

## CAPITULO 6

### Análisis y Optimización del Auto Deportivo “MXT” usando ALGOR.

#### 6.1 Creación de la malla.

Una vez que la estructura está completamente dibujada, es importada al programa de ALGOR FEA para su análisis.

ALGOR es compatible con muchos paquetes de diseño especializados en la generación de sólidos y superficies NURBS, como AutoCAD, ProE, Solid Works, Rhinoceros entre otros, utilizando formatos universales para importar estos documentos a esta plataforma.

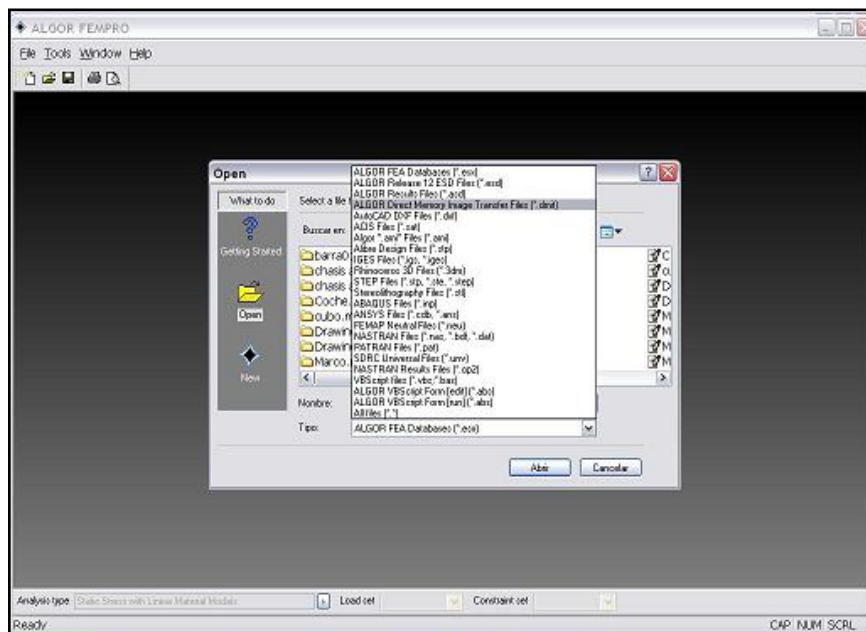


*Figura 6.1: Logotipo ALGOR®*

Para esto se ejecutará el FEMPRO de ALGOR FEA. desde el menú de inicio de la estación de trabajo. Hay que tener especial cuidado de cerrar cualquier otro tipo de programa que se encuentre abierto, ya que de no hacerlo tanto nuestro procesador como la memoria RAM no

trabajaran al 100% en la generación de la malla lo que resultará en un desempeño poco eficiente para nuestro trabajo.

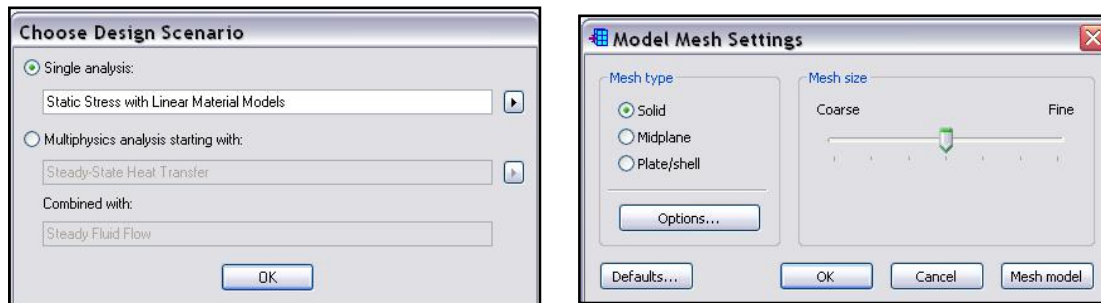
Al iniciar el FEMPRO aparece una ventana donde se podrá abrir el documento, para éste proyecto exporto el sólido generado como un archivo ACIS (\*.sat) porque es un formato universal y así evitar la pérdida de datos y la generación de errores al exportarlo al FEMPRO.



*Figura 6.2: tipos de formato admitidos por ALGOR.*

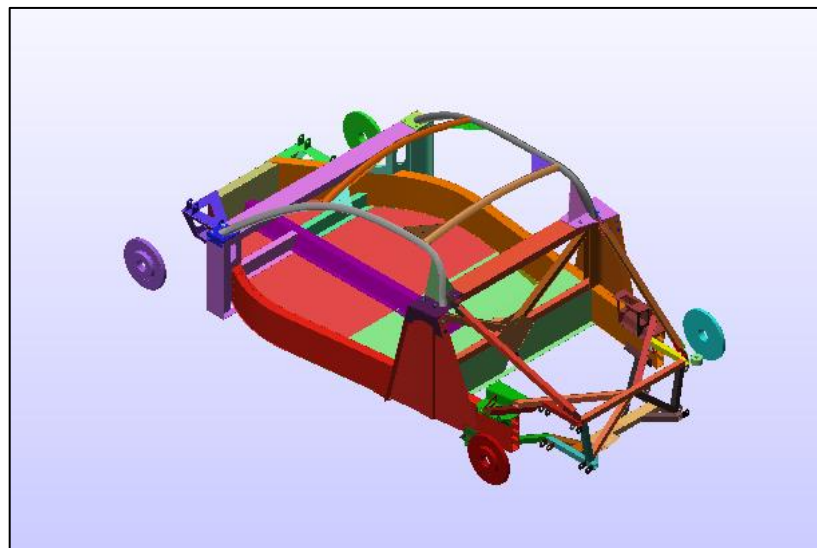
Una vez abierto el documento FEMPRO generará un archivo (\*.dmit) *Direct Memory Image Transfer* que importará la geometría del modelo en un formato neutro sin la necesidad de traducir el archivo. Al generarse este archivo aparecerá una ventana que nos mostrará el tipo de escenario y el análisis al que nuestro ensamble estará expuesto. Seleccionaremos *Static Stress with Nonlinear Material Models* y presionaremos OK. Una

vez que esta ventana se cierre se desplegaran 2 ventanas, una con el modelo tridimensional y la otra donde aparecerán en forma de lista los elementos y las superficies que conforman el ensamble.



*Figuras 6.3 y 6.4: ventanas de tipo de análisis y de opciones de mallado.*

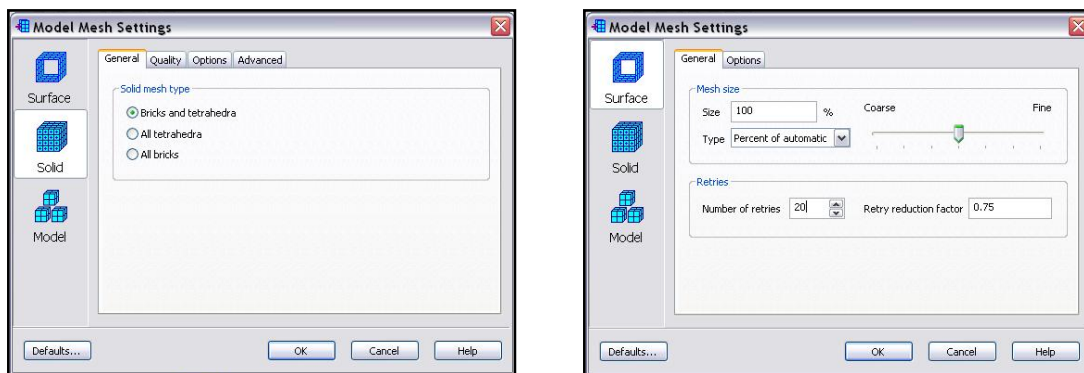
Este es el modelo de nuestro ensamble cuando ya se genera el archivo MXT.dmit. Es ahora el momento donde se pueden seleccionar los elementos que podremos excluir de nuestro mallado tales como los discos de las ruedas, las laminas del piso, así como, esconder aquellos componentes que no deseamos aparezcan en el editor de FEA pero, que sin embargo, se les aplicará el análisis.



*Figura 6.5: Ensamble del bastidor en formato \*.dmit.*

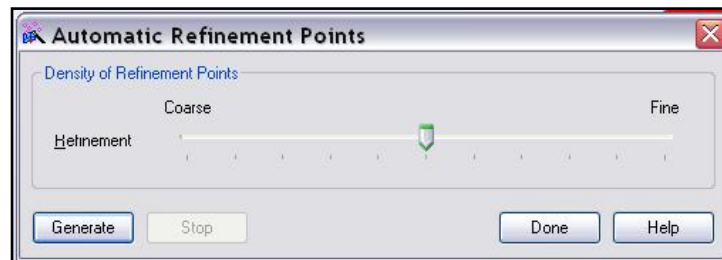
Ahora, se procederá a generar el mallado del Ensamble del Auto Deportivo MXT, para esto una vez que el modelo ha sido importado exitosamente en el FEMPRO, se abrirá otra ventana donde se podrán ajustar las opciones de mallado. Se seleccionara una malla de tipo sólida y en el tamaño de la malla se seleccionara un valor intermedio (representado por el 100%). Ahora se presionara el botón de Opciones, el cual dará paso a la apertura de otra ventana donde seleccionaremos 2 opciones más.

Dentro de las opciones que corresponden a la generación de la malla de superficie, al número de intentos le daremos un valor de 20, y con respecto a la malla sólida se seleccionaran *bricks and tetrahedra*. Se selecciona OK y regresamos a la ventana anterior, seleccionamos Mesh Model y esperaremos a que el software termine los cálculos.



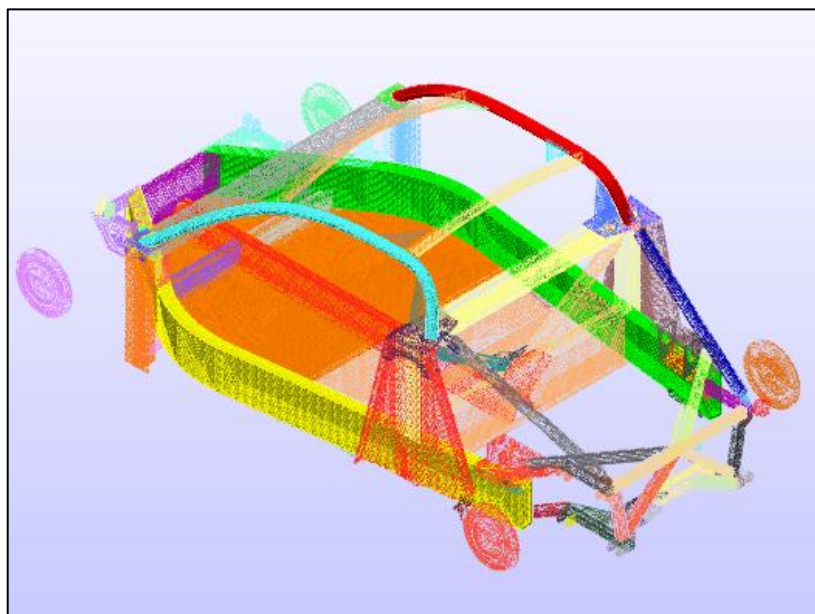
**Figuras 6.6 y 6.7:** Opciones de mallado para el ensamble.

Una vez que la malla esta terminada y sin errores, pasaremos a especificar los puntos de refinamiento, para esto seleccionamos *Mesh, Refinement Points y Automatic*, esto porque como son demasiadas piezas nos ahorrara tiempo mientras genera los puntos de refinamiento de manera correcta en nuestro ensamble. Se selecciona la densidad y se presiona Generate, una vez que se calculan en el modelo presionamos Done.



**Figura 6.8:** Ventana para ajustar los puntos de refinamiento.

Una vez seleccionado los puntos, se repite la generación de la malla, para que el FEMPRO genere una malla acorde con los puntos de refinamiento. Se deberá cuidar que no se generen problemas en las superficies de mallado, y en caso de presentarse se deberá aplicar la malla de nuevo, este proceso se deberá hacer por lo menos 2 veces, para evitar problemas de geometría más adelante, ya que como nuestro ensamble consta de muchos elementos consumiremos menos memoria de la estación de trabajo y la creación de la malla sólida se llevara a cabo conforme se empieza el análisis del evento.



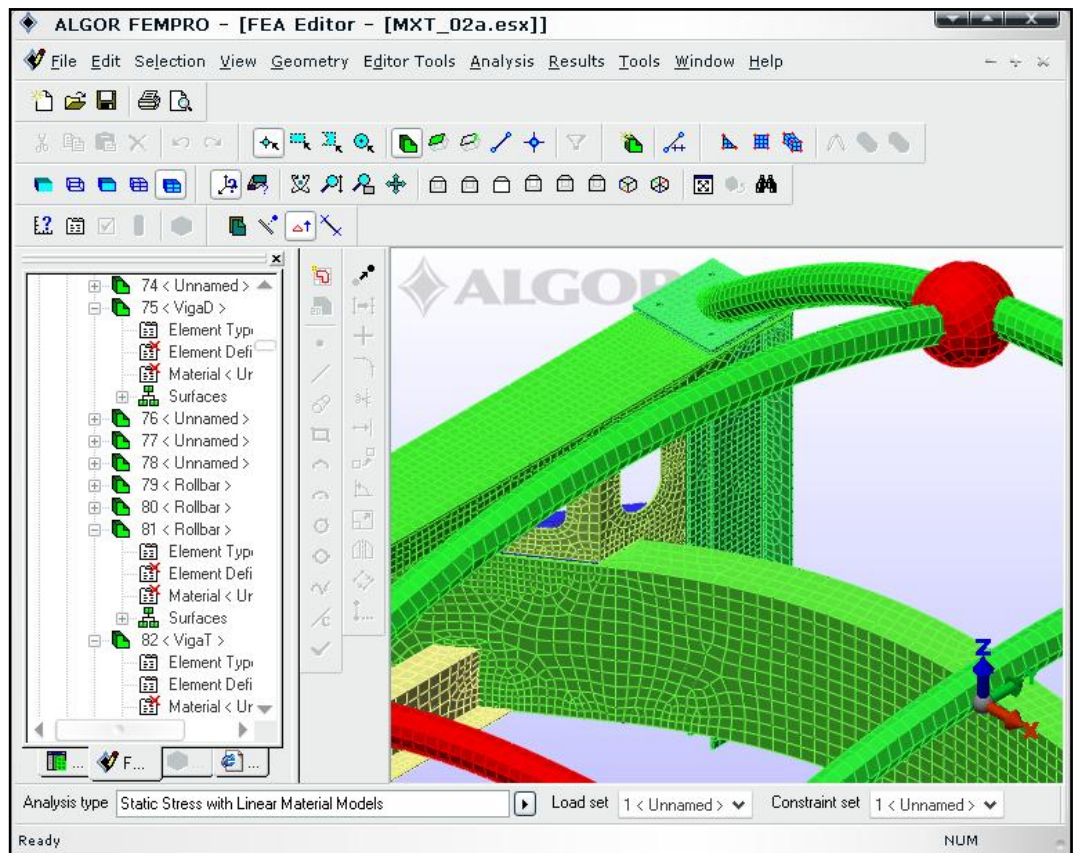
**Figura 6.9:** Vista de la malla del Bastidor del MXT en formato \*.dmit.

Una vez que el proceso termina y el elemento esta completamente mallado como se muestra en la figura se seleccionan las unidades del sistema métrico internacional (**mks**) para pasar al editor de FEA.

### **6.2 Pre procesamiento.**

Algunos de los parámetros más importantes a considerar dentro de nuestro análisis son los siguientes:

- Materiales.
- Calibre de los tubos y perfiles.
- Condiciones de frontera.
- Fuerzas.



*Figura 6.10: Modelo MXT en el editor de FEA.*

Estos serán introducidos como a continuación se detallará para poder procesar el análisis de elementos finitos, se tendrá especial cuidado en establecer la zona de contacto de las fuerzas y de todas las condiciones de frontera para que esta simulación sea mas próxima al evento real.

### **6.2.1 Diagrama de cuerpo libre de los objetos que interactúan con el bastidor y su peso.**

Mastrettadesign, la empresa que solicitó por principio el desarrollo del análisis estructural del bastidor, está interesada en 3 objetivos:

1. Reducción de peso en la estructura sin comprometer los valores de rigidez y resistencia de la estructura.
2. Soportar las cargas derivadas del montaje del tren motriz.
3. La selección de la aleación o aleaciones de aluminio correctas para la aplicación.

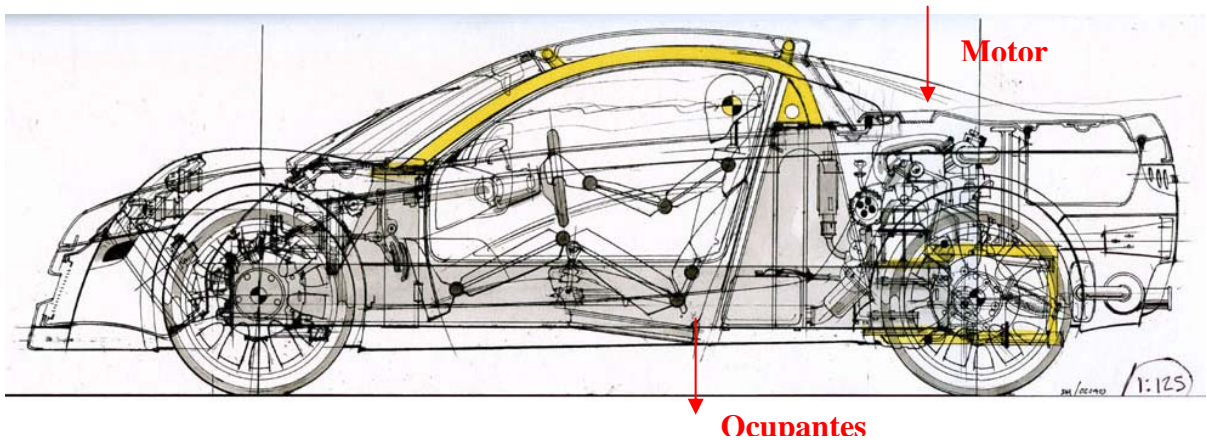
Aunque la información que se nos proporcionó no ha sido del todo detallada, podremos suponer que los elementos que más destacan por el efecto que pueden producir sobre la estructura del auto deportivo MXT son los siguientes.

1. Motor y caja de engranes.



2. Ocupantes sobre los asientos.
3. Peso propio de la Carrocería y de todos los elementos.

De acuerdo a una inspección del prototipo MXT el motor y los ocupantes van distribuidos en la estructura de acuerdo a la siguiente representación en dos dimensiones.



*Figura 6.11: Modelo del MXT señalando los elementos más importantes para el análisis*

El peso estimado de los componentes por separado son los siguientes:

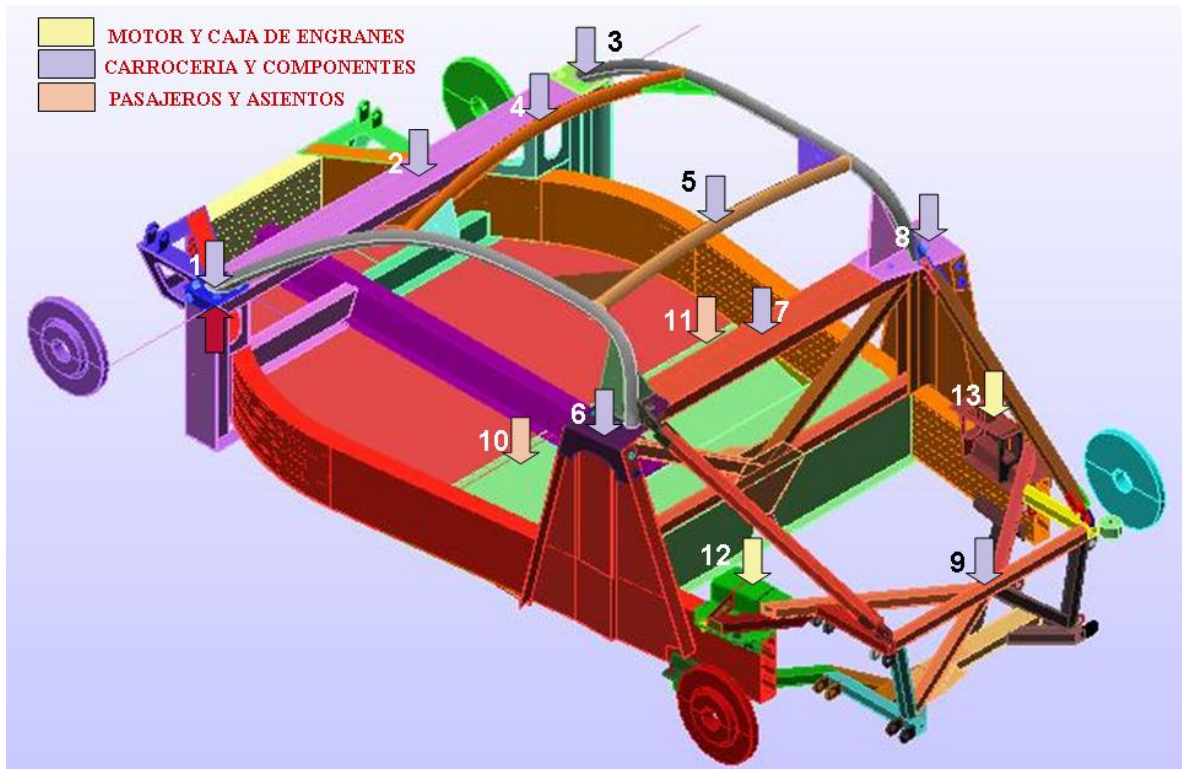
- 2 ocupantes + asientos = 144kg + 8kg = 152 kg.
- Motor + Caja de Engranés = 115kg + 50kg = 160kg.
- Carrocería + Componentes = 84Kg + 604Kg = 688Kg

El peso de la estructura ya está considerada dentro de los datos globales del editor de FEA y es calculado de manera inmediata dentro del análisis, y se activa en los parámetros del mismo. Sin embargo esos valores estarán sujetos a un factor de seguridad de 4 ya que el



bastidor estará sujeto a fatiga, y de esta manera asegurar que la estructura se comportará de manera estable.

A continuación presentaré un diagrama de cuerpo libre tridimensional para comprender donde estarán colocadas las fuerzas que interactúan con la carrocería.



*Figura 6.12: Diagrama de cuerpo libre en 3D del MXT.*

### **6.2.2 Definición de los tipos de elementos.**

De acuerdo a ALGOR®, esta estructura contempla placas, bloques y tubos por lo que a todos ellos los tendremos que definir antes de someterlo al análisis de FEA. En el editor del lado izquierdo aparece una ventana donde a modo de lista aparecen todas las partes que componen a la estructura, y ésta a su vez muestra cuatro particularidades de la misma.

1. Tipo de Elemento.
2. Definición del elemento.
3. Material.
4. Superficies.

Para ello tendremos las siguientes consideraciones:

Para el tipo de elemento, el editor de FEA nos proporciona por *default* elementos *Brick/Plate*, dependiendo de la geometría de la pieza después de que se completa el mallado.

En el caso de las partes denominadas como placas: *Plate* tendremos que definir de esos elementos su grosor. Y por último a todos los elementos que conforman la estructura se le tendrá que seleccionar el tipo de material

Para el *Rollbar* del MXT hay una tabla que Mastrettadesign había proporcionado anteriormente para el proyecto del *Sand Car* donde encontramos los calibres de perfil tubular (Damaso, 2004<sup>1</sup>).

Φ en pulgadas	Calibre (MSG)										
	22	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
	.030"	.036"	.042"	.048"	.054"	.060"	.067"	.075"	.090"	.105"	.120"
1 1/2	TNTG	TNTG	TN	TNTG	TN	TNTG	TN	TNTG	TNTG	TN	TN

**Tabla 6.1:** Características de los calibres de perfil tubular del AISI 4130

### 6.2.3 Definición de los materiales.

Con respecto a los materiales que conformaran la estructura, tendremos 3 principalmente, los perfiles tubulares serán de una aleación de acero Cromo-Molibdeno denominado en el mercado internacional como *Chromemoly* 4130 o AISI 4130.

Componentes	WT%	
	Min	Max
Carbón, C	0.3	0.33
Cromo, Cr	0.8	1.1
Hierro, Fe	97	98.2
Manganeso, Mn	0.4	0.6
Molibdeno, Mo	0.2	0.25
Fósforo, P		0.04
Azufre, S		0.04
Silicón, Si	0.2	0.35

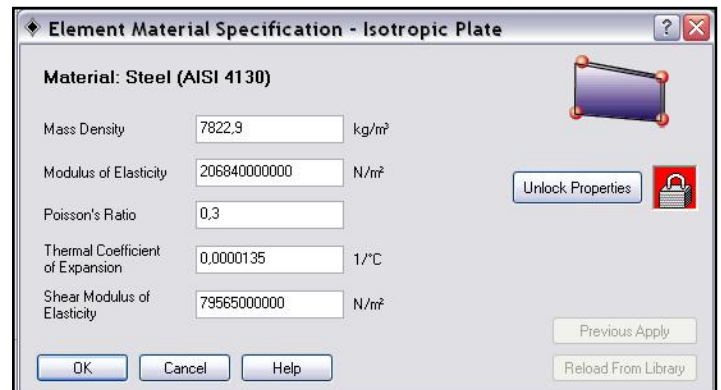


Tabla 6.2 y Figura 6.13: Composición química y propiedades del AISI 4130.

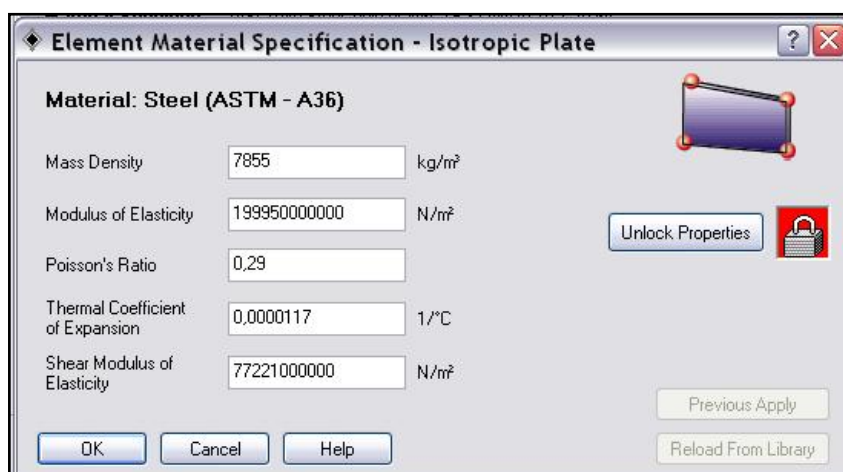
La presencia de Molibdeno en este material lo hace resistente a la fragilidad causada por el temple y si se le adhiere entre un 0.15%-0.35% de Plomo se mejora su maquinabilidad con herramientas de acero rápido HSS. La ductilidad se mejora controlando el azufre a cantidades menores al 0.01%, la presencia de Carbón en este material es del 0.30%-0.33% con lo cual la aleación es excelente para la soldabilidad de las estructuras.

El material presenta alta resistencia a la tracción y a la tenacidad y es utilizado en la industria automotriz para la construcción de motores, partes y repuestos sometidos a altos

esfuerzos, como cigüeñales, árboles de transmisión, estructuras soldables, ruedas dentadas etc. Este material se encuentra en la librería de ALGOR® solo tendremos que seleccionarlo.

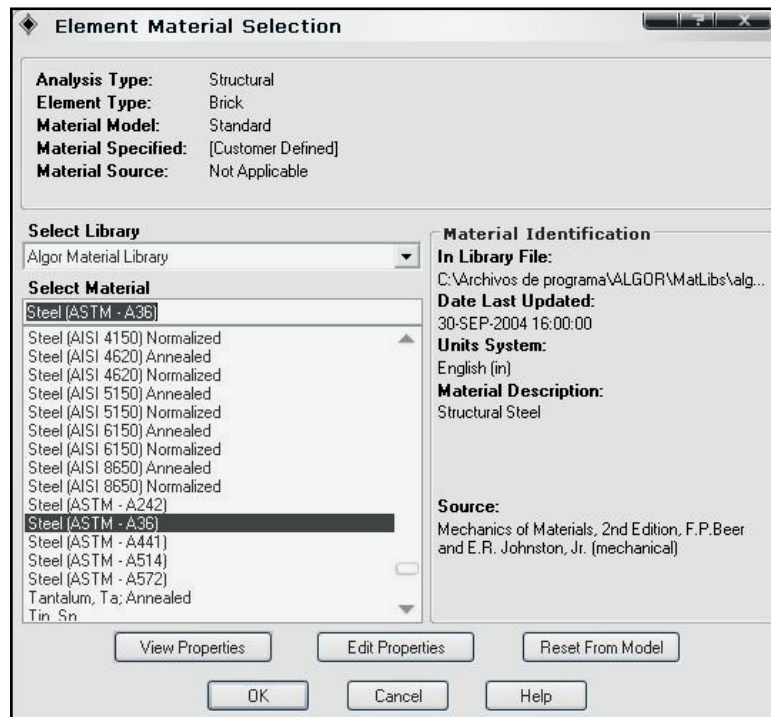
Cabe aclarar que los electrodos para soldar este material son el E8018-B2 y E90018B2, las designaciones comunes para este material son las siguientes:

UNS G41300, AMS 6350, AMS 6356, AMS 6360, AMS 6361, AMS 6372, AMS 6370, AMS 6371, AMS 6373, ASTM A322, ASTM A331, ASTM A505, ASTM A513, ASTM A519, ASTM A646, JIS SCM 2, JIS SCCrM 1, SS14 2225 (Sweden), B.S. CDS 110 (UK), chromium-molybdenum, chrome-moly, MIL SPEC MIL-S-16974, SAE J404, SAE J412, SAE J770, DIN 1.7218, AFNOR 25 CD 4 (France), MIL-S-6758 (flat and round bar), MIS-S-18729 ANN and NORM (sheet and plate), QQS-624 (round bar). (MatWeb ,2005<sup>ii</sup>)



*Figura 6.14: Propiedades del acero estructural A36.*

Para el acero estructural se selecciono el AISI A36, de la misma librería de ALGOR® tomando como fuente al libro de Mecánica de Materiales de Ferdinand P. Beer y E. Russell Johnston (Ferdinand, 1999<sup>iii</sup>)



*Figura 6.15: Ventana de selección de materiales en ALGOR*

Por último según Mangonon en su libro de “The principles of Materials Selection for Engineering Design” muestra que para el aluminio hay varios datos a analizar, se considerara que se estará trabajando con una aleación de aluminio extruido y dentro de esta categoría hay una designación de 4 dígitos impuesta por la AISI (American Iron and Steel Institute) la AA (Aluminium Association) y la ANSI (American Nacional Standards

Institute) donde el primer dígito de esta designación hace referencia a lo que nos muestra la siguiente tabla:

<b>Designación</b>	<b>Elemento Aleado</b>
1XXX	Ninguno, 99.00% min. De aluminio.
2XXX	Cobre. Cu
3XXX	Manganeso. Mn
4XXX	Silicio. Si
5XXX	Magnesio. Mg
6XXX	Magnesio y Silicio
7XXX	Zinc. Zn
8XXX	Otros.
9XXX	No usados.

*Tabla 6.3: Designación del primer dígito en los Aluminios*

Para los aluminios esencialmente puros 1XXX los dos últimos dígitos de esta designación corresponden a los dos dígitos después del punto decimal en el contenido de aluminio y el tercer dígito corresponde a algún control sobre la composición natural del mismo ya sea que se eliminen impurezas o se añadan, por ejemplo si este aluminio fuese un 10XX el cero de esta designación corresponde a que no hay ningún control sobre las impurezas naturales de este material.

Para los aluminios de la serie 2XXX a la serie 8XXX, los dos últimos dígitos no tienen un significado importante, sin embargo indican solamente un tipo particular de aleación en el grupo, un “0” para la primera o la segunda significa el primer elemento aleado o el que se encuentra en mayor porcentaje. Un 1-9 en este dígito significa una modificación en la composición de la aleación original.

De la misma forma hay varias designaciones en cuanto al tratado térmico a los que estos aluminios son expuestos estos son seguidos de un código de una letra.

Designación	Nombre		Descripción
	Ingles	Español	
F	Fabricated	Fabricado	Productos de fundición o con procesos de maquinado
O	Annealed	Templado	Productos templados para mejorar ductilidad y estabilidad dimensional
H	Strain Hardened	Endurecido a Tensión	Productos endurecidos con o sin tratamiento térmico la designación O no puede ser seguida de un cero
W	Solution Heat-Treated	Tratamiento Térmico	La W indica aleaciones con condiciones inestables que despues de cierto periodo de tiempo a temperatura
T	Solution Heat-Treated	Tratamiento Térmico	La designación T es dada a las aleaciones cuyas condiciones son estables despues de unas semanas

*Tabla 6.4: Descripción de la designación de los aluminios aleados.*

Dentro de la designación W y T hay 10 designaciones mas dependiendo del tipo de tratamiento térmico que se le aplica a estas aleaciones de aluminio.

Designación	Descripción
T1	Cooled from an elevated temperature Shaping process and naturally aged to a substantially stable conditions
T2	Cooled from an elevated temperature Shaping process, cold worked, and naturally aged to a substantially stable condition
T3	Solution heat treated, cold worked, and naturally aged to a substantially stable condition
T4	Solution heat treated and naturally aged to a substantially stable condition
T5	Cooled from an elevated temperature shaping process and artificially aged.
T6	Solution heat treated and artificially aged
T7	Solution heat treated and overaged or stabilized
T8	Solution heat treated, cold worked and artificially aged
T9	Solution heat treated, artificially aged and cold worked
T10	Cooled from an elevated temperature, shaping process, cold worked and artificially aged

*Tabla 6.5: Descripción de la designación en los aluminios tratados térmicamente.*



Mastrettadesign esta interesado en aluminio de la clase 6XXX, así que podremos utilizar un 6105 T5, esta aleación tiene la siguiente composición.

Componentes	WT%	
	Min	Max
Aluminio, Al	97.1	99
Cromo, Cr		0.1
Hierro, Fe		0.35
Manganeso, Mn		0.15
Magnesio, Mg	0.45	0.8
Cobre, Cu		0.1
Titanio, Ti		0.1
Silicio, Si	0.6	1
Zinc, Zn		0.1

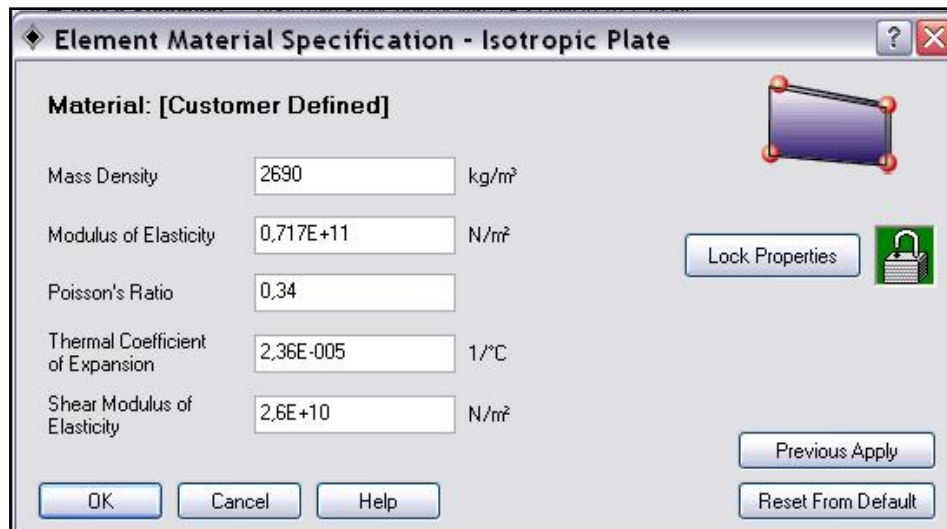
**Tabla 6.6:** Composición química del AA 6105 T5

Propiedades Fisicas	Sistema	
	Metrico	Inglés
Densidad	2.69 g/cc	0.0972 lb/in <sup>3</sup>
<b>Propiedades Electricas</b>		
Resistividad	3.49e-006 ohm-cm	3.49e-006 ohm-cm
<b>Propiedades Térmicas</b>		
CTE, linear 68°F	23.4 μm/m-°C	13 μin/in-°F
Conductividad Térmica	193 W/m-K	1340 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F
Punto de fusion	599 - 649 °C	1110 - 1200 °F
Solido	599 °C	1110 °F
Liquido	649 °C	1200 °F

**Tabla 6.7:** Propiedades del AA 6105 T5

Las designaciones comunes para este material son solo 2, Aluminio 6105-T5 y AA6105-T5. (MatWeb ,2005<sup>iv</sup>) Como es una aleación relativamente nueva, se tuvo que recurrir a diferentes fuentes, sobre la red como *MatWeb*®, ya que no existe mucha bibliografía de esta serie de aluminios, de no ser la de los mismos proveedores del material, entre ellos

*Mastreddesign* para obtener los datos de éste material, y añadirlos a la librería de materiales de ALGOR®. (Mangonon, 1999<sup>v</sup>)



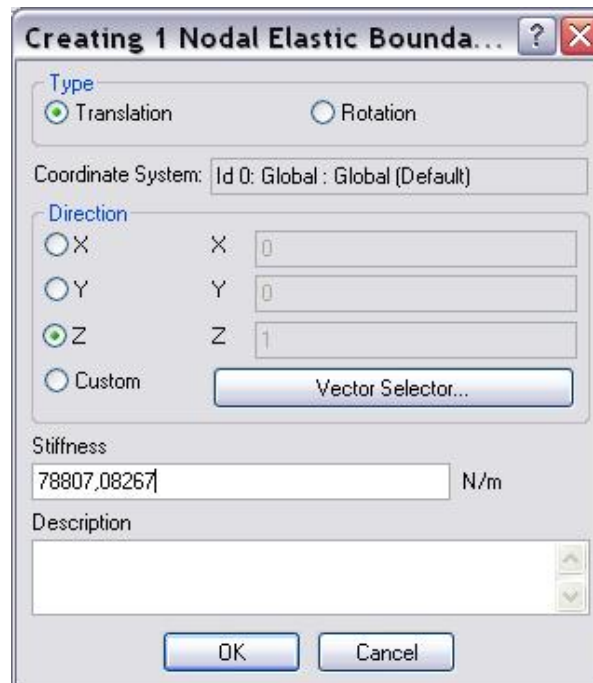
**Figura 6.16:** Ventana de especificación de propiedades del AA 6105 T5 en ALGOR®

#### **6.2.4 Condiciones de frontera.**

Una vez definidos los parámetros de nuestro modelo se procederá a colocar las condiciones de frontera y las fuerzas y los datos que actuarán en el modelo. Con la herramienta de selección superficie y el botón izquierdo del Mouse es posible seleccionar cualquier superficie o cualquier punto nodal para colocar las características estáticas del problema.

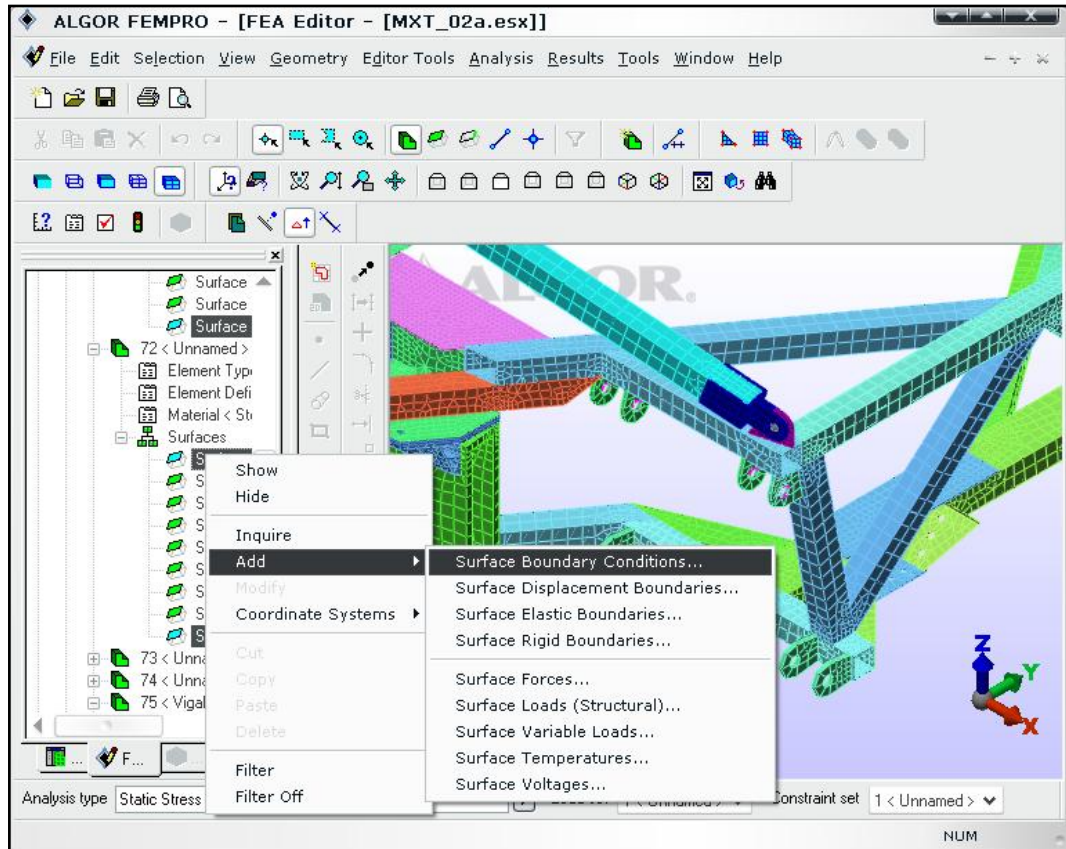
En este caso las condiciones de frontera estarán colocadas justo donde comienzan las sujeciones de las suspensiones y serán elásticas, para simular la suspensión del auto, para esto se recurrió al diseñador del bastidor para acordar los valores del coeficiente de rigidez

que tiene un resorte helicoidal real, siendo de 78807.08267 N/m para la suspensión delantera y de 52538.05059 N/m para la suspensión trasera como se usó para el proyecto del SandCar en tesis anteriores (Damaso 2004<sup>vi</sup>).



**Figura 6.17:** Introducción de las condiciones de frontera elásticas en ALGOR®

Otra forma para colocar estas condiciones de frontera es seleccionando las superficies dentro de la ventana izquierda como se muestra en la figura 6.18.

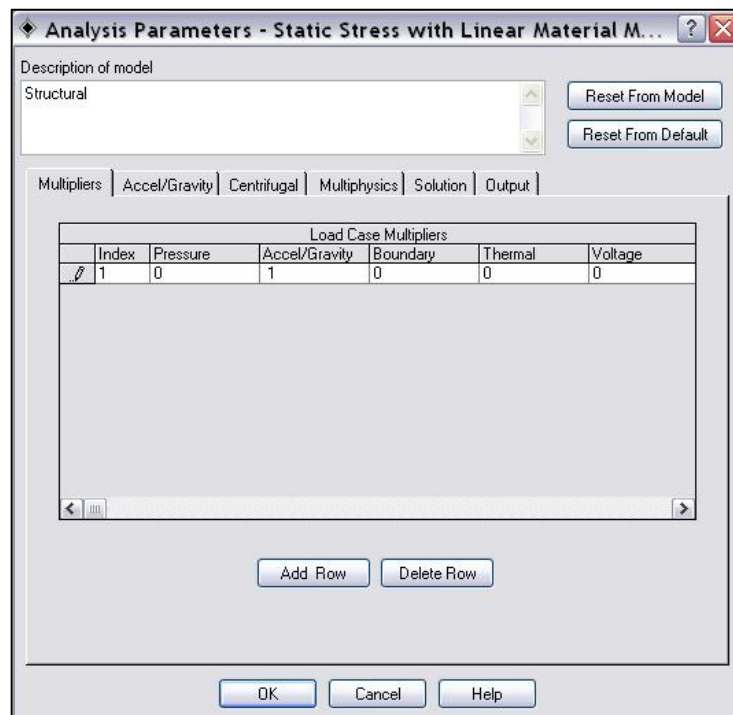


*Figura 6.18: Colocación de las condiciones de frontera en ALGOR*

Después que las condiciones de frontera has sido establecidas se procede a añadir las fuerzas que fueron establecidas en el diagrama de cuerpo libre, estas fueron distribuidas a juicio propio de acuerdo al modelo otorgado por la compañía y a referencias visuales del segundo prototipo en común acuerdo con los dueños del proyecto MXT.

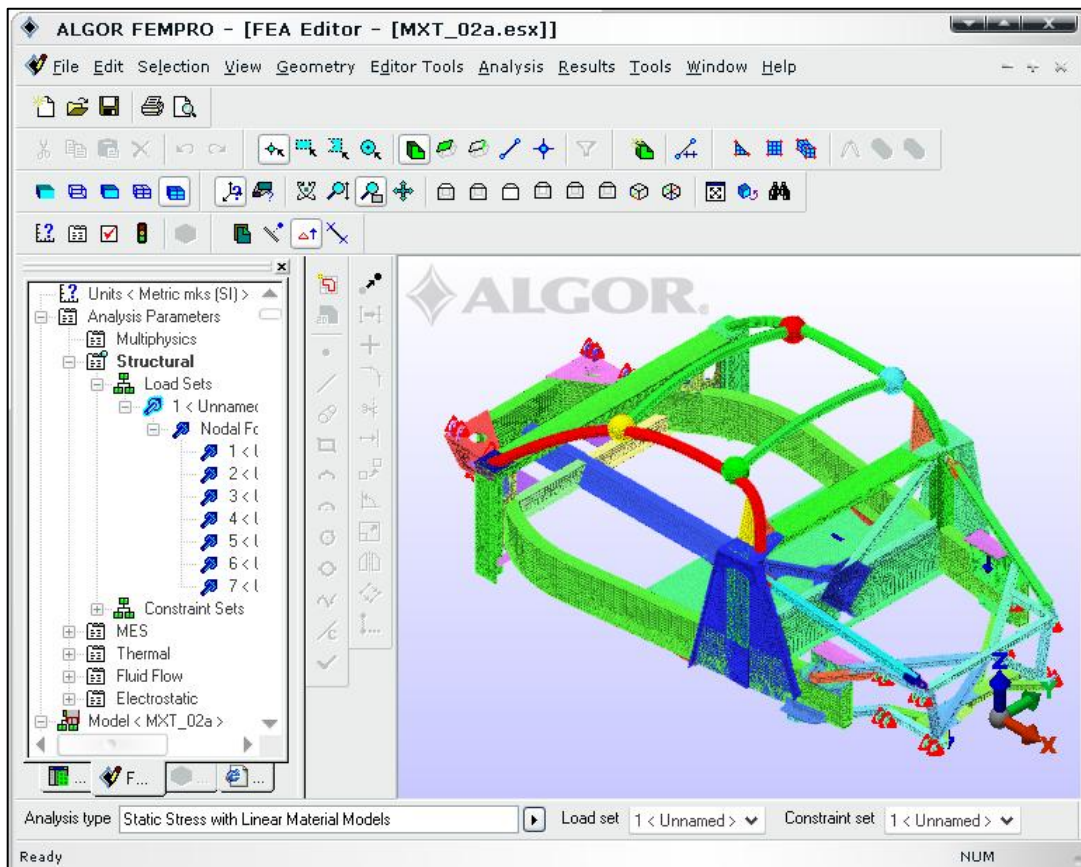
La fuerza representada por el motor se dividió en 3 partes, las cuales fueron colocadas según la misma geometría de la estructura, ya que contaba con elementos propios para la fijación del mismo, el peso propio de los pasajeros ubicado en la placa central y la carrocería ubicado y distribuido a lo largo de la estructura.

Para completar el pre-procesamiento solo es necesario abrir la ventana de datos globales, donde añadiremos la gravedad y seleccionaremos los resultados que se presentarán después del análisis.



**Figura 6.19:** Ventana de parámetros globales en el Editor de FEA.

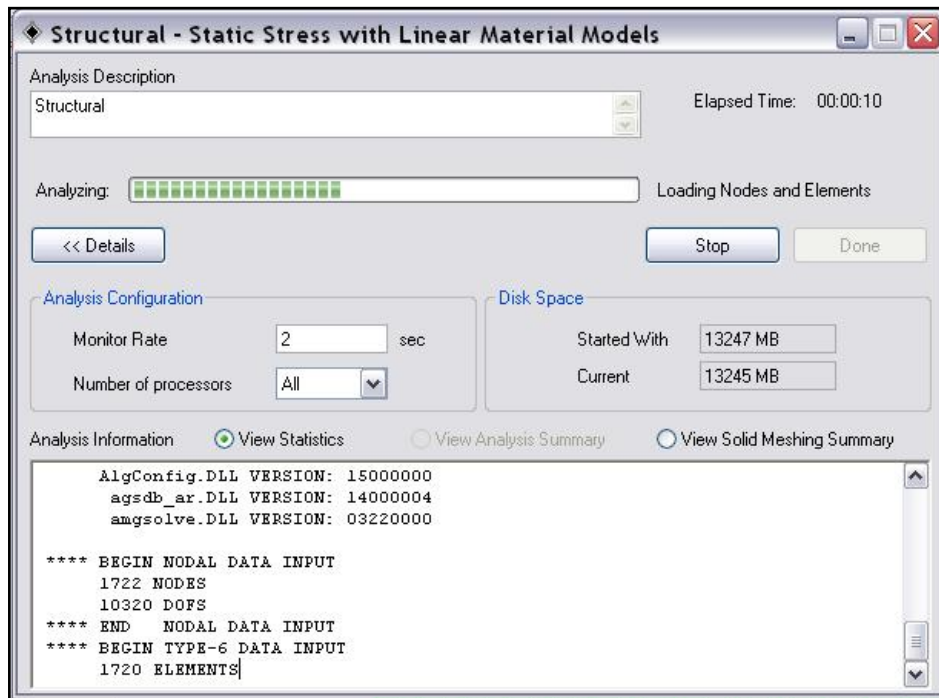
Después de colocar los parámetros, se procederá a verificar el modelo y por último a comenzar el análisis.



*Figura 6.20: Modelo MXT sobre el Editor de FEA.*

### **6.3 Procesamiento o Análisis de la estructura.**

Una vez que han sido añadidos todos los datos de la estructura, el siguiente paso es analizar el modelo, en esta etapa todos los cálculos quedan ocultos y solo pueden verse tanto los detalles de la verificación de la geometría así como los nodos que son analizados, la creación de la matriz de rigidez y la de desplazamiento, etc.



**Figura 6.21:** Ventana de procesamiento del análisis estructural del MXT.

Así mismo es aquí donde los errores, ya sea debido a que la geometría del elemento es deficiente o problemas con la creación de la matriz de rigidez son mostrados, así como los avisos debido a posibles problemas ya sea correspondiente a la geometría del modelo o bien problemas ocasionados por discrepancias en el cálculo de resultados. Es aquí donde recae el problema principal de todo este proyecto, ya que muchas veces la geometría de los nodos no es la adecuada para el procesamiento, o bien que la matriz de rigidez sea no positiva, y con ello se tenga que volver a repetir todo el proceso de creación del modelo.

#### **6.4 Postprocesamiento.**

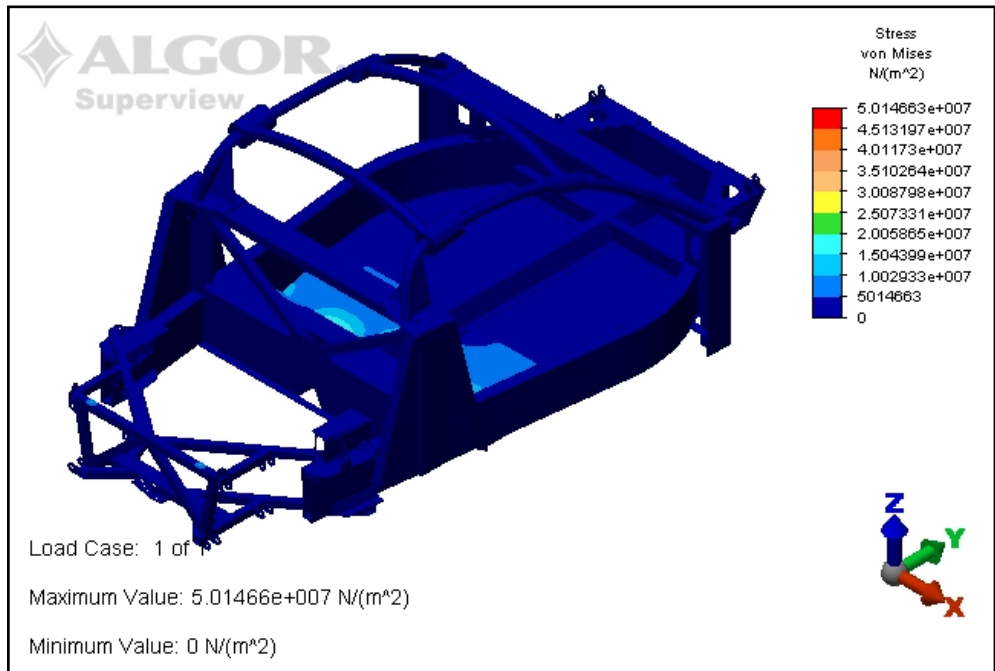
Una vez completada la fase del análisis de la estructura el programa muestra la siguiente información del modelo al término del análisis en un archivo \*.log.



- *Numero de Puntos Nodales*      **(NUMNP)**              510854
- *Numero de elementos*            **(NELTYP)**              340
- *Numero de casos de carga*      **(LL)**                      1
- *Constante Gravitacional*        **(GRAV)**                9.8146E+00
- *Numero de ecuaciones*          **(NEQ)**                 1800526

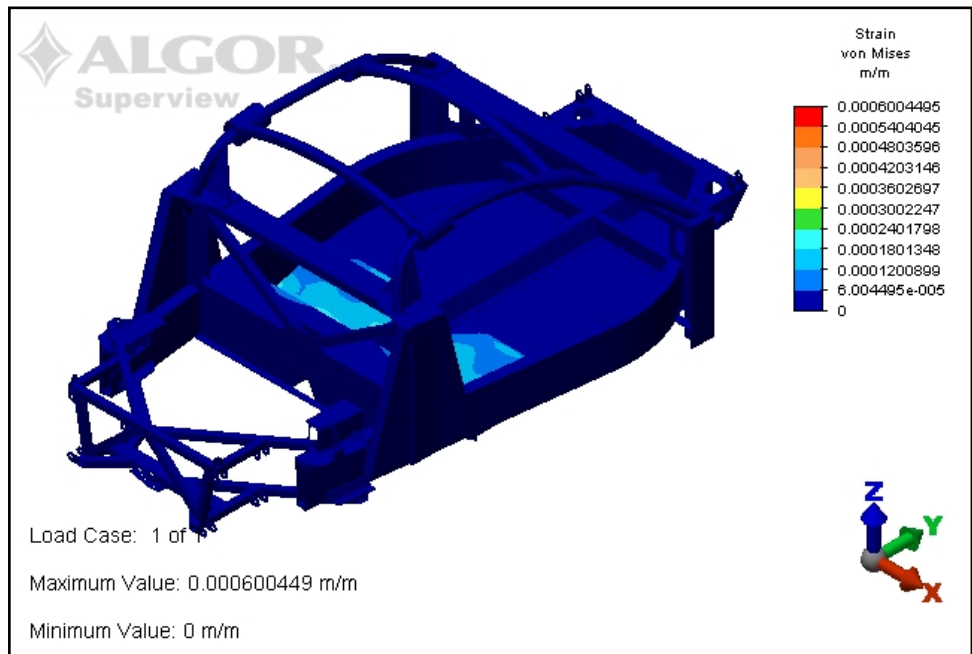
ALGOR® tiene dos formas de presentar los resultados, al término del análisis se generan archivos ASCII en donde deposita toda la información de los nodos y cálculos que genera, así como las matrices de rigidez y los resultados; sin embargo estos resultados generan documentos que oscilan entre los 700Mb para el de la información del modelo, hasta 1.5Gb para el de la matriz de rigidez por lo que para este proyecto hacen complicada su visualización así como la interpretación de los resultados.

Por otro lado ALGOR®, en su interfase gráfica, interpreta los resultados generados durante el análisis y los presenta dentro del ambiente del *superview* en donde es posible observar los diferentes tipos de esfuerzos y deformaciones de acuerdo a las teorías de falla más importantes que predicen el comportamiento de cedencia de los materiales. De la misma forma se observan los desplazamientos máximos y mínimos del bastidor.

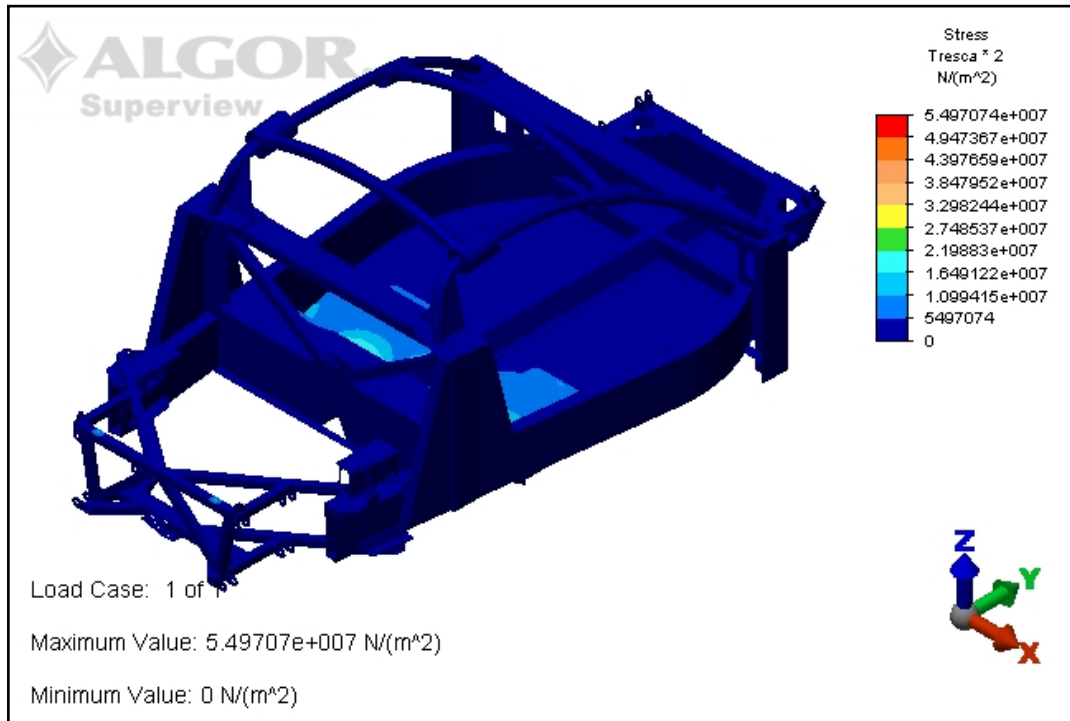


*Figura 6.22: Esfuerzos según la teoría de Von Mises en el MXT.*

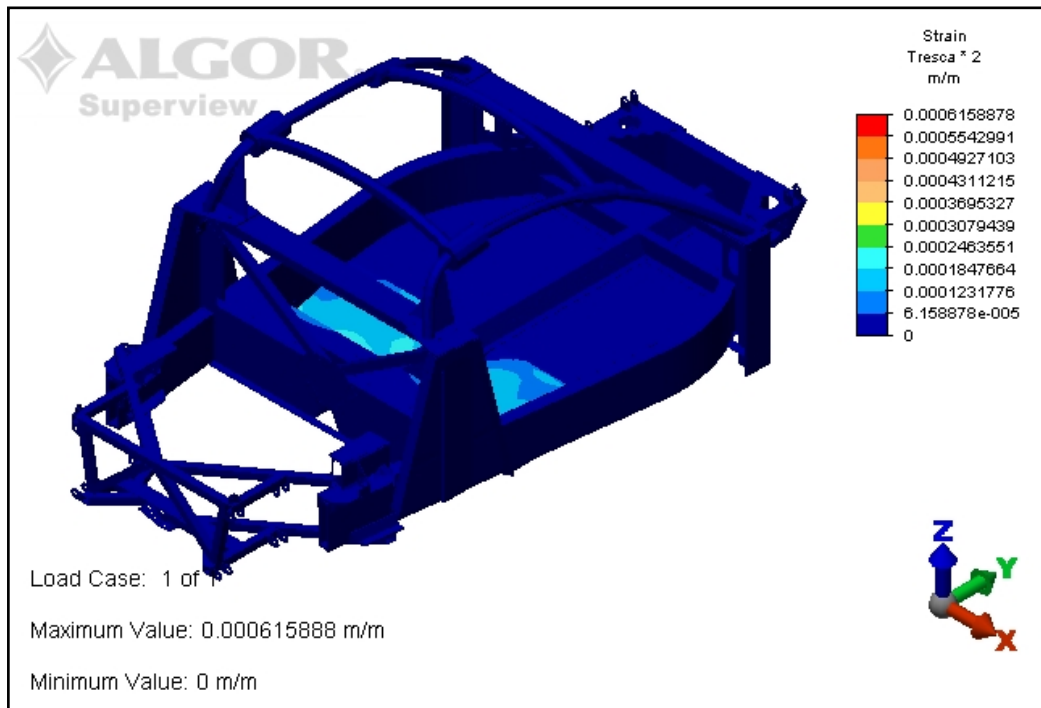
La estructura se comporta de manera estable y no se presentan deformaciones ni esfuerzos muy altos en la estructura.



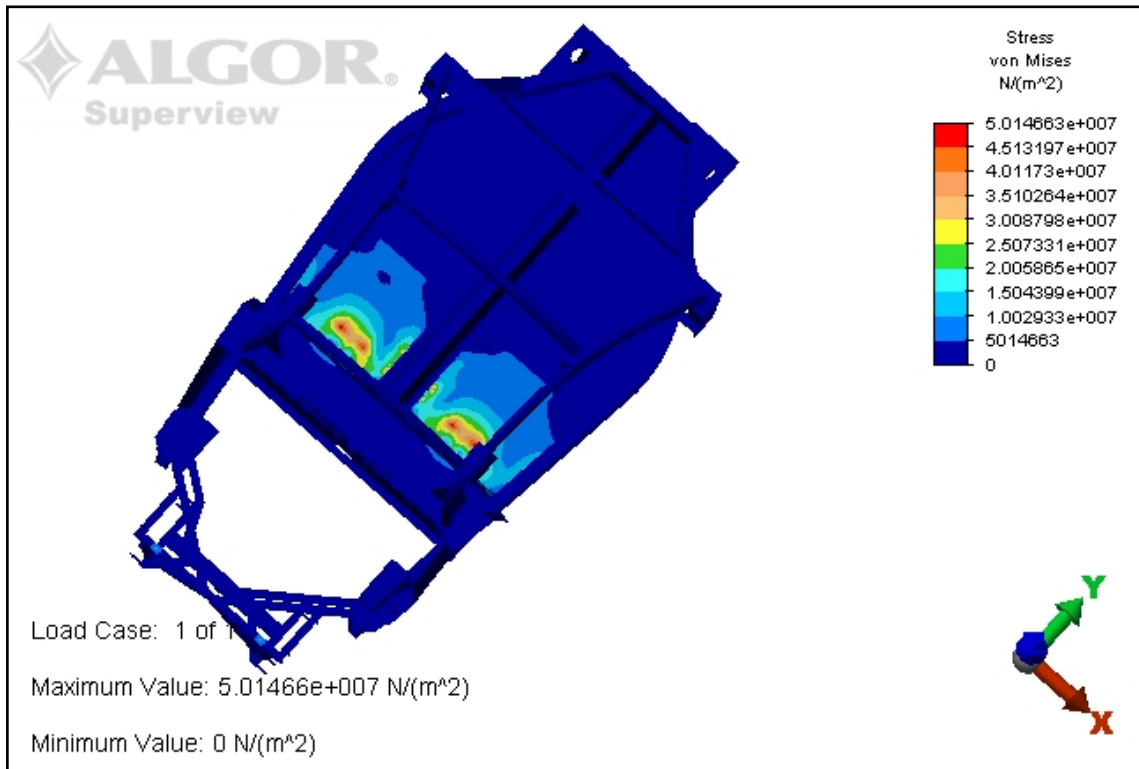
*Figura 6.23: Deformaciones en el MXT según la teoría de Von Mises*



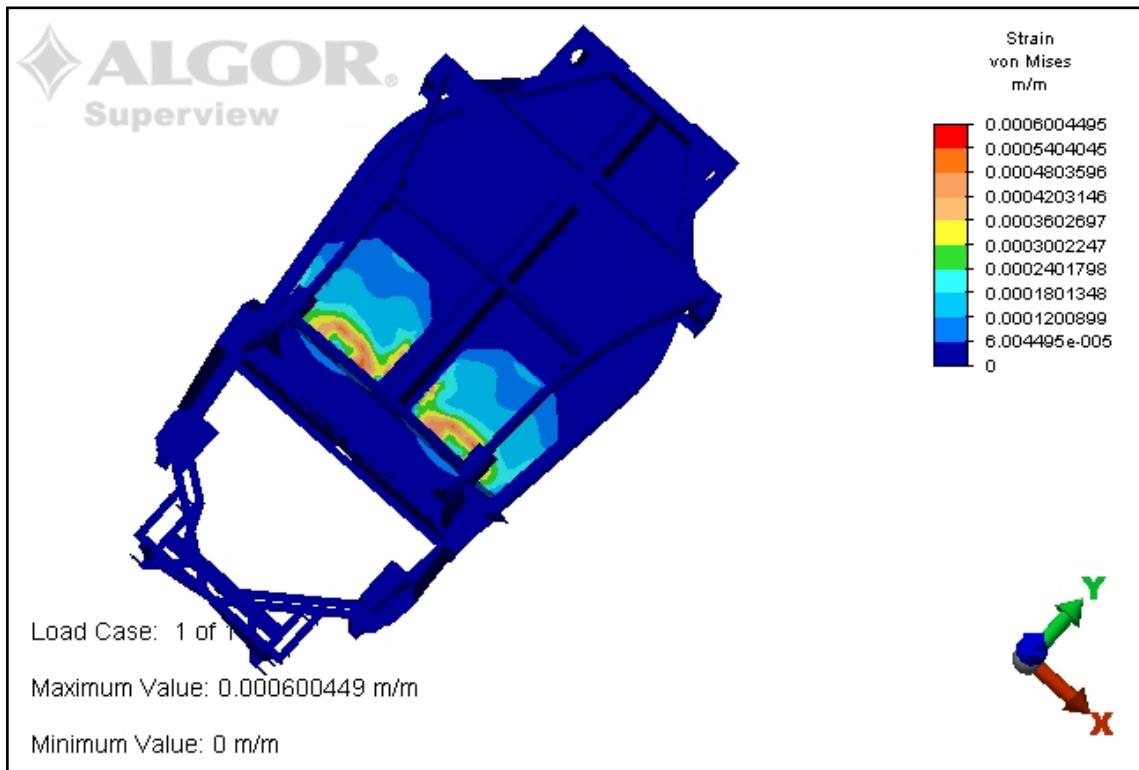
**Figura 6.24:** Esfuerzos según la teoría de Tresca en el MXT



**Figura 6.25:** Deformaciones según la teoría de Tresca en el MXT



*Figura 6.26: Vista Superior de los esfuerzos según la teoría de Von Mises en el MXT*



*Figura 6.27: Vista Superior de las deformaciones según la teoría de Von Mises en el MXT*

#### **6.4.1 Criterio de Fallas Von Mises.**

Una vez terminado el análisis estático a partir de las imágenes del pos procesamiento podemos concluir lo siguiente basado en el criterio de fallas *Von Mises* (*Teoría de la distorsión de la energía*):

- La mayor parte de la estructura es estable los esfuerzos según la teoría de Von Mises tienen un valor de 5.014MPa y no hay evidencia de alguna deformación de alto riesgo (0.6mm ) en la zona donde las suspensiones serán colocadas.
- Los esfuerzos en la zona de pasajeros son los mayores, sin embargo el valor que presentan es de 50MPa comparado con el esfuerzo último que presenta el aluminio 6105 T5 que es de  $2.41 \times 10^8$  Pa, con ello se puede obtener un factor de seguridad de 4 para la lámina que soporta a los pasajeros. La deformación máxima que presenta esta estructura es de  $6.004495 \times 10^{-4}$  m o bien 0.6mm en los puntos donde se encuentra apoyado el pasajero.
- La estructura que sostiene al motor se mantiene sólida según la teoría de Von Mises con un valor de 5.014MPa y no presenta concentraciones de esfuerzos ni deformaciones importantes.

- Ambos perfiles, extruídos de aluminio 6105 T5 se comportan adecuadamente sin llegar a tener concentraciones y deformaciones importantes.

#### **6.4.2 Criterio de Fallas TRESCA.**

También se consideró el criterio del máximo esfuerzo cortante conocido como criterio de falla *TRESCA*, éste está basado en el máximo esfuerzo cortante para el inicio de la deformación plástica pasando el punto de cedencia del material.

En éste caso la estructura tuvo un comportamiento similar a los resultados obtenidos por el criterio de *Von Mises* como se pudo observar en imágenes anteriores.

#### **6.4.3 Comparación entre ambos Criterios.**

Ambos criterios conservan una estrecha relación, aunque los mayores esfuerzos y deformaciones se presentan en base al criterio de *TRESCA*, el uso de ambos criterios en conjunto asegura que estas zonas están propensas a la acción de los mismos esfuerzos por lo que se deberá tener especial cuidado en los factores de seguridad en el diseño y manufactura del mismo para no alterar éstos resultados.

Aún así el criterio de *Von Mises* además de ser el más extendido, proporciona los análisis más exactos ya que en base a experimentación está comprobado que los resultados de este criterio se aproximan más a los presentados por situaciones reales.

### **6.5 Optimización del Modelo del auto deportivo MXT.**

Ahora el objetivo será disminuir los esfuerzos concentrados en la estructura, por mínimos que sean, y aumentar el factor de seguridad, ya que a pesar de que este es solo un análisis estático el modelo estará sometido (en condiciones reales) a fuerzas dinámicas, fatiga y posiblemente a impacto. Para esto se buscará cambiar el material de la estructura por uno más resistente, o bien aumentando el grosor de la placa de pasajeros sacrificando peso en la estructura.

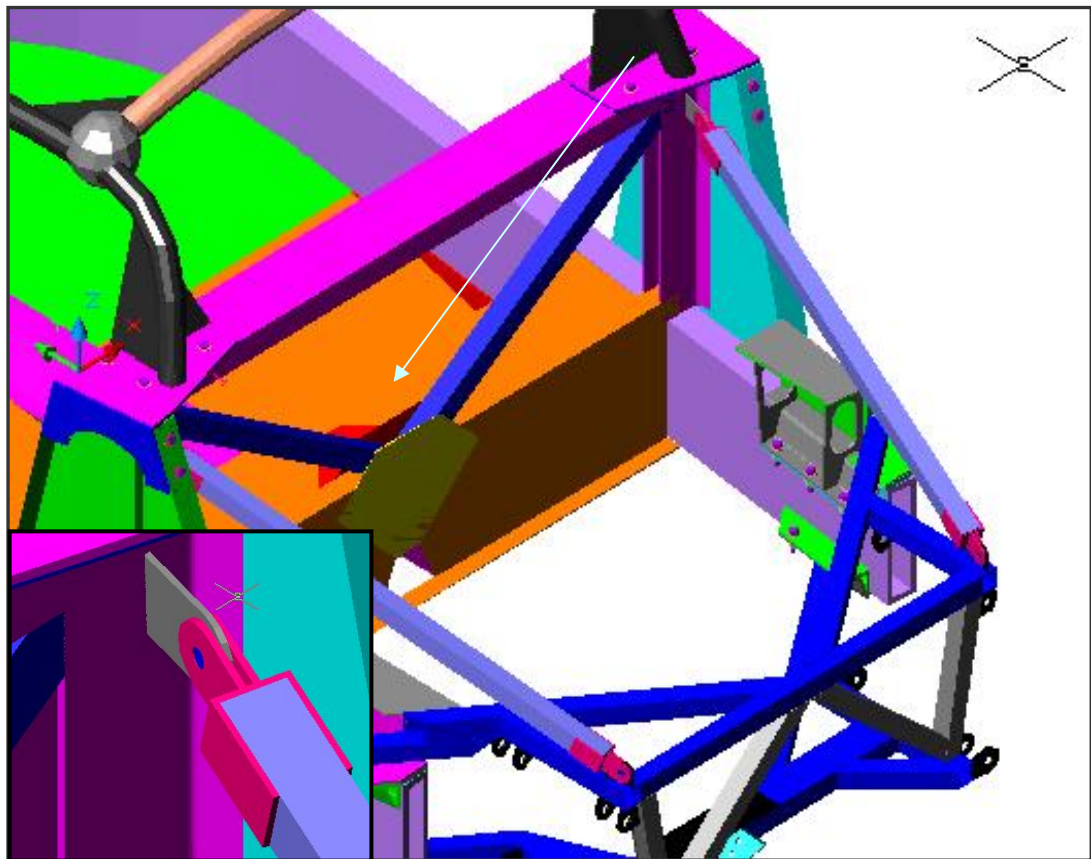
Según Mangonon en su libro de “The principles of Materials Selection for Engineering Design” menciona que el aluminio 6061-T6 es el más usado de entre las aleaciones de aluminio para aplicaciones automotrices así como la aplicación de extrusiones con aleaciones de magnesio para ahorrar peso sin sacrificar el desempeño de la estructura. (Mangonon, 1992<sup>vii</sup>).

Para ello se repetirá todo el proceso anterior, desde la creación y la importación del archivo en AutoCAD® hasta la creación del mallado y su preparación en el editor de FEA, las únicas variantes serán el cambio de materiales la creación de unas barras que unirán la estructura “T” con la estructura que soportará al motor y el espesor de la placa que soportará a los pasajeros por lo que se pasará directamente a la presentación de los resultados obtenidos por ALGOR®



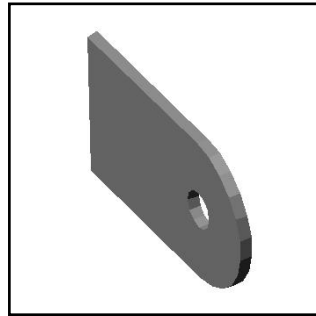
De la misma forma se aplicará un cambio al diseño del RollBar por uno que en lugar de las esferas con las que se trabajó en el modelo original presentará unas secciones cilíndricas, para efectos de una mayor compatibilidad con el programa de ALGOR®.

Con respecto a los materiales cambiaremos el aluminio 6105-T5 por el 6061-T6 que Mangonon sugiere, para observar si hay un cambio en el comportamiento del modelo bajo la acción de las cargas aplicadas, y de ésta forma observar si se presentan algunas mejoras.

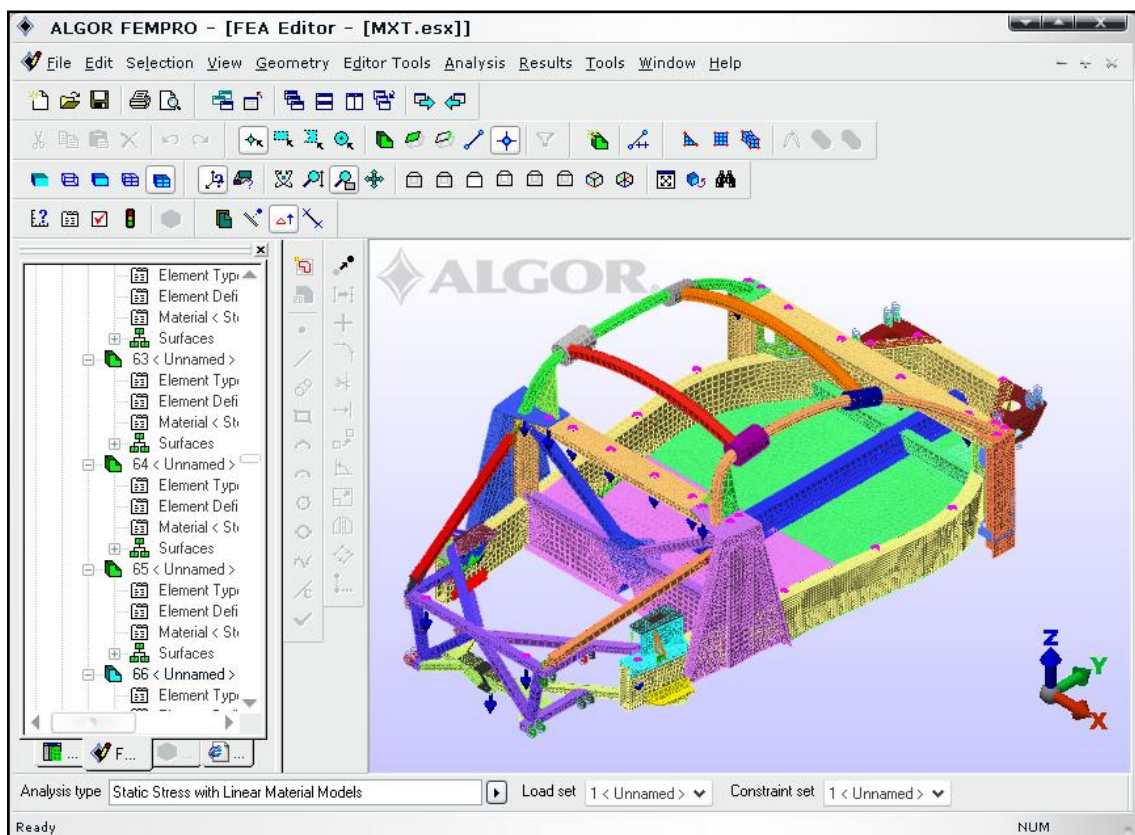


*Figura 6.28: Modelo de optimización en la estructura del MXT.*

Para esta optimización se tomarán en cuenta la creación soportes que van de la estructura que sostiene al motor hasta la estructura tipo “T”, se verá si colocándolos sobre el perfil se logra disminuir los esfuerzos presentados en la estructura (Figura 6.28).

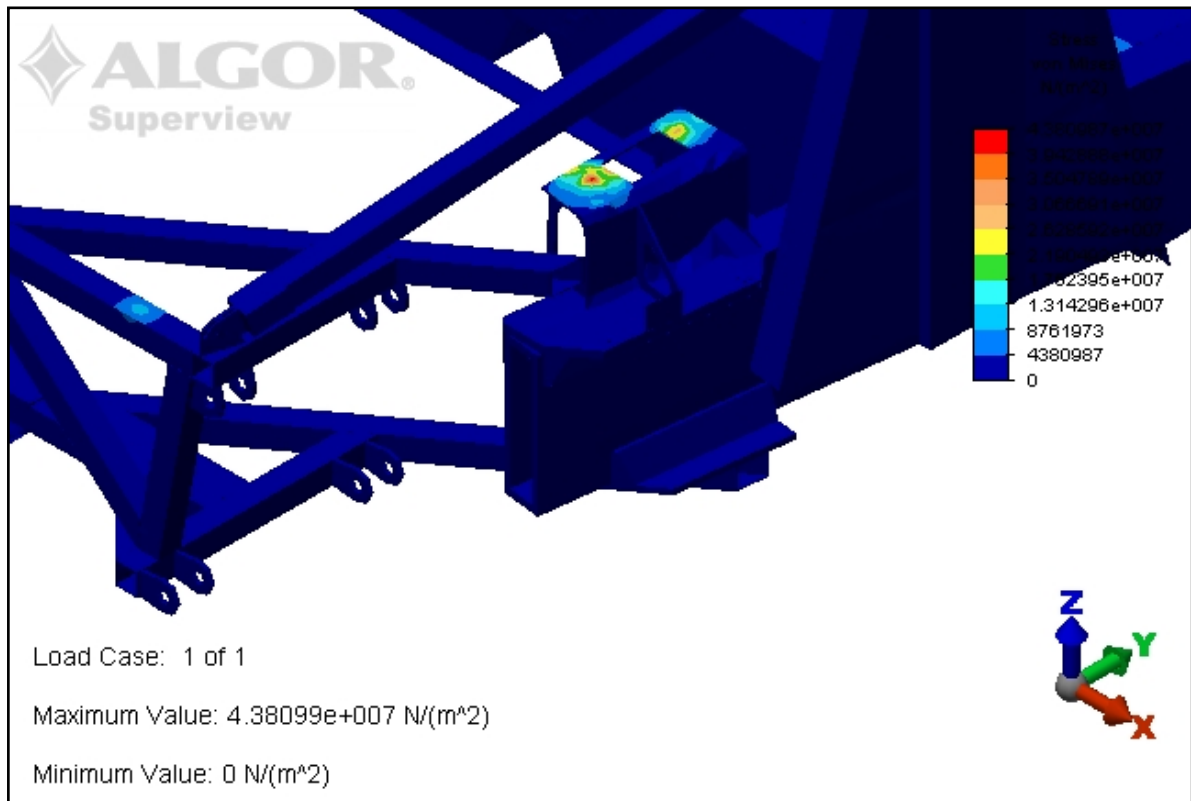


*Figura 6.29: Soporte de unión creado en AutoCAD.*

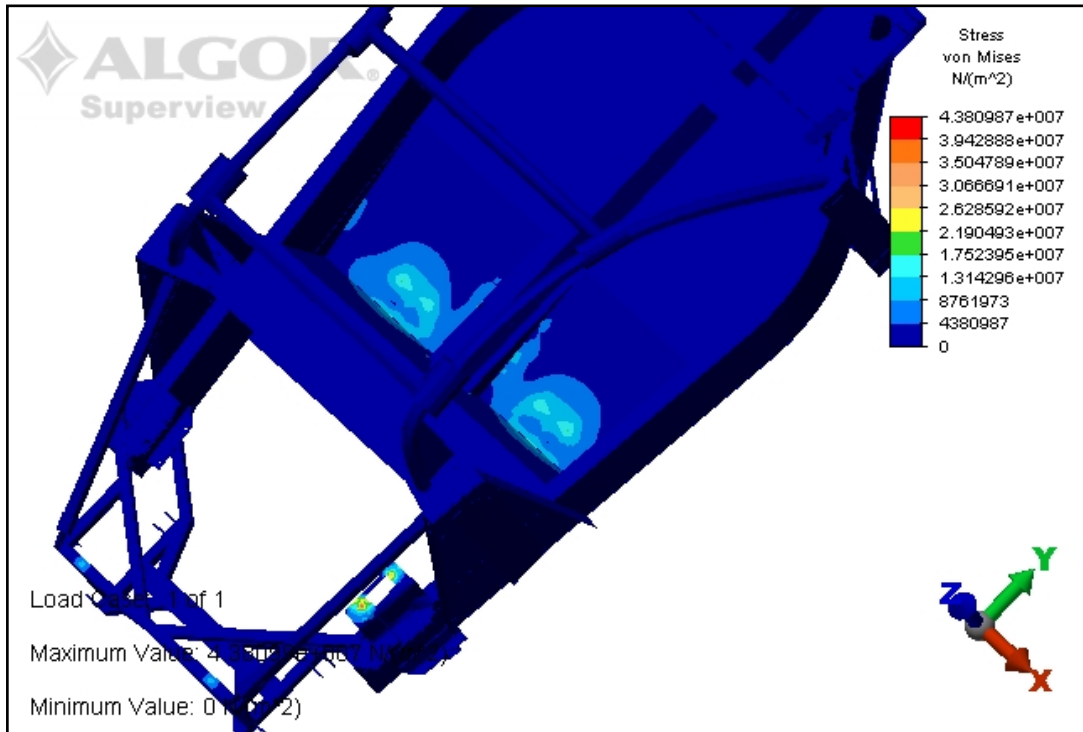


*Figura 6.30: Modelo Optimizado del MXT en el editor de FEA.*

Para esto se diseñó un nuevo perfil para lograr la conexión de la barra del soporte para la estructura del motor y el perfil T de aluminio 6061-T6, con una geometría simple, procurando no dejar perfiles angulosos para evitar la concentración innecesaria de esfuerzos (Figura 6.29).

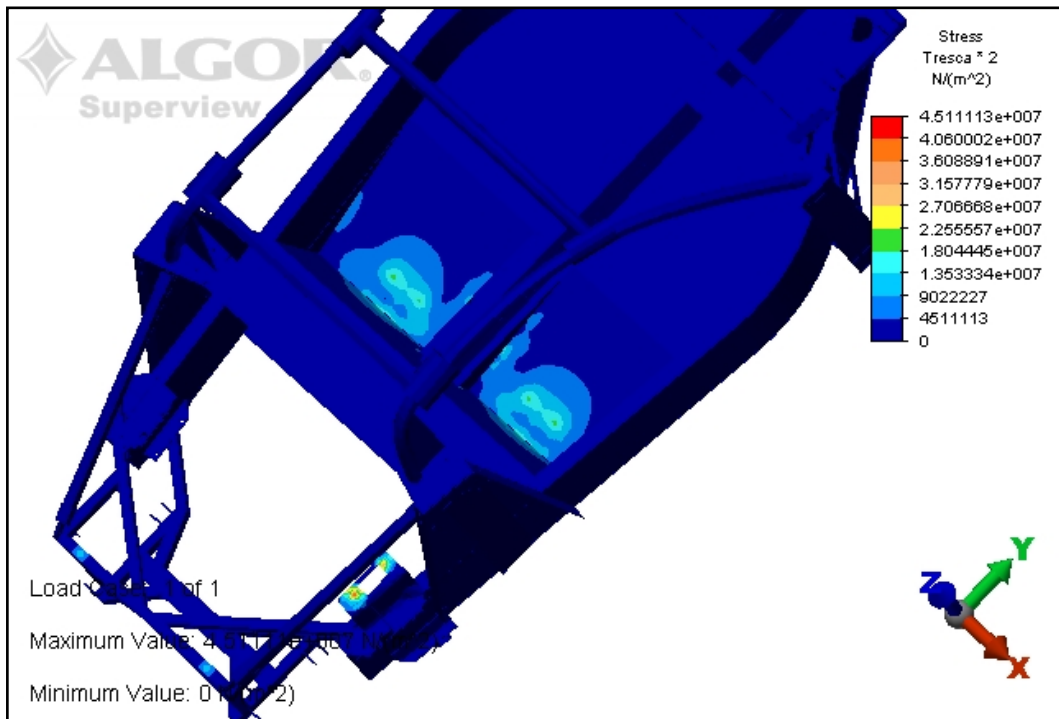


**Figura 6.31:** Esfuerzos según teoría de Von Mises del soporte del motor en el modelo optimizado del MXT

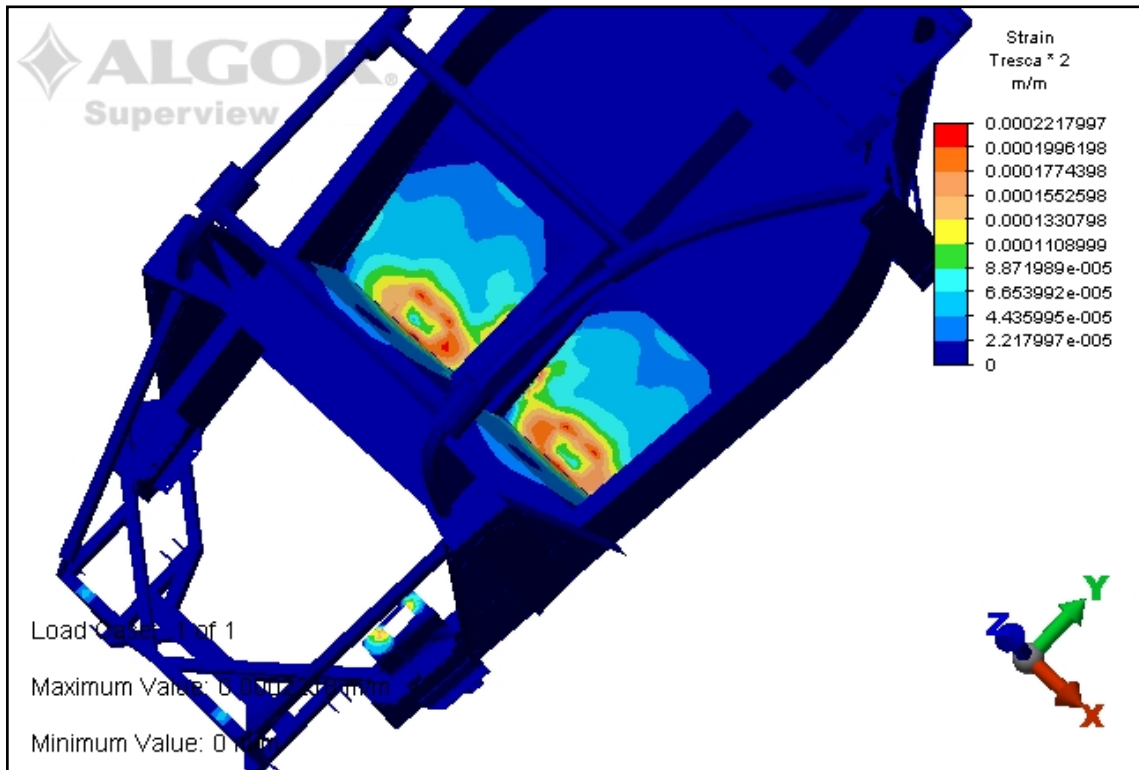


**Figura 6.32:** Vista Superior de los esfuerzos según teoría de Von Mises en el modelo optimizado del MXT

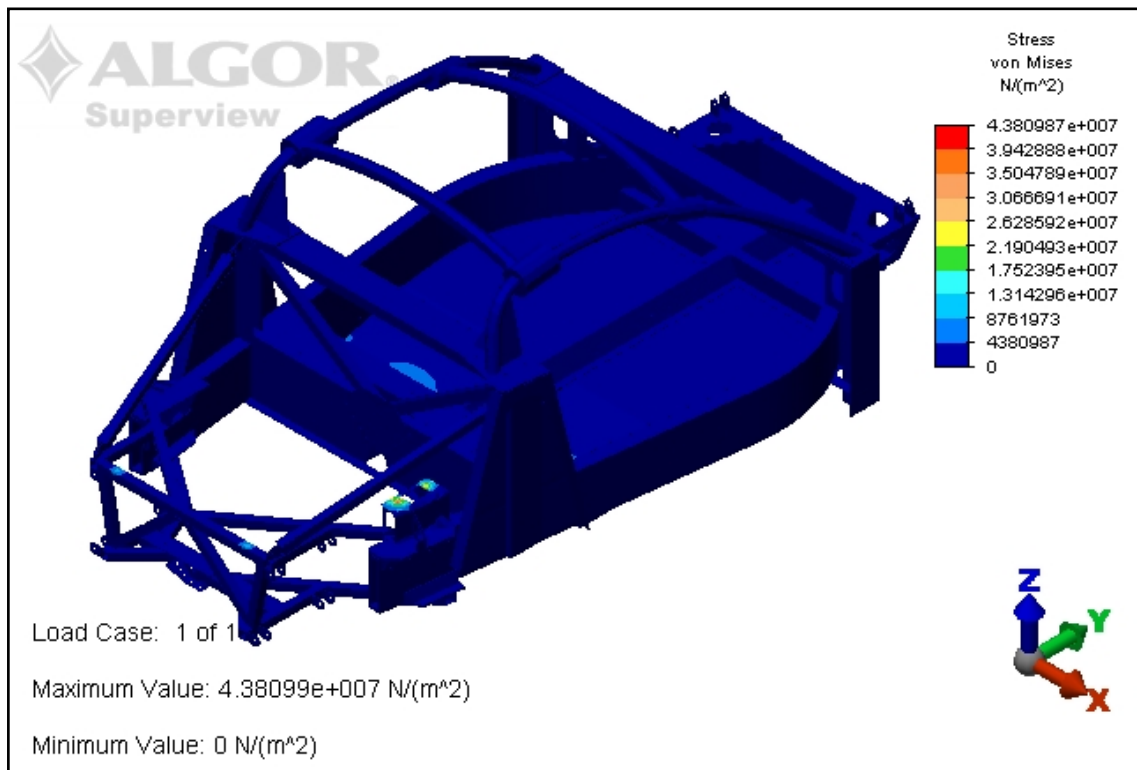
Como se puede observar, hay una mejor distribución de los esfuerzos sobre el bastidor, siendo los más elevados los encontrados en la estructura que soporta al motor.



**Figura 6.33:** Vista Superior de los Esfuerzos según la teoría de Tresca en el modelo optimizado del MXT

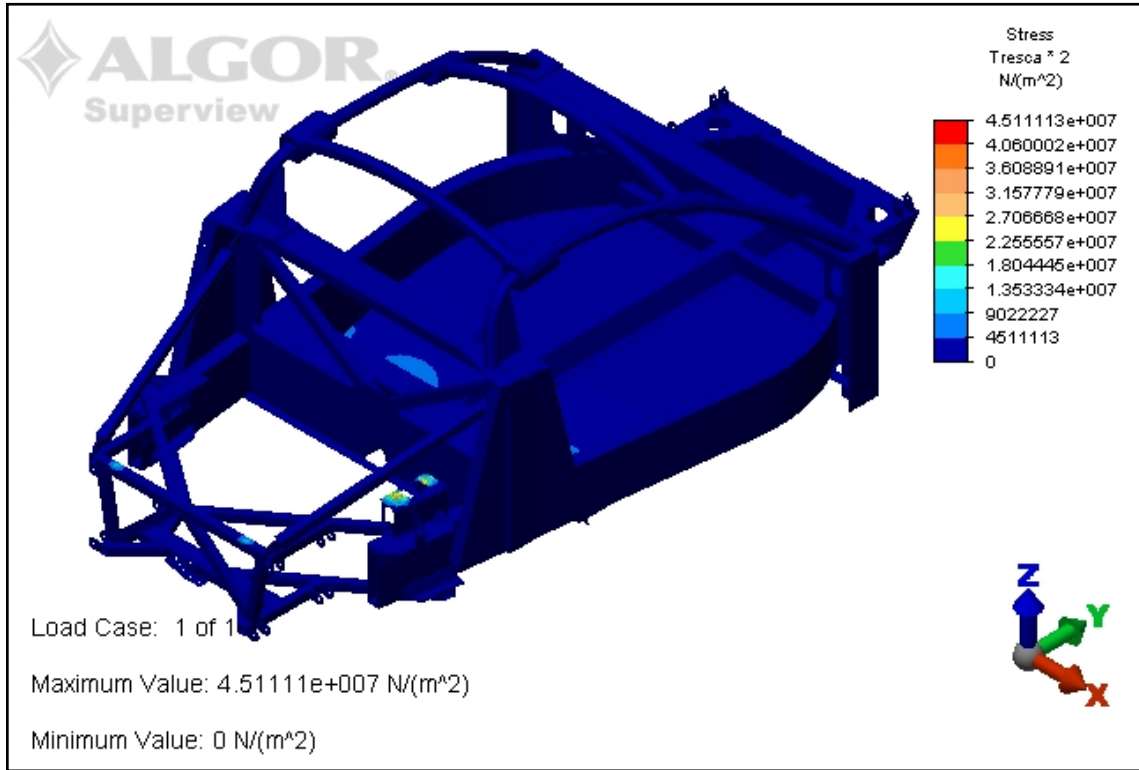


*Figura 6.34: Vista superior de las Deformaciones según teoría de Tresca en el MXT*

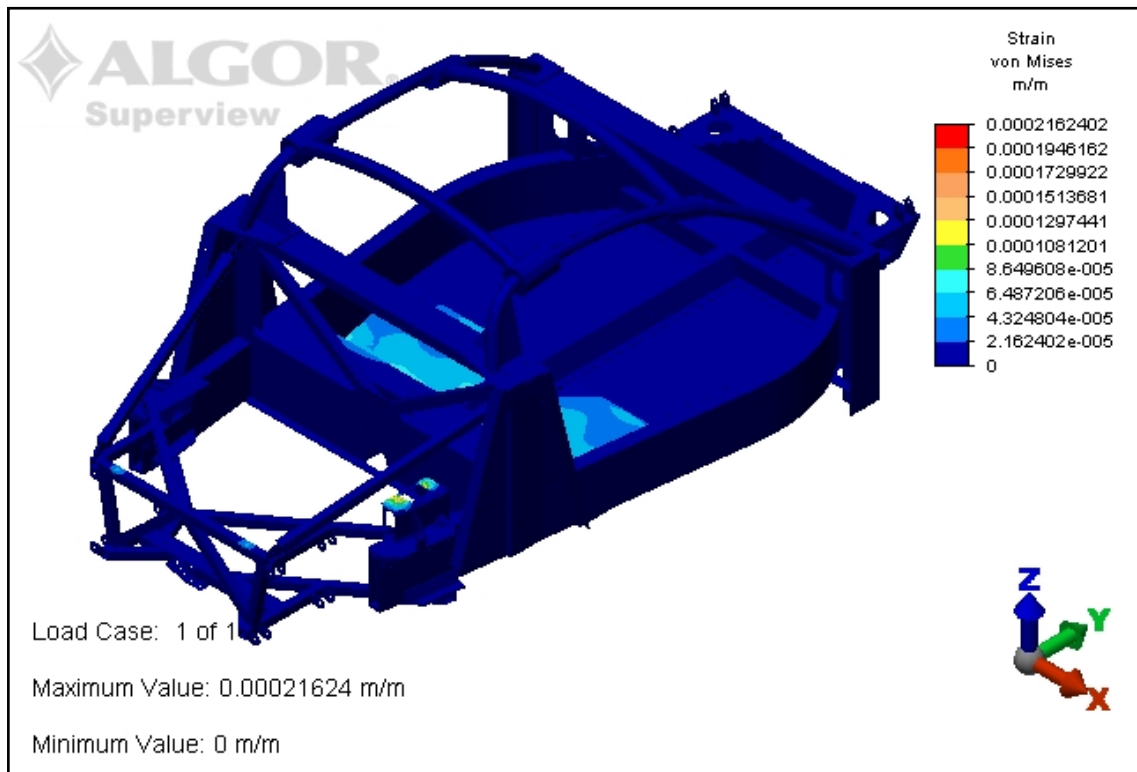


*Figura 6.35: Esfuerzos según la teoría de Von Mises en el modelo optimizado del MXT*

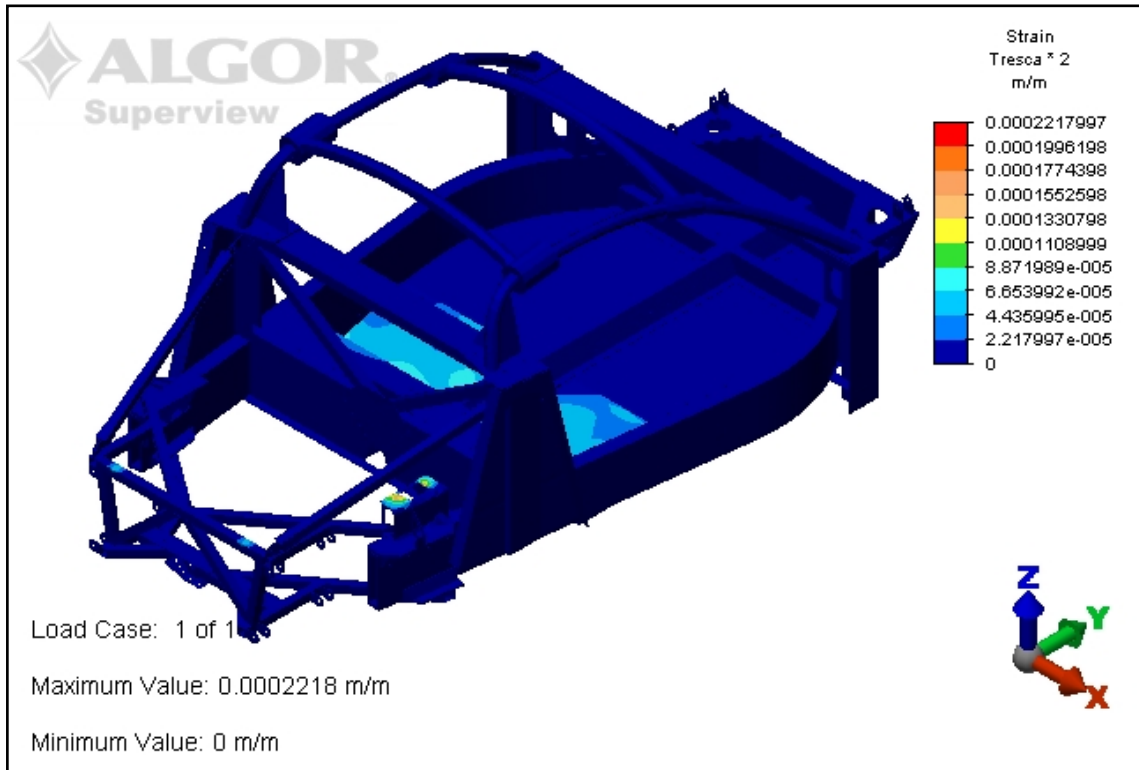




**Figura 6.36:** Esfuerzos según la teoría de Tresca en el modelo optimizado del MXT

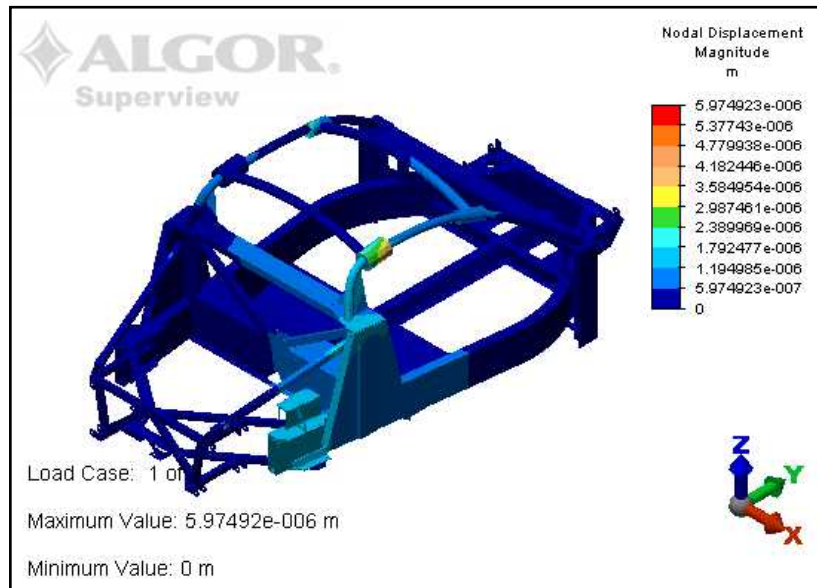


**Figura 6.37:** Deformaciones según la teoría de Von Mises en el modelo optimizado del MXT



*Figura 6.38: Deformaciones según la teoría de Tresca en el modelo optimizado del MXT*

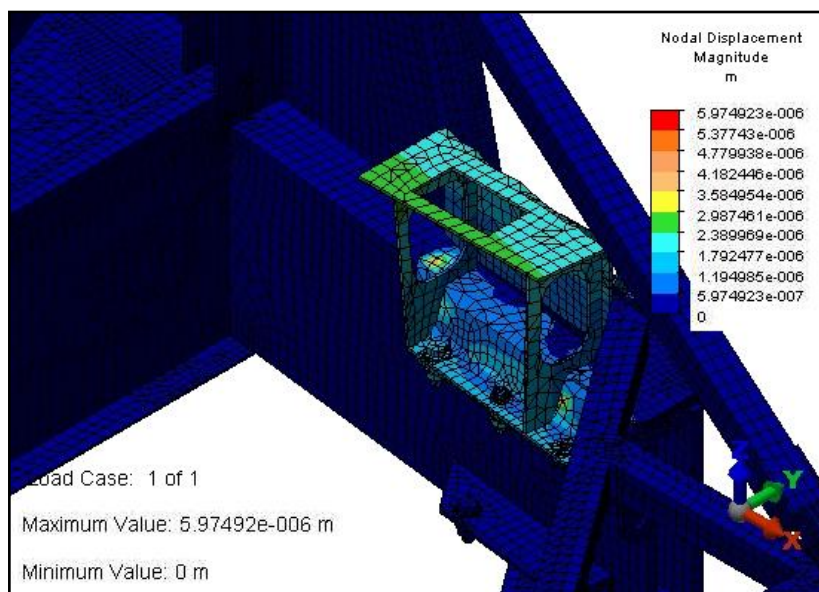
El modelo se comporta de manera estable y no presenta concentraciones de esfuerzos elevados, las suspensiones se mantienen sin cambio alguno al igual que la zona de pasajeros y los perfiles.



*Figura 6.39: Desplazamiento Nodal en el MXT*



Con respecto a los desplazamientos nodales podemos observar que la estructura no presenta algún desplazamiento considerable causado por la acción de las fuerzas. El soporte derecho del motor presenta el siguiente desplazamiento nodal.



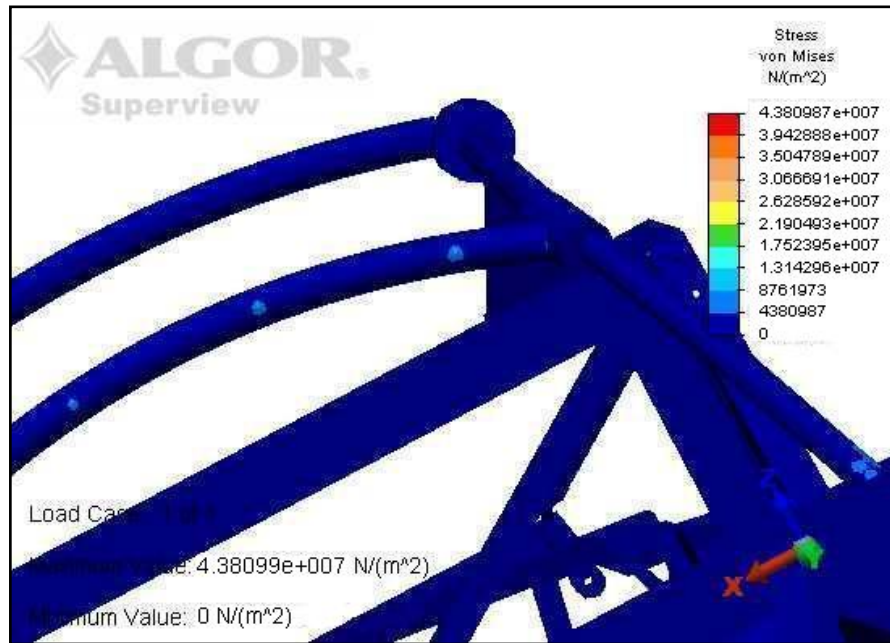
**Figura 6.40:** Desplazamiento nodal en la fijación derecha del MXT

En base al nuevo modelo podremos concluir que:

1. La mayor parte de la estructura es estable los esfuerzos según la teoría de Von Mises tienen un valor máximo de 4.38MPa y no hay evidencia de alguna deformación de alto riesgo (0.21mm) en la zona donde las suspensiones serán colocadas.
2. Los esfuerzos en la zona de pasajeros disminuyen considerablemente de los 50MPa y los  $6.004495e-4m$  que se deforma con el AA 6105-T5, pasa a tener un esfuerzo máximo de 40.6MPa y se deforma  $2.217e-4m$  (0.21mm). comparado con el esfuerzo

permisible que presenta el aluminio 6061-T6 que es de 240 MPa, con ello se puede obtener un factor de seguridad de 5 a la cedencia lo cual la hace excelente para la aplicación dinámica, de fatiga y posible impacto de la estructura para la lámina que soporta a los pasajeros La estructura se comporta de manera estable y no hay evidencia de una deformación de alto riesgo.

3. La estructura que sostiene al motor se mantiene sólida con un esfuerzo máximo de 43.81MPa comparado con el esfuerzo permisible que presenta el acero estructural ASTM A36 que es de  $2.4821 \times 10^8$  Pa, con ello se puede obtener un factor de seguridad superior a 5 a la cedencia lo cual la hace excelente para la aplicación dinámica, de fatiga y posible impacto de la estructura. Se espera que la estructura este preparada para la aplicación de esfuerzos no superiores a los 62.5 MPa considerando un factor de diseño de 4.
4. Ambos perfiles, extruídos de aluminio 6061-T6 presentan un esfuerzo máximo de 4.381MPa y se comportan adecuadamente sin llegar a tener concentraciones de esfuerzos ni deformaciones importantes.
5. Los esfuerzos presentados en la estructura del *RollBar* son de 13.1MPa y no afectarán el desempeño de la misma, pues esta tiene una resistencia a punto cedente es de  $1.3789 \times 10^9$  y el esfuerzo que se presenta es mucho menor a este.



**Figura 6.41:** Esfuerzos en el RollBar del MXT

6. La deformación máxima que se presenta en la estructura, se encuentra ubicada en el soporte del motor, siendo ésta de 0.00021 m cuando la deformación máxima permisible de la estructura es de 0.0012656m (1.26mm). Lo cual nos da un factor de seguridad de 5. Sin embargo la estructura bajo la acción de un incremento de cargas podrá deflexionarse hasta 0.0003164m (0.3mm).
7. Es posible cambiar muchas de las estructuras de acero ASTM A36 por acero AISI 1025, ambos presentan el mismo esfuerzo admisible 250MPa. Sin embargo su densidad es de 7858Kg/m<sup>3</sup> y esta es más pesada que la del ASTM A36 7855kg/m<sup>3</sup> así que con el uso del ASTM A36 se obtiene un ahorro en el peso de la estructura.
8. Si se planea el uso del acero AISI 1025 en el bastidor, es conveniente que además del uso de aluminio en la estructura, se considere el uso de extrusiones de

aleaciones con magnesio como la AZ31B, la ZK60A-T5 y la AZ31B-H24 (Placas, Hojas) para optimizar el peso de la estructura sin comprometer la seguridad de la misma ya que estas extrusiones soportan mayores esfuerzos admisibles que el mismo acero AISI 1025 o el ASTM A36.

9. Una manera de economizar peso en la estructura será reemplazando la mayoría de las partes de acero ASTM A36 por las aleaciones de aluminio 6061-T6, y solo dejando este acero para las partes que estarán en contacto con la suspensión.
  
10. Se aceptará el factor de seguridad  $N=5$  para este diseño, ya que aunque es mayor que el comúnmente usado para elementos mecánicos de este tipo  $N=4$ , el diseño de esta estructura solo está preparado para soportar cargas estáticas, carece de estudios de impacto, fatiga y análisis dinámico. Y el diseño ya está en fase de construcción. Una vez que todos los resultados provenientes de los estudios de este proyecto sean anexados se podrá recurrir a continuar con la optimización de este modelo.

---

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

[<sup>ii</sup>] Mat Web, (© 2005). AISI 4130. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.matweb.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[<sup>iii</sup>] Ferdinand P. Beer y E. Russell Johnston, (©1999). *Mecánica de Materiales* 2ª edición. Editorial Mc Graw Hill. P698-699

[<sup>iv</sup>] Mat Web, (© 2005). AA6105-T5. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.matweb.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[<sup>v</sup>] Mangonon, Pat. L. (© 1999). *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*, Ed. Prentice Hall, Paráfrasis y traducción por Jonathan A. López Saucedo, pp. 540-593.

---

[<sup>vi</sup>] Damaso, P. O. (© 2004) 5. *Análisis de la Estructura y Elementos del SAND CAR Project para su adaptación y Compatibilidad en un programa de Elementos Finitos para el análisis de Esfuerzo y Deformación generadas por Cargas Estáticas*. UDLA, México Pue, pp. 90.

[<sup>vii</sup>] Mangonon, Pat. L. (© 1999). *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*, Ed. Prentice Hall, Paráfrasis y traducción por Jonathan A. López Saucedo, pp. 781-782.