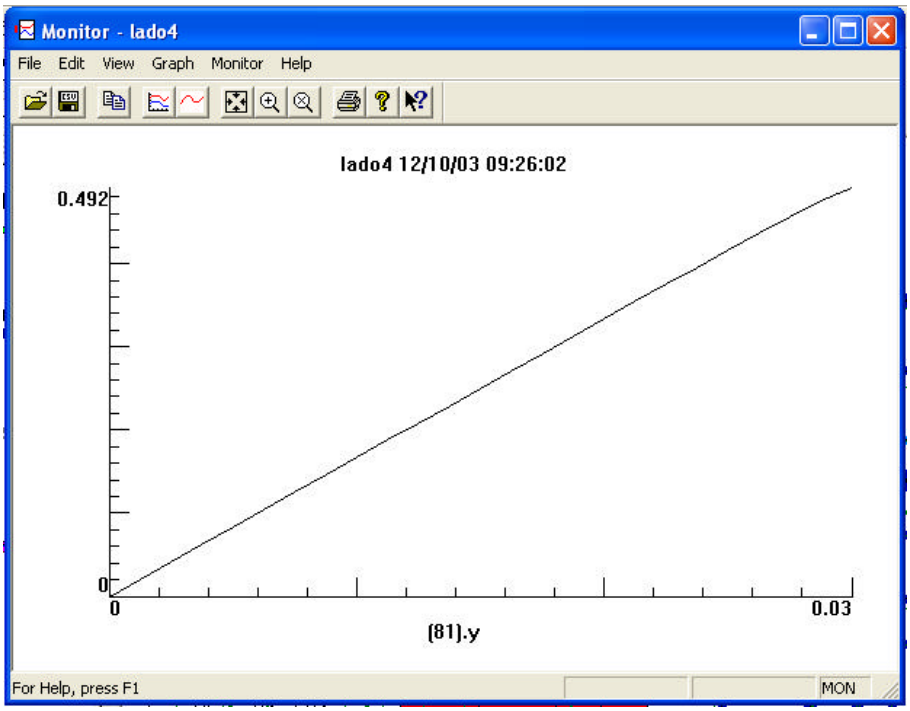

Figura 7. 83 Gráfica de Desplazamiento del Cuarto Arreglo.

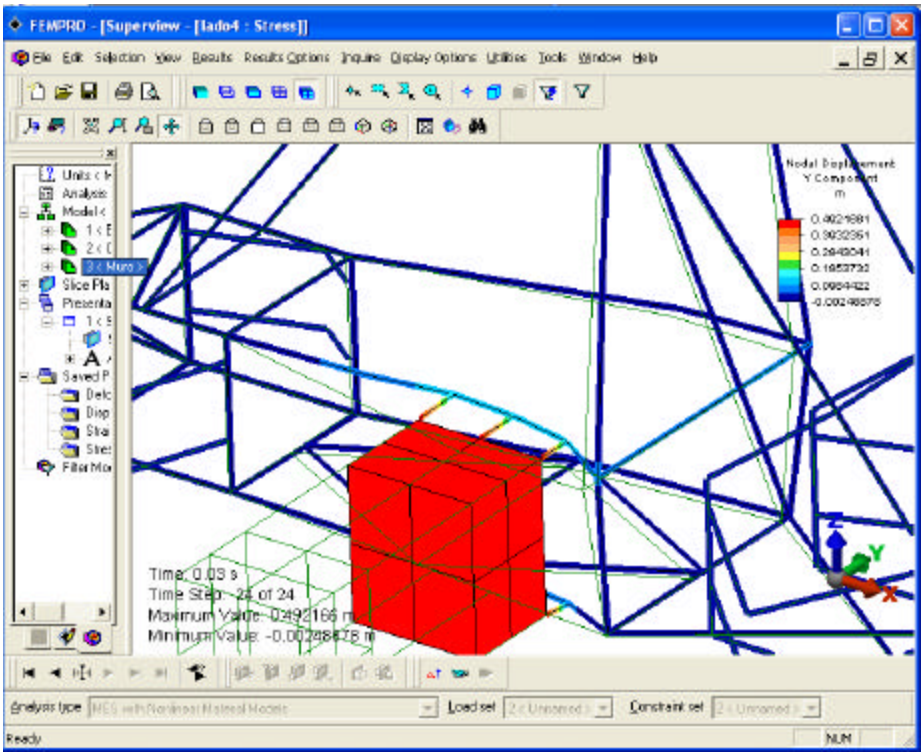

Figura 7. 84 Desplazamiento Nodal en el Eje Y del Cuarto Arreglo.

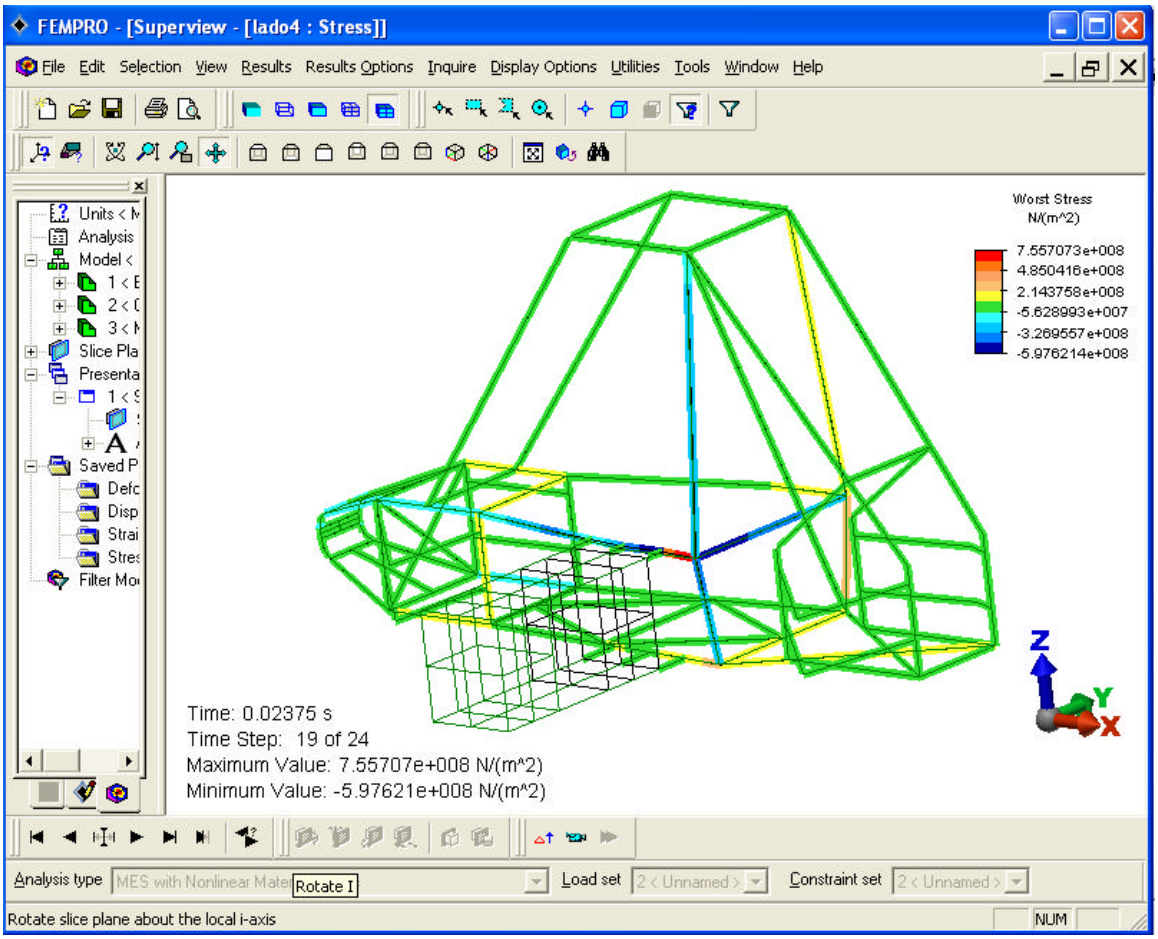

Figura 7. 85 Esfuerzo Generado en el Momento Justo del Impacto, Cuarto Arreglo

El análisis de impacto lateral arroja interesantes datos de donde se pueden obtener los datos necesarios para hacer las comparaciones y evaluar las propuestas de nuevos proyectos.

Arreglo Estructural	Valor del Desplazamiento (m.)	Valor del Esfuerzo en el Momento del Impacto Pa.
Primero	0.466789	2.36743 E8
Segundo	0.505205	2.15426 E9
Tercero	0.508986	7.19892 E8
Cuarto	0.492166	7.55707 E8

El mayor valor de desplazamiento para el auto se encuentra en el arreglo estructural número tres, la cual es 0.508986 m. lo que podemos ver, es que ese desplazamiento es demasiado y pone en demasiado riesgo al piloto, al mismo tiempo que ésta estructura está es segundo lugar de mayor esfuerzo, datos importantes nos indican que este arreglo no debe ser empleado ya que existen momentos flectores que ponen en riesgo al piloto y prueba de ello son los esfuerzos de los momentos flectores presentados en la estructura (ver Figura 7.86), y el exceso desplazamiento de mas de medio metro .

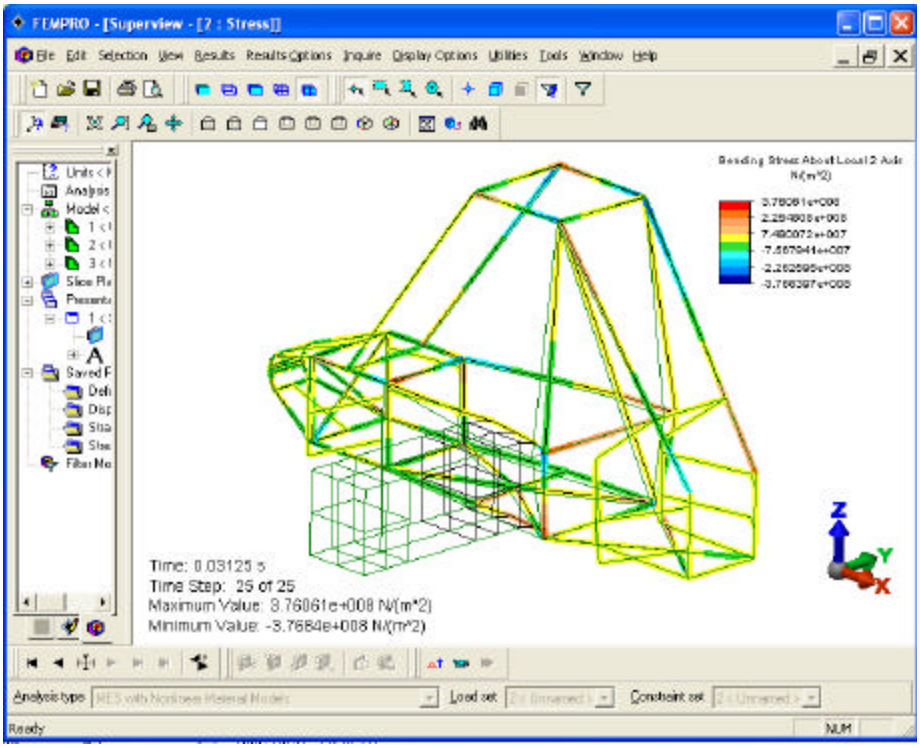

Figura 7. 86 Estructura con el Mayor Momento Flector.

El caso de los valores máximos de esfuerzo también muestran diferencias entre los valores máximos de esfuerzo generado en cada auto. Es importante recordar que estas gráficas únicamente incluyen los esfuerzos generados de la ecuación F/A sin incluir los

valores generados por esfuerzos de torsión y flectores.

Como habíamos mencionado el arreglo número tres era el pero de los cuatro y por lo tanto no debe de ser empleado, pero con el rediseño que se hizo en ésta tesis la estructura sufre muy poco desplazamiento, incluso no existe una deformación excesiva, a tal grado que puede ser aceptada. El diseño empleado resulto ser mejor de lo esperado ya que también se redujeron notablemente los esfuerzos de la estructura y su distribución.

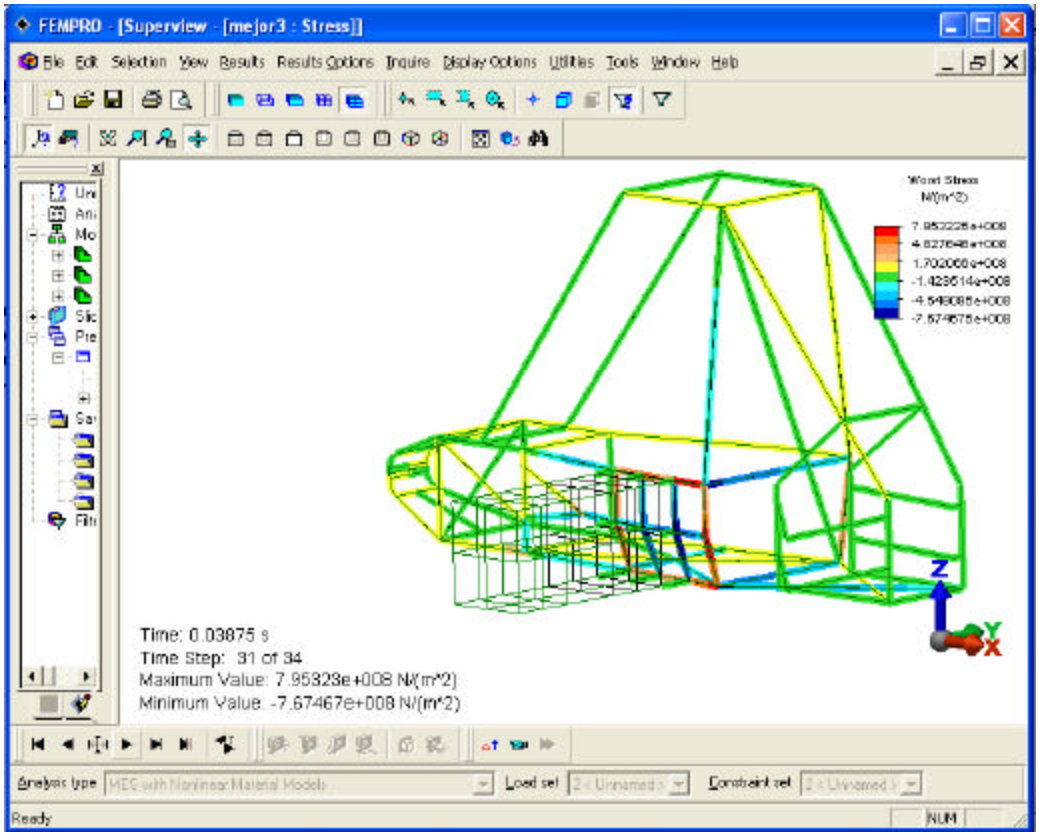

Figura 7. 87 Esfuerzos Presentados en el Momento del Impacto.

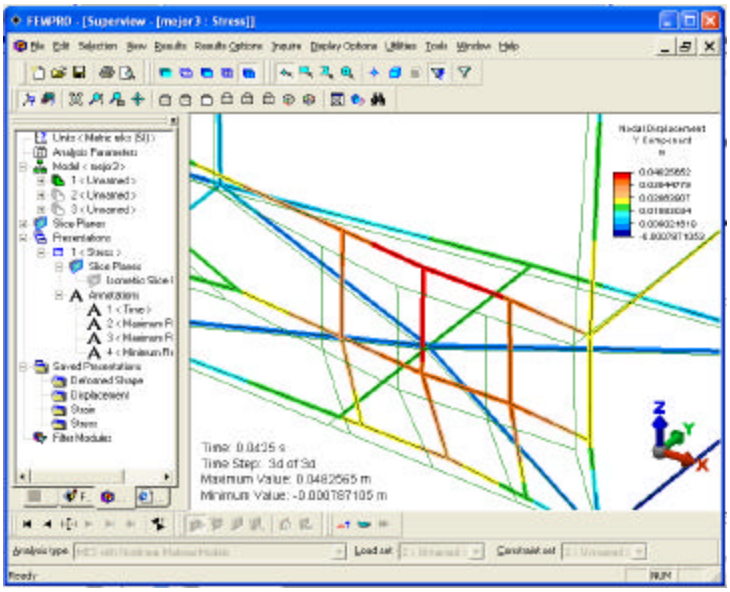

Figura 7. 88 Desplazamiento de la Estructura.

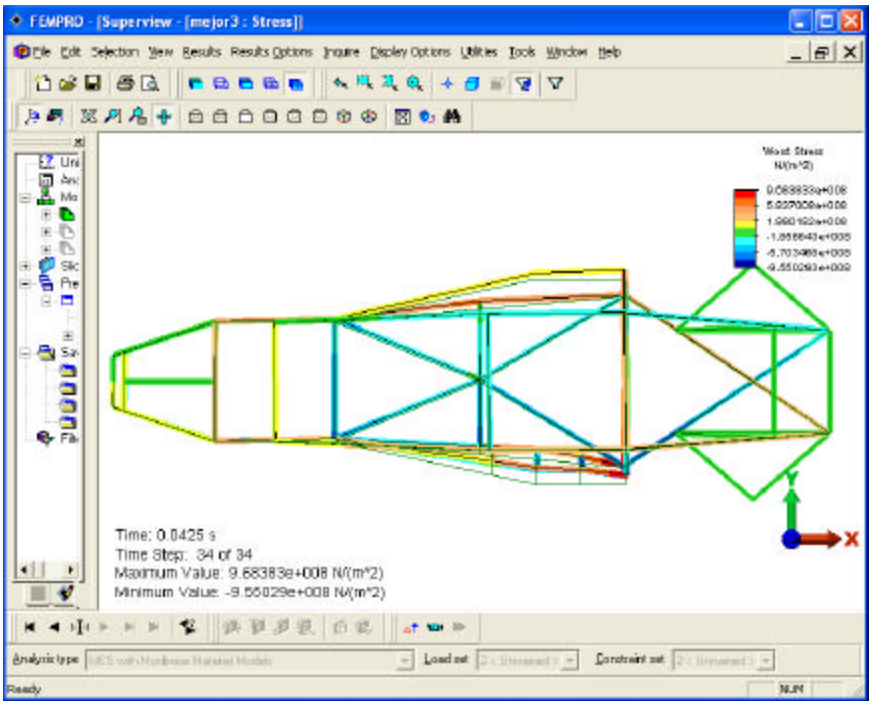

Figura 7. 89 Vista Superior del Mayor Esfuerzo.

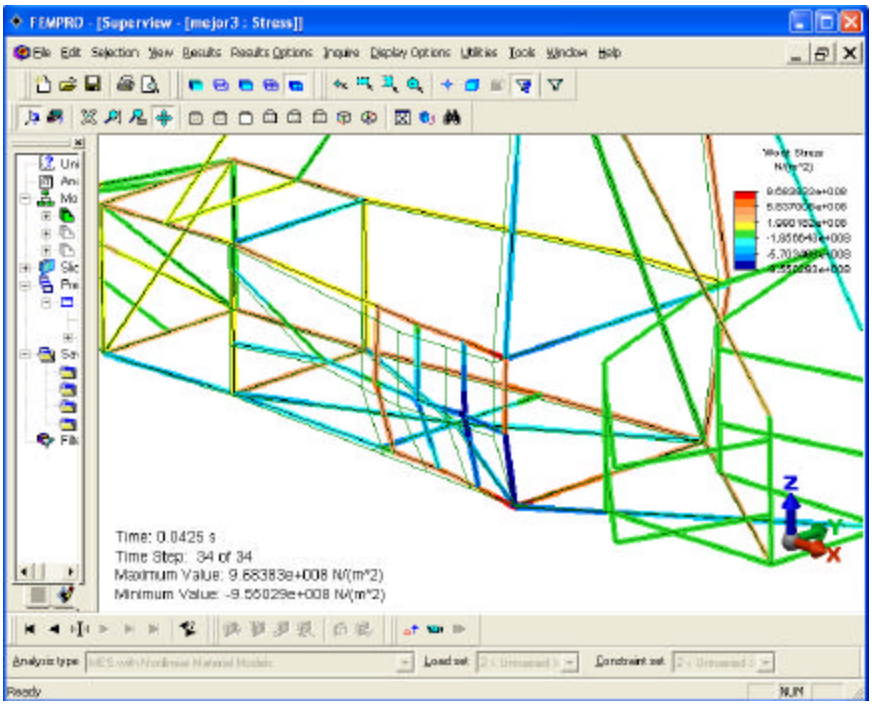

Figura 7. 90 Vista Isométrica del Peor Esfuerzo.

Con el arreglo realizado sobre la estructura garantizamos mantener la integridad del piloto con cualquier diseño anterior, por lo cual ahora se implementará el nuevo diseño a los demás arreglos para poder tomar el en mejor en resistencia, distribución y soporte a grandes esfuerzos. Inclusos reducirlos lo más posible.

Las siguientes imágenes representarán la implementación del diseño en el arreglo estructural numero 2.

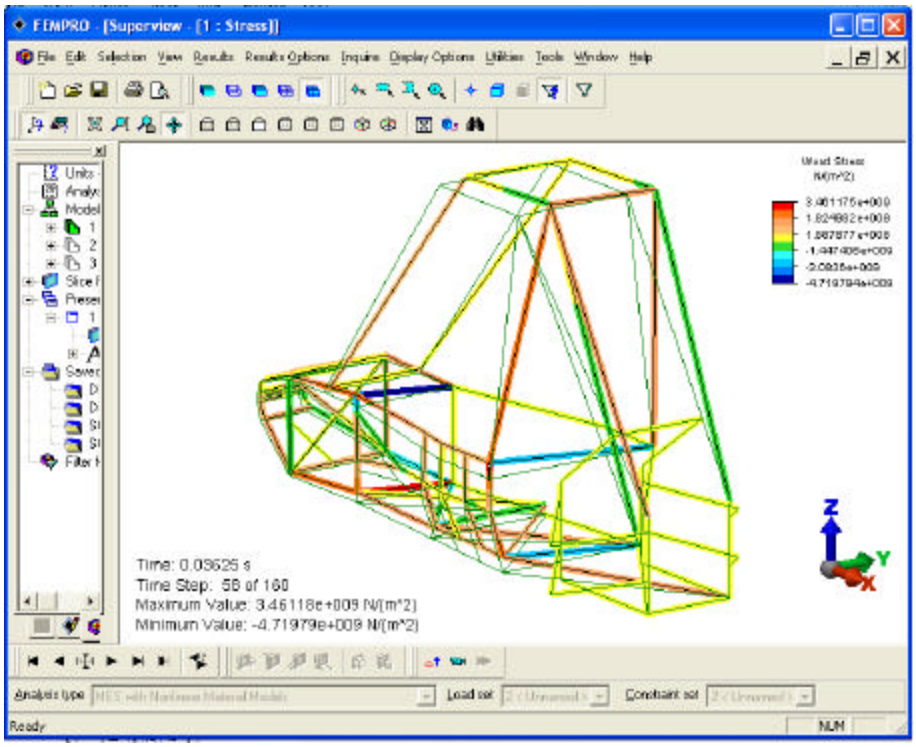

Figura 7. 91 Vista Isométrica de la Deformación y del Peor Esfuerzo

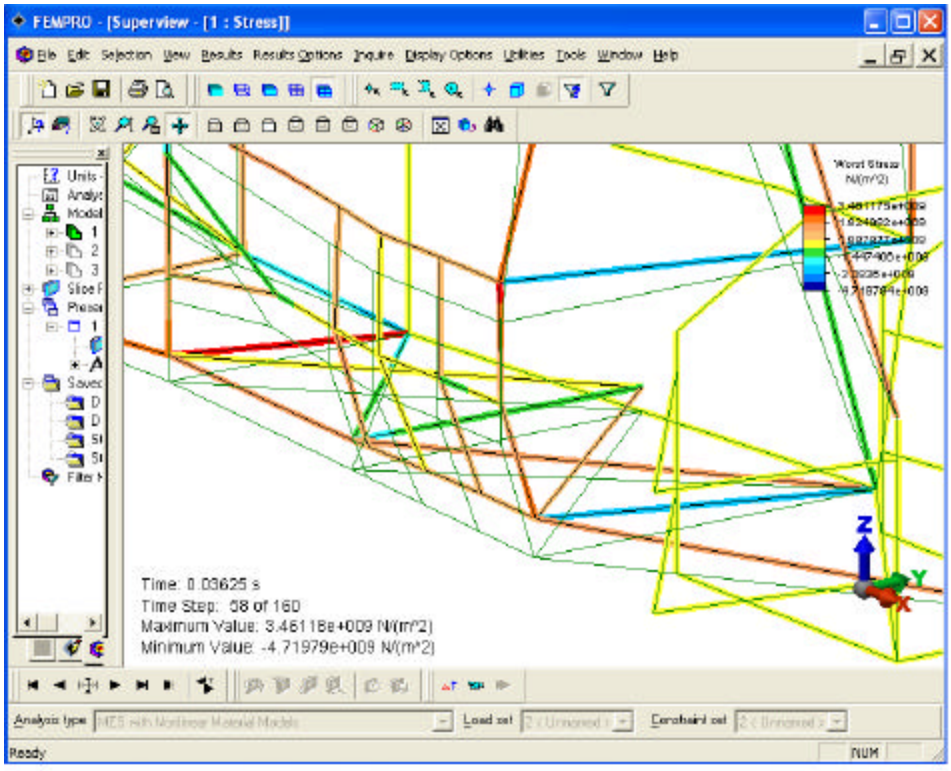

Figura 7. 92 Desunión de los elementos de Soporte.

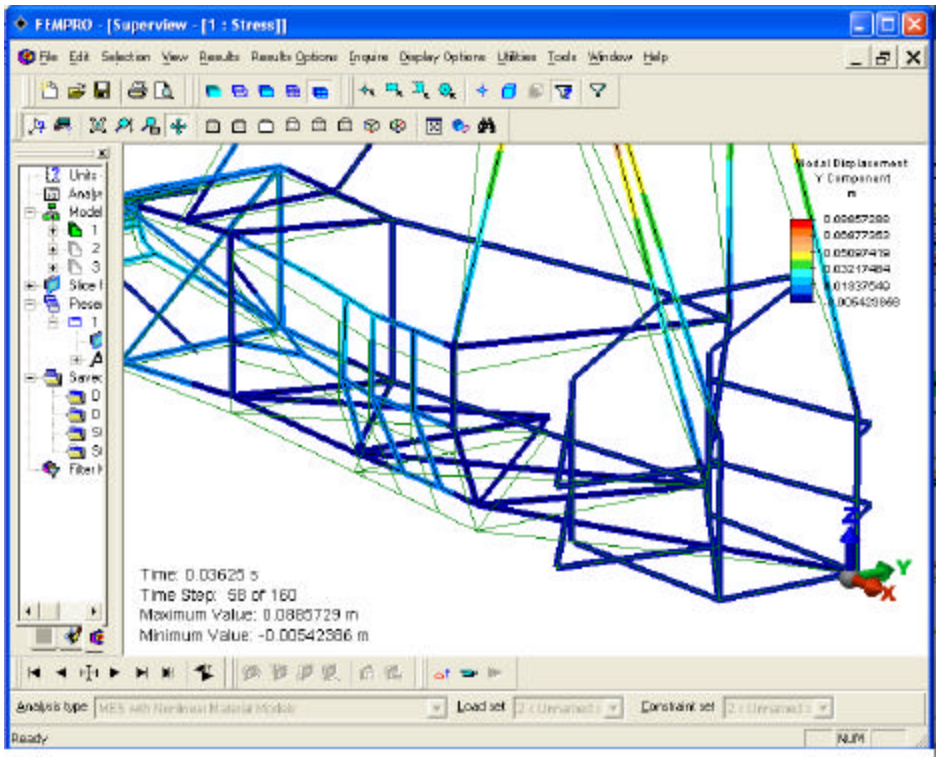

Figura 7. 93 Desplazamiento de la Estructura.

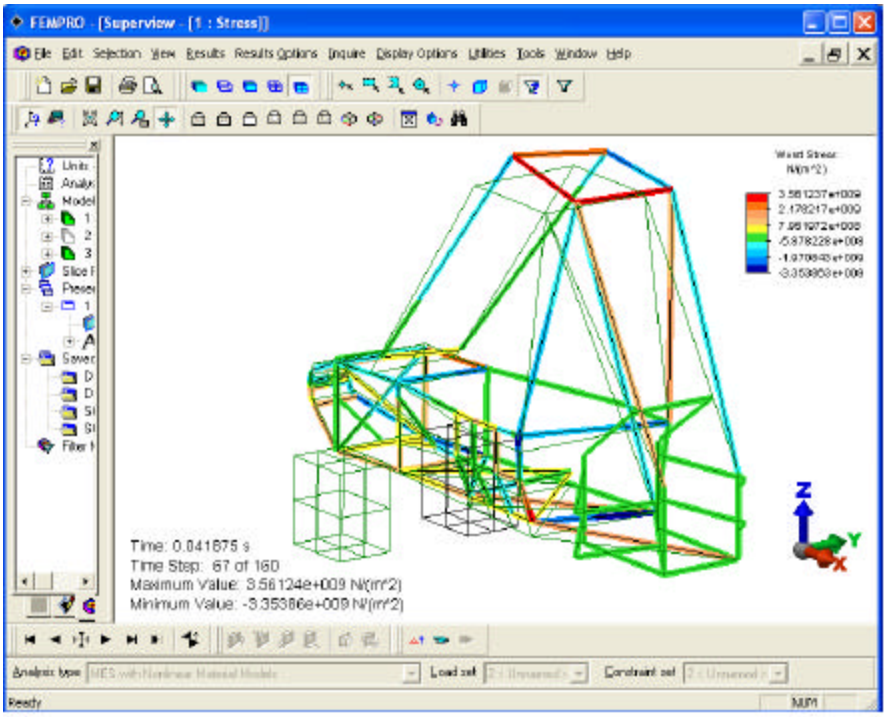

Figura 7. 94 Impacto Severo del elemento de Impacto en la Estructura.

Como se ve gráficamente de la Figura 7.91 a la 7.94 el diseño para soportar el impacto lateral no fue suficiente, por lo contrario, la estructura es demasiado rígida y provocan momentos flectores que hacen fallar y vibrar a la estructura.

Ahora se implementará el diseño al arreglo número uno.

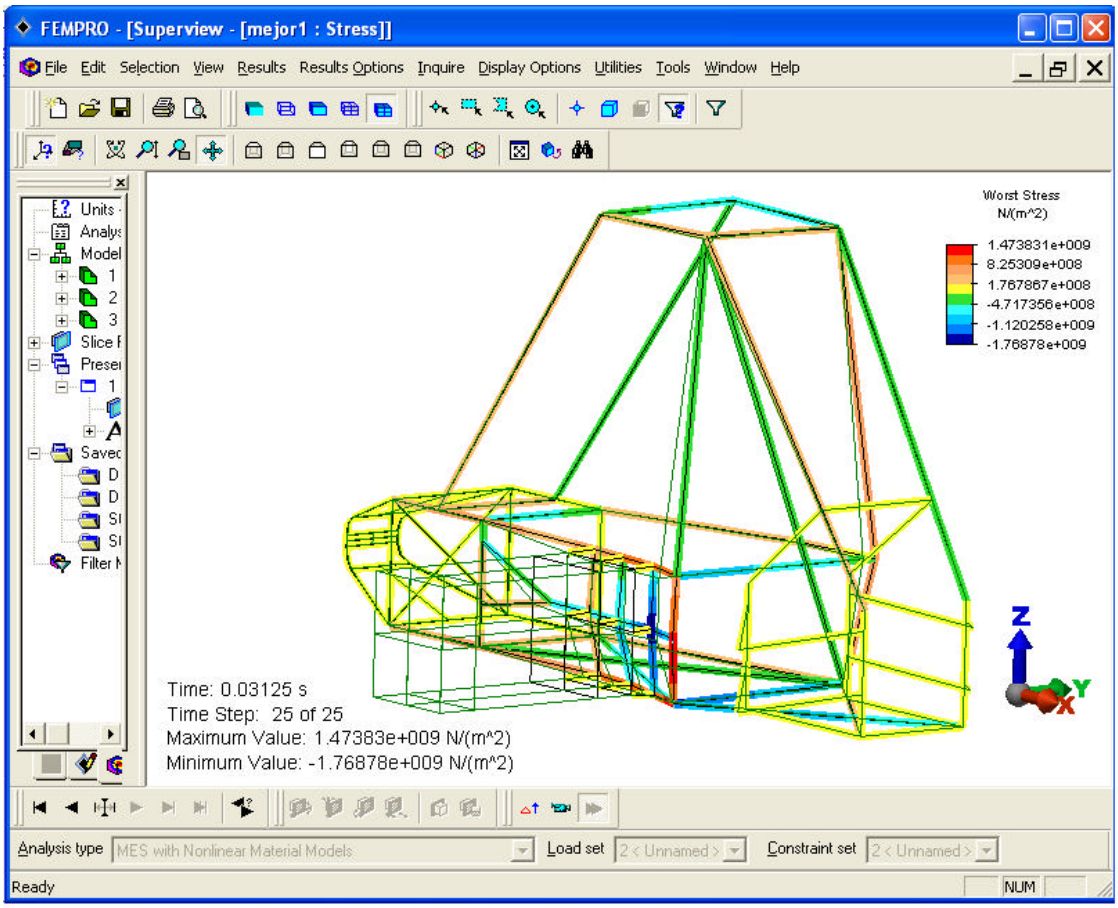

Figura 7. 95 Vista Isométrica del Peor Esfuerzo

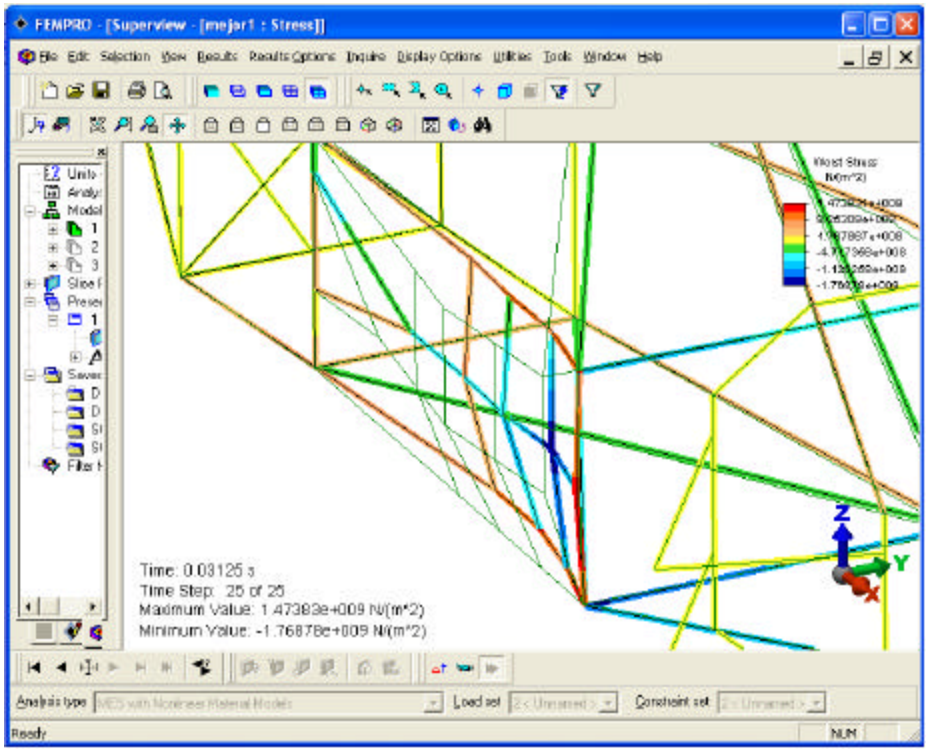

Figura 7. 96 Acercamiento en la Parte Lateral de la Estructura.

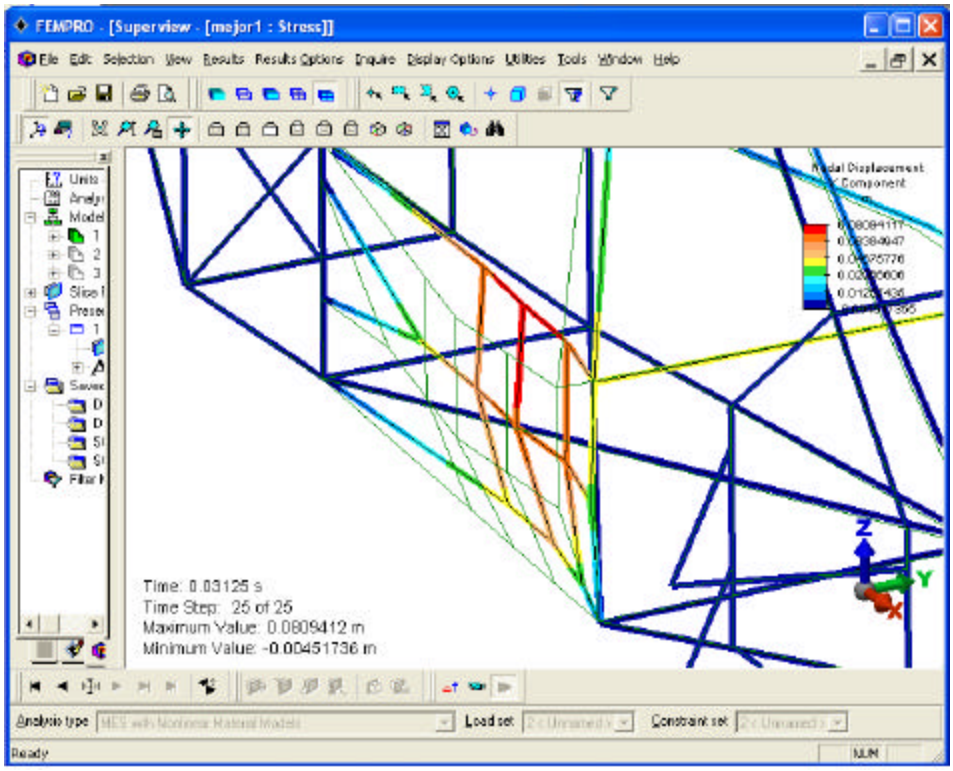

Figura 7. 97 Desplazamiento de los Tubos de Protección.

Para poder realizar la comparación completa por último se implementará el diseño lateral al cuarto arreglo estructural.

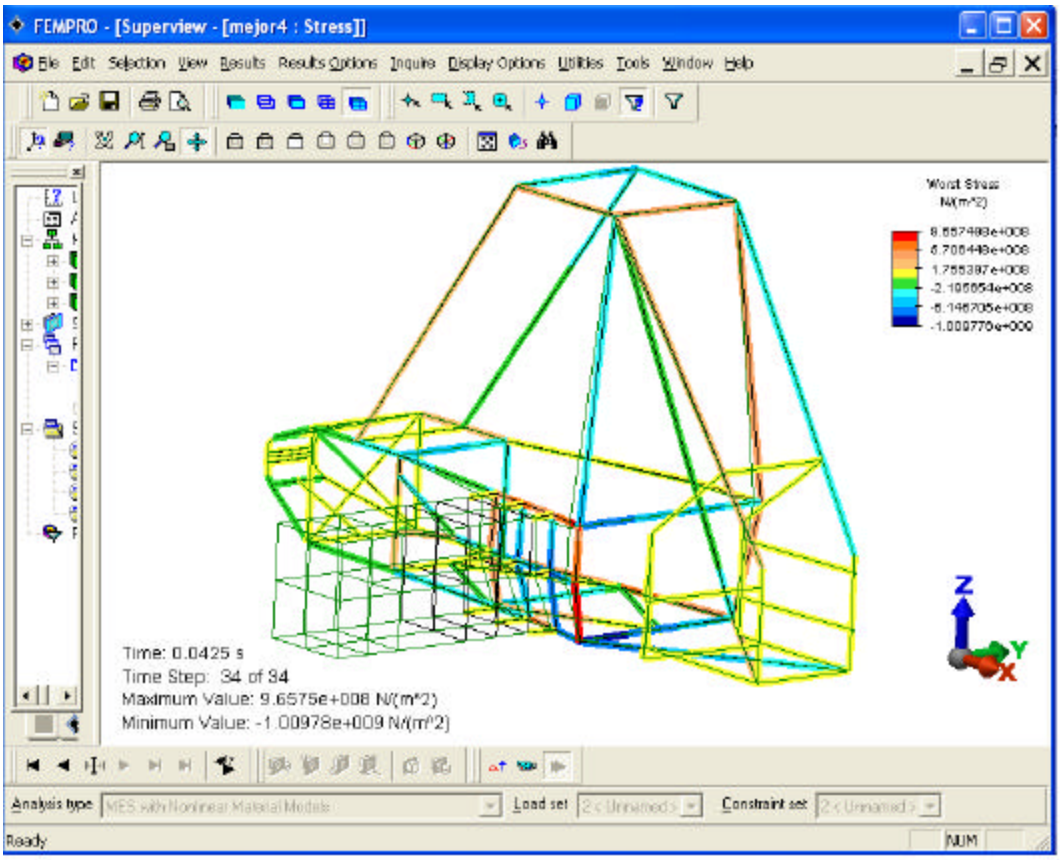

Figura 7. 98 Peor Esfuerzo Mostrado al Final del Evento.

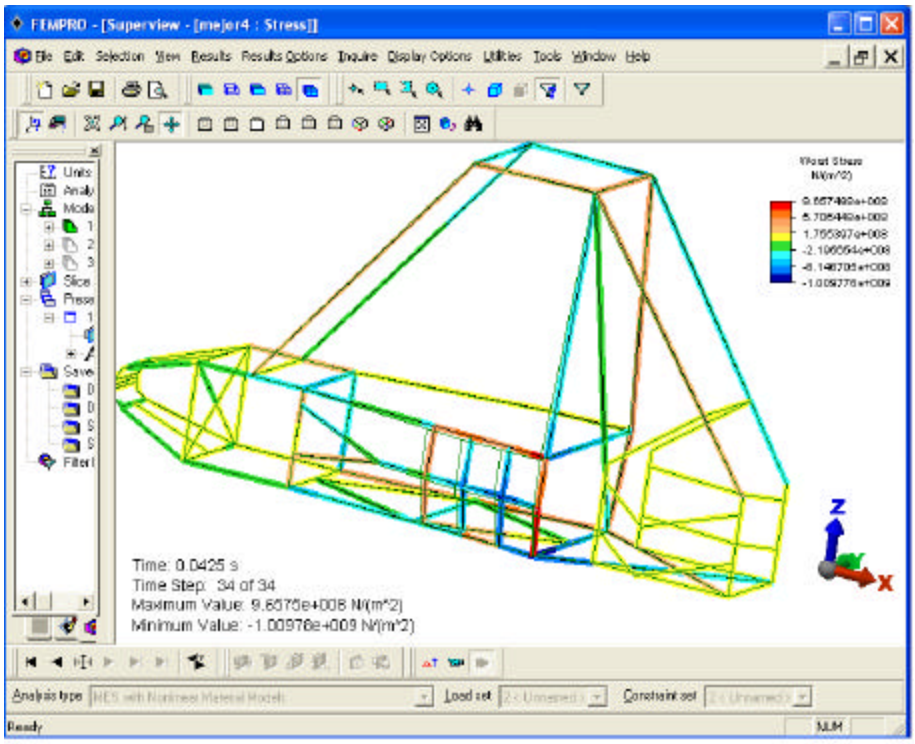

Figura 7. 99 Deformación de la Estructura, Ocultando las Líneas y la Pared de Contacto.

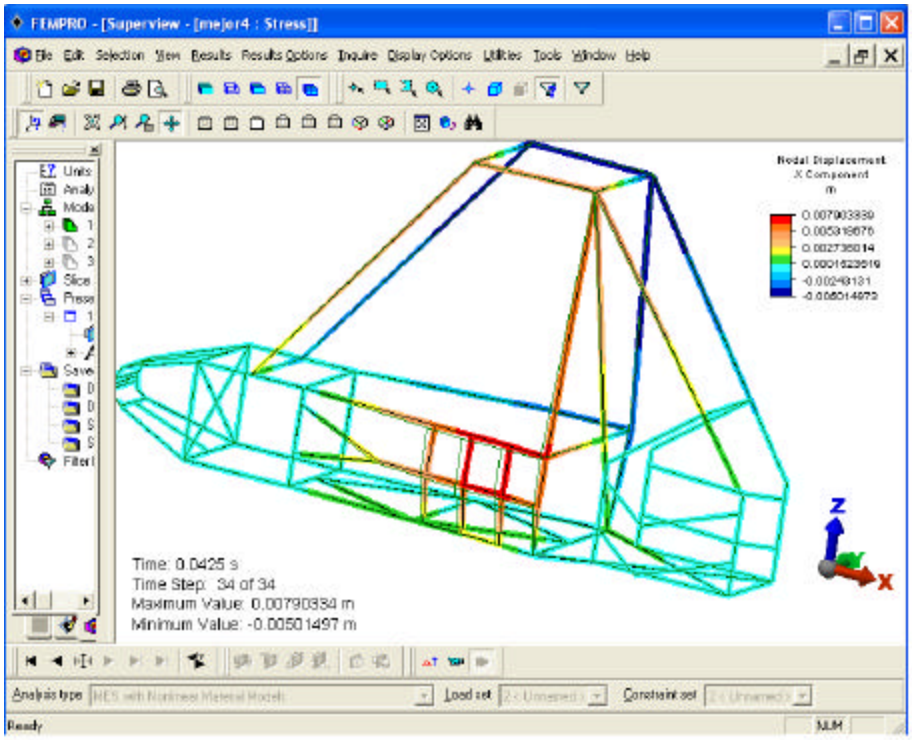

Figura 7. 100 Vista Isométrica del Desplazamiento.

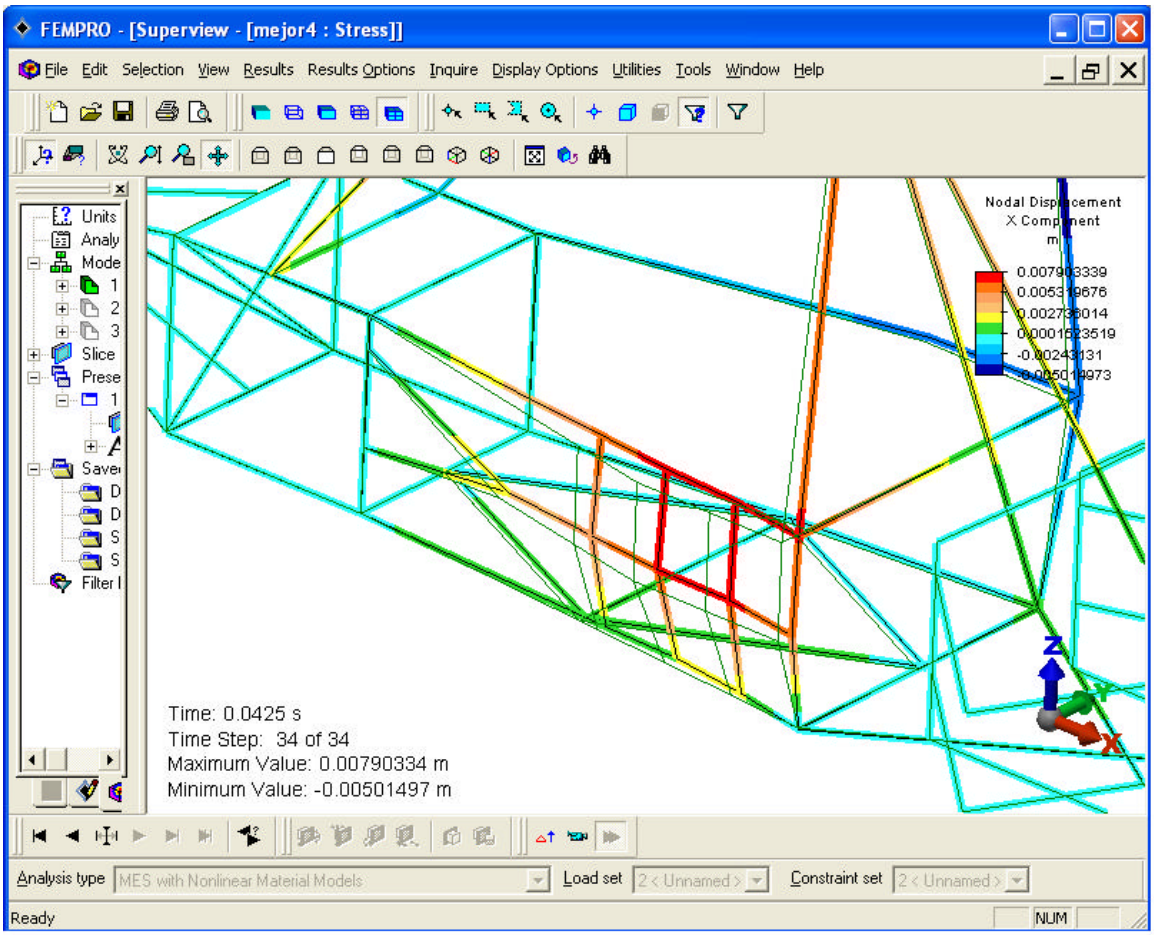

Figura 7. 101 Acercamiento de la Parte que Sufre el Mayor Desplazamiento.

7.7 Conclusiones de los resultados.

Como se puede observar con los datos anteriores, el método de los elementos finitos es una poderosa herramienta de diseño de estructuras muy complejas a la cual se puede mejorar un modelo desde las etapas más tempranas y sin necesidad de costosos prototipos o pruebas físicas.

Para el caso del auto Minibaja fue además de enorme ayuda el módulo de Simulación de Eventos Mecánicos, ya que la complejidad del evento de impacto hubiera requerido un sinnúmero de suposiciones y cálculos para obtener aproximaciones de los valores, incluso llegar con ello a errores fatales tales como un estructura completamente débil a la demanda de soporte de grandes esfuerzos y deformaciones.

Sin embargo, para lograr resultados satisfactorios fue necesario hacer muchos modelos y probar cada uno de ellos, hasta encontrar uno lo suficientemente detallado para describir el fenómeno que se analizó pero que a la vez fuera lo suficientemente sencillo para poderse llevar a cabo.

Los problemas, complicaciones y soluciones del método son discutidas con mayor detalle en el capítulo 9.

La geometrías de la punta propuesta y del arreglo lateral para su construcción e implementación en el auto Minibaja se muestran en las Figuras 102 y 103. Se propone la construcción del Auto Minibaja con éstos diseños porque como se demostró con los análisis hechos en éste capítulo son los que ofrecen mantener la seguridad del piloto si llegarán a ocurrir alguno de las colisiones antes mencionadas.

Para el caso de una colisión frontal se buscó principalmente llegar a la deformación de la punta al mismo tiempo que la estructura del carro se mantuviera integra, realmente lo que se buscaba era tener una distribución de los esfuerzos a lo largo de la punta sin dañar los tubos que conformaban el cubo de la suspensión ni el volumen

del piloto (ver Figura 7.102).

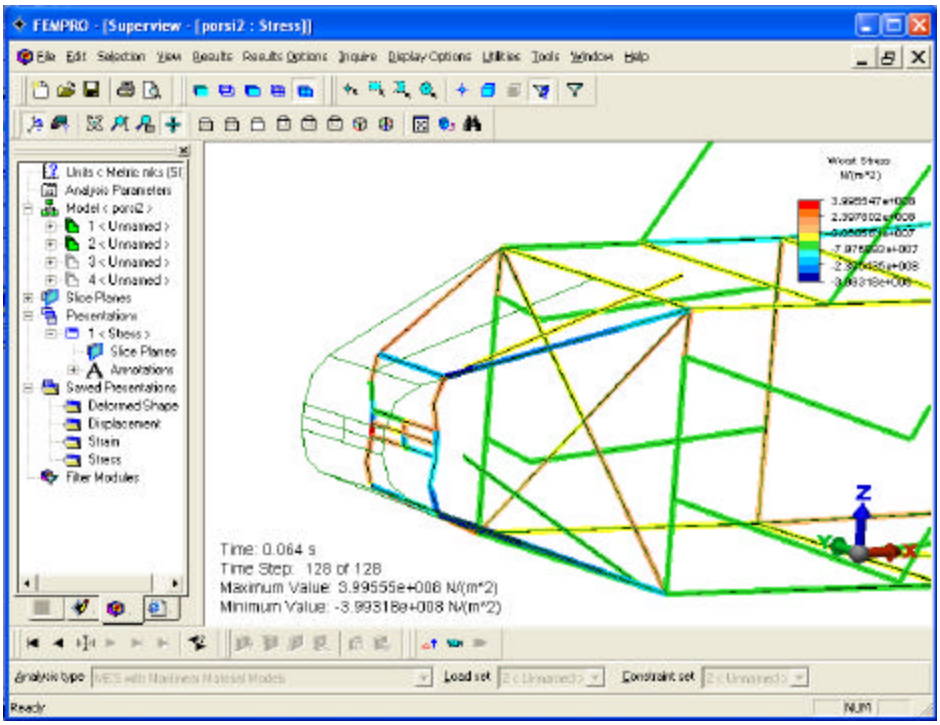

Figura 7. 102 Punta Propuesta Para su Construcción e Implementación.

Por el contrario de la colisión frontal, en la colisión lateral lo que se buscaba era llegar a la menor deformación de la estructura, ya que el arreglo de tubos que contiene al piloto es de vital importancia, y de sufrir alguna deformación puede poner en riesgo la integridad del conductor.

Una estructura lo suficientemente rígida garantiza una menor deformación, al mismo tiempo que se tiene una distribución de los esfuerzos a través todos los tubos que conforman a dicho arreglo, el diseño del arreglo fue pensado se esa manera, ya que en la parte posterior garantiza una buena rigidez y en la parte frontal los tubos en forma de "Y" nos brinda una buena distribución de los esfuerzos (ver Figura 7.103).

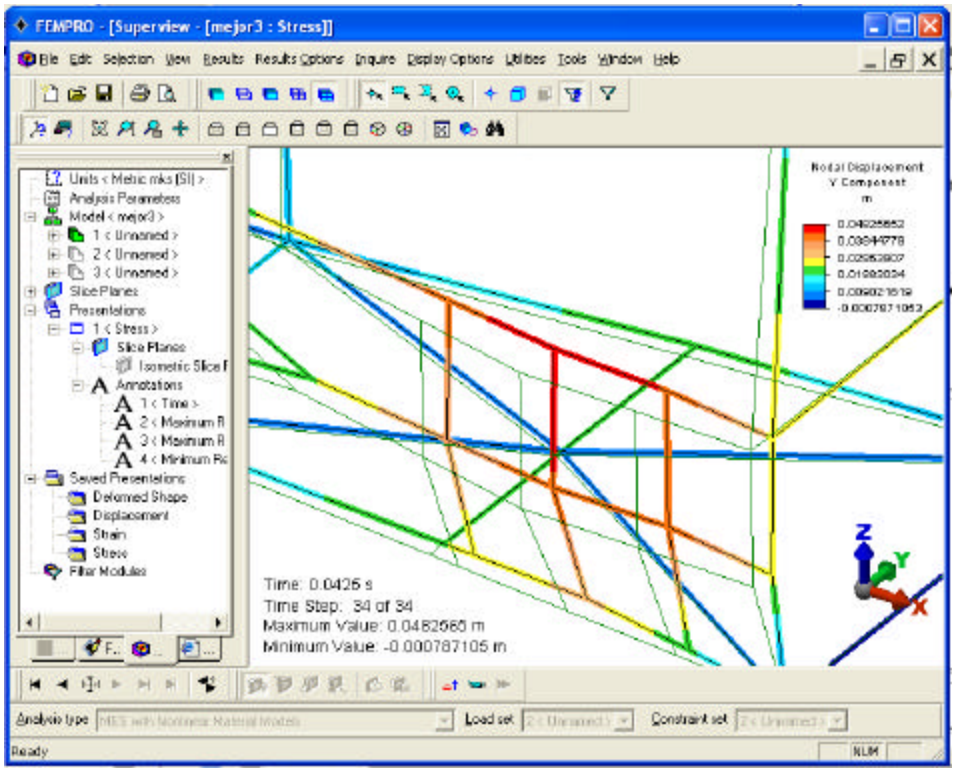

Figura 7. 103 Diseño del Arreglo Lateral y de Soporte para el Auto Minibaja.

7.8 Algunos de los problemas más frecuentes.

Para efectuar todos los análisis fueron necesarios muchos análisis preliminares en los cuales se encontraron advertencias y errores varios. Los más comunes fueron, errores de importación de geometría, errores de tipo de elemento, errores en los elementos conectores y el más grave de todo, la falta de memoria RAM para resolver el análisis. Es por esto que después de muchas simplificaciones de tipo de resolución matemática se logró analizar el modelo adecuado. A fin de tener un menor número de elementos, sin embargo, la complejidad de las uniones internas, así como los dobleces de los tubos generó un tamaño de memoria bastante grande.