

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y REDISEÑO DE UN CHASIS
TUBULAR DE UN VEHÍCULO BUGGY"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN MECÁNICA

Presentado por:

Jorge Alexander Jaramillo Seminario

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

AGRADECIMIENTO

A mi madre y mi padre que inculcaron en mí el valor de la educación e hicieron posible la misma y me guiaron en cada momento de mi vida.

A mi esposa e hijos que me brindaron su apoyo en todo momento.

A Msc. Efraín Terán por su permanente apoyo y tutoría en este trabajo.

A mis amigos que de una u otra manera colaboraron con la realización de este TFG.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

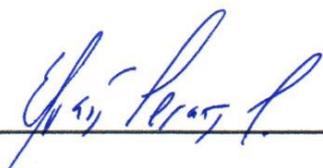
A MIS HIJOS

A MIS HERMANOS

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Efraín Terán, M.Sc.
Docente FIMCP

VOCAL



Jorge Duque, M.Sc.
Docente FIMCP

VOCAL



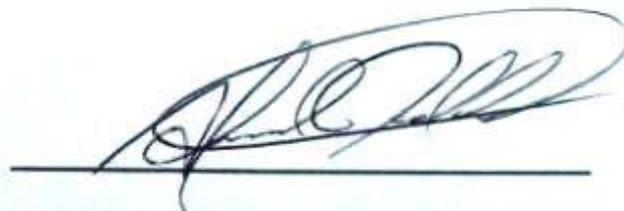
Francis Loayza
Docente FIMCP

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. A. Jaramillo Seminario', is written over a solid horizontal line.

Jorge Alexander Jaramillo Seminario

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de graduación es el de analizar, verificar y comprobar que la estructura de un vehículo Buggy tubular previamente construido, sea lo suficientemente resistente como para soportar las cargas de dos ocupantes y, también ser rediseñado para poder ser validado estructuralmente por la Real Federación Española de Automovilismo.

Para esto, se dibujó la estructura tubular del Buggy en Autocad que es una herramienta muy conocida y fácil de usar, luego se migró todo el dibujo al software de análisis estructural "SAP2000". Con esta herramienta se le pudo asignar las propiedades respectivas a los elementos tales como tipo de material, dimensiones, tipo de juntas y más. También se le asignaron cargas vivas como el peso de los ocupantes, cargas muertas como el peso del motor y accesorios, resistencia del aire, etc.

Ya con todo esto definido, se corrió en el programa una serie de combinaciones de todas las cargas juntas con sus respectivos factores de carga. Lo que mostró los esfuerzos y deformaciones que sufrirían cada uno de los elementos y según esto se pudo reforzar las zonas "débiles" rediseñando la estructura y volviéndola a analizar hasta verificar que cumpliera con las normas que establece la RFEDA con respecto a las cargas de impacto.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| RESUMEN..... | I |
| ÍNDICE GENERAL..... | II |
| ABREVIATURAS..... | IV |
| INDICE DE FIGURAS..... | V |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO 1 | |
| ANTECEDENTES..... | 2 |
| 1.1. Disponibilidad..... | 2 |
| 1.2. Construcción..... | 2 |
| 1.3 Rediseño de estructura para cumplir con las normas RFEDA..... | 3 |
| 1.4 Marco Teórico..... | 5 |
| 1.4.1 Diseño por carga y factor de diseño (LRFD)..... | 6 |
| CAPÍTULO 2..... | |
| 2.1 Materiales..... | 10 |
| 2.2 Dibujo en Autocad..... | 11 |
| 2.3 Análisis en SAP2000..... | 12 |
| 2.3.1 Asignación de cargas y verificación de estructura..... | 14 |
| CAPÍTULO 3..... | |
| 3 Resultados..... | 16 |
| 3.1 Verificación de resistencia de la estructura rediseñada..... | 16 |
| 3.2 Verificación de estructura aplicando las normas de la RFEDA..... | 17 |
| 3.3 Análisis de un elemento estructural por el método “tradicional” comparado con el del software..... | 22 |

CAPÍTULO 4

| | |
|--------------------------|----|
| 4.1 CONCLUSIONES..... | 26 |
| 4.2 RECOMENDACIONES..... | 27 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 29 |

ABREVIATURAS

| | |
|-------|---|
| TFG | Trabajo final de graduación |
| FIA | Federación Internacional de Automovilismo |
| RFEDA | Real Federación Española de Automovilismo |
| AISC | American Institute of Steel Construction |
| AISI | American Iron and Steel Institute |
| LRFD | Load and Resistance Factor Design |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. Vehículo tipo Buggy | 2 |
| Figura 1.2. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación..... | 6 |
| Figura 2.1. Propiedades de acero ASTM A500 Grado C..... | 11 |
| Figura 2.2. Malla del chasis tubular dibujado en Autocad 2014..... | 12 |
| Figura 2.3. CHASIS y JAULA del vehículo modelado en SAP2000..... | 13 |
| Figura 2.4. Carga viva distribuida | 14 |
| Figura 2.5. Carga muerta distribuida..... | 15 |
| Figura 3.1. Resultado Simulación con $\lambda 1=4$ | 16 |
| Figura 3.2. Masa total de la estructura tubular..... | 18 |
| Figura 3.3. Simulación de resultado con carga Vertical..... | 19 |
| Figura 3.4. Refuerzos de techo. Art. 253-8.3.2.1.3..... | 20 |
| Figura 3.5. Aplicación de carga vertical distribuida..... | 21 |
| Figura 3.6 Simulación #2 de resultado con carga vertical..... | 21 |
| Figura 3.7 Cociente de seguridad..... | 21 |

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del siguiente TFG abarca principalmente lo siguiente:

En el capítulo 1 se explica que un Buggy es un vehículo con chasis tubular de uso recreativo y/o deportivo que no se encuentra disponible en nuestro medio por lo cual se procedió a construirlo hace unos años. Buscando la seguridad para sus ocupantes se lo analizó mediante software y posteriormente se tuvo que rediseñar para poder ser validado cumpliendo las normas del Anexo J de la RFEDA.

En el capítulo 2 se detalla materiales, normas, criterios y procedimientos a seguir para validar la estructura mediante el software SAP2000 que funciona bajo el método LRFD de resistencia última del material.

Con estos antecedentes, en el capítulo 3 se detallarán los resultados tanto de las simulaciones para verificar la resistencia de la estructura construida como del posterior rediseño de la misma para validarla siguiendo las normas de la RFEDA.

Por último en el capítulo 4 se darán las respectivas conclusiones y recomendaciones de los datos estructurales obtenidos en la simulación.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 DISPONIBILIDAD

Los vehículos recreacionales del tipo buggy tubulares no se encuentran disponibles en el libre comercio en nuestro país, ni ya contruidos ni en kits de armado para ser contruidos o mas bien ensamblados por los mismos usuarios, como sí los hay en otros países donde este hobby tiene mas adeptos.



Figura 1.1 Vehiculo tipo Buggy

1.2 CONSTRUCCIÓN

Debido a la falta de disponibilidad en nuestro medio se decidió construir nuestro propio Buggy de estructura tubular. Para esto, se usó un

Suzuki Forza 1 chocado del cual se utilizó su motor así como piezas de suspensión y tablero de instrumentos entre varias cosas, siendo toda la estructura totalmente nueva e independiente de dicho modelo.

El chasis tubular consta de dos partes:

La primera es el chasis inferior donde se soportan y van alojados todos los componentes tales como suspensión, motor, asientos y los pasajeros en sí. La segunda parte es el chasis superior o jaula de seguridad que cubre la parte superior y costados del vehículo y a sus ocupantes en el caso de un posible vuelco del mismo. El motor se lo ubicó en la parte trasera del Buggy dándole así capacidad de tracción en las ruedas posteriores muy deseable en este tipo de vehículos así como también suspensión independiente trasera. La sección delantera, lleva una suspensión independiente tipo McPherson para darle más soltura, agilidad y que se adapte mejor al camino comparado con una suspensión tipo ballestas.

1.3 REDISEÑO DE ESTRUCTURA PARA CUMPLIR CON LAS NORMAS DE LA RFEDA.

Se realizó un rediseño al chasis original para homologarlo cumpliendo las normas de la Real Federación Española de Automovilismo (RFEDA) que rige a los vehículos de competición. Misma que en su Anexo J determina que una vez definida la estructura del chasis tubular (chasis inferior y

superior en conjunto), esta debe ser sometida a las siguientes cargas estáticas

- Carga lateral: magnitud dos veces su peso total.
- Carga longitudinal: magnitud seis veces su peso.
- Carga vertical: magnitud ocho veces su peso.

Ante tales condiciones de carga en la estructura, no se debe producir ruptura y las deformaciones no deben ser superiores a los siguientes valores:

- Para la carga aplica lateral, la deformación no debe exceder 50 mm, medidos bajo carga, a lo largo del eje de aplicación de la carga.
- Para la carga aplicada longitudinalmente, la deformación no debe exceder 100 mm, medidos bajo carga, a lo largo del eje de aplicación de la carga.
- Para la carga aplicada verticalmente, la deformación no debe exceder 50 mm, medidos bajo carga, a lo largo del eje de aplicación de la carga.

1.4 MARCO TEÓRICO.

A continuación se describen algunos conceptos básicos de ingeniería relevantes al presente trabajo:

Elasticidad es la propiedad de un material en virtud de la cual las deformaciones causadas por la aplicación de una fuerza desaparecen cuando cesa la acción de la fuerza.

Plasticidad es aquella propiedad que permite al material soportar una deformación permanente sin fracturarse.

Ductilidad una propiedad que presentan algunos materiales los cuales, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse plásticamente sin romperse.

Tenacidad es la energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto

La **resistencia a la fluencia (S_y)** determina la cantidad de fuerza o carga que puede soportar un material sin que se deforme permanentemente.

El **esfuerzo último a la tracción (S_{ut})** es el máximo esfuerzo ingenieril que puede soportar un material antes de romperse.

El **módulo de elasticidad (E)**, también llamado **módulo de Young**, es un parámetro característico de cada material que indica la relación

existente (en la zona de comportamiento elástico de dicho material) entre los incrementos de tensión aplicados en el ensayo de tracción y los incrementos de deformación longitudinal unitaria producidos.

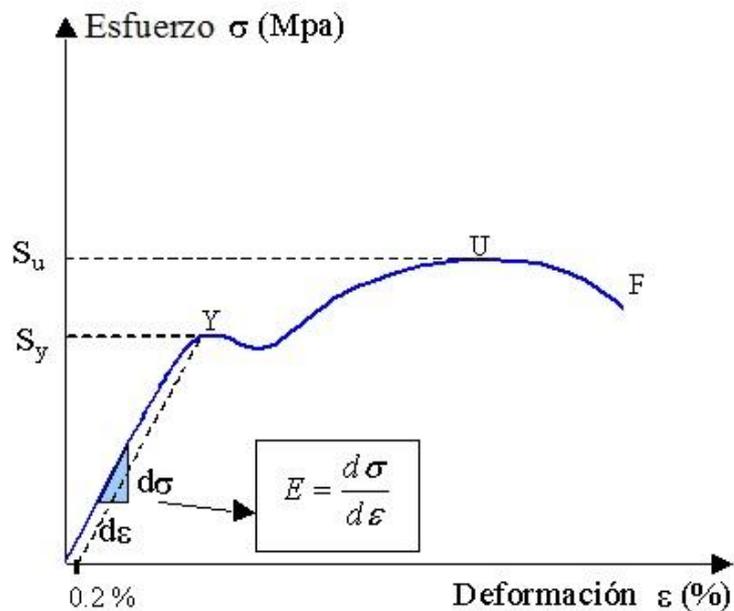


Figura 1.2 Diagrama Esfuerzo vs. Deformación

Referencias:

- “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”.
Callister, W.D. Ed. Reverté S.A., Barcelona

1.4.1 DISEÑO POR CARGA Y FACTOR DE DISEÑO (LRFD).

En la actualidad, entidades como la American Institute of Steel Construction (AISC) y la American Iron and Steel Institute (AISI), se

dedican a estudiar las características y formas de comportamiento del acero, así como a la elaboración de normas para cálculo estructural que rigen el diseño en acero, desarrollándose así el método de estados límite, Load and Resistance Factor Design (LRFD). Es éste método el que se usó para el cálculo de los elementos estructurales en este TFG, el cual está orientado esencialmente a la aplicación de los fundamentos básicos del método en mención.

El diseño por el método LRFD se basa en los conceptos de estados límite, los mismos que describen una condición en la que una estructura, o alguna parte de ella, dejan de cumplir su función (condición de falla).

Este estado límite se puede sub-categorizar en dos tipos:

- 1) Los de resistencia (bajo condiciones de cargas extremas)
- 2) Los de servicio (bajo condiciones de cargas normales)

Los estados límite de resistencia se basan en la seguridad o capacidad de carga de las estructuras e incluye las resistencias plásticas, de pandeo, de fractura, de fatiga, de torsión etc. Mientras que los estados límite de servicio se refieren al comportamiento de las estructuras bajo cargas normales de servicio, las mismas que tienen que ver con el uso y la ocupación como deflexiones excesivas, deslizamientos, vibraciones y agrietamientos.

En el método LRFD, las cargas de servicio (Q) son multiplicadas por los llamados factores de carga o de seguridad (λ_1). Con esto se obtienen las cargas factorizadas, mismas que serán utilizadas para el diseño de la estructura. La estructura deberá tener una resistencia última de diseño lo suficientemente fuerte para resistir estas cargas factorizadas. Esta resistencia es la resistencia teórica o nominal (R_n) del miembro estructural, multiplicado por un factor de resistencia (ϕ) que es normalmente menor a la unidad. Con esto se busca tomar en cuenta las incertidumbres relativas a resistencias de los materiales, dimensiones y mano de obra. En resumen puede decirse que para este tipo de diseño:

$$(\lambda_1) (Q) \leq (\phi) (R_n)$$

Donde:

λ_1 : Factor de carga

Q: Suma de los Productos de los Efectos de las Cargas

ϕ : Factor Resistencia

R_n : Resistencia Nominal

Es así que, a través del programa de estructuras SAP2000, se realizará la modelación y análisis de los miembros estructurales del proyecto, ya que su programación cuenta con el método LRFD, utilizando en este

caso la norma "AISC-LRFD 97" que aplica varias combinaciones y factores de carga, siendo las cuatro principales las siguientes:

Combinación #1= $1,3D$

Combinación #2= $1,3D + 1,5L$

Combinación #3= $1,1D + 1,1L + 1,35W$

Combinación #2= $1,1D + 1,1L - 1,35W$

Donde:

D: Carga muerta

L: Carga viva

W: Carga del viento

Para el caso de la validación del chasis bajo las normas de la RFEDA, se asigna solamente una carga definida en el Anexo J de la misma con un determinado factor de seguridad ya establecido en dicho Anexo. En este caso no se aplica ningún factor de carga ni otra combinación adicional del método LRFD en el análisis.

CAPITULO 2

En este capítulo se detalla el procedimiento a seguir para la comprobación de la resistencia estructural del chasis tubular del vehículo tipo Buggy usando el software SAP2000. Así como también realizar un rediseño a este chasis reforzándolo para que pueda ser validado y cumpla con las normas del Anexo J de la RFEDA aplicando igualmente SAP2000.

2.1 MATERIALES

Para realizar la estructura se utilizó tubos de acero estructural ASTM A500 grado C ya que lo podemos encontrar en nuestro medio y además cumple el reglamento RFEDA que dicta que la resistencia mínima a la tracción debe ser de 350 Mpa. Se escogió en dos tamaños, de 2 pulgadas de diámetro exterior y 1.5mm de espesor y, de 2 pulgadas internas y cedula 40 que equivale a 60.45mm de diámetro exterior 3.9mm de espesor.

| | |
|---|-------------------------|
| Densidad | 7850 Kg./m ³ |
| Esfuerzo de fluencia | 315 Mpa |
| Esfuerzo último de tracción | 425 Mpa |
| Módulo de Young | 210 Gpa |
| Alargamiento Máximo | 21% |
| Composición Máxima de carbono | 0.27% |
| Composición Máxima Manganeso | 1.4% |
| Fósforo | 0.05% |
| Azufre | 0.06% |
| Deformación unitaria ultima a la tracción | 0.10 |
| Deformación unitaria a la fluencia | 0.0015 |
| Modulo tangencial | 1116.75 Mpa |

Figura 2.1 Propiedades de acero ASTM A500 Grado C

2.2 DIBUJO EN AUTOCAD

Primero se hizo el dibujo de la estructura en Autocad 3D ya que es una herramienta mas completa y fácil de utilizar para modelar una estructura de líneas en tres dimensiones.

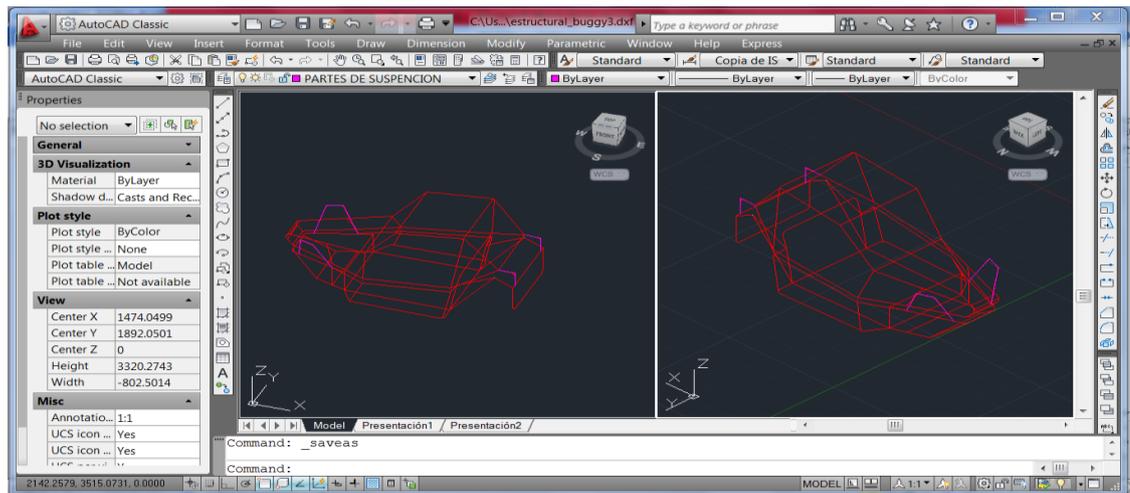


Figura 2.2 Malla del chasis tubular dibujado en AutoCAD 2014

Una vez hecho esto se procedió a importar el modelo en el software SAP2000 y se asignó el tipo de coordenadas y unidades a referenciar desde donde se trabajó el dibujo original. Se unificó el tipo de capa en la que viene el dibujo con la estructura que sera en SAP2000

2.3 ANÁLISIS EN SAP2000

Lo siguiente es asignar el tipo de material del que está compuesto todo el chasis. Para realizar esta tarea de una manera rápida se procedió a separar la estructura en dos grupos: 1) el chasis superior (JAULA) con tubo de diametro exterior $D=2$ in (50,8 m.m.) y espesor=0,06”(1.5 m.m.). y, 2) los tubos que componen el chasis inferior (CHASIS) con diámetro interno $d=2$ in y cedula 40 (PIPE2 SCH40) que realmente es de 60.452mm de diámetro exterior y pared reforzada de 3.91mm.

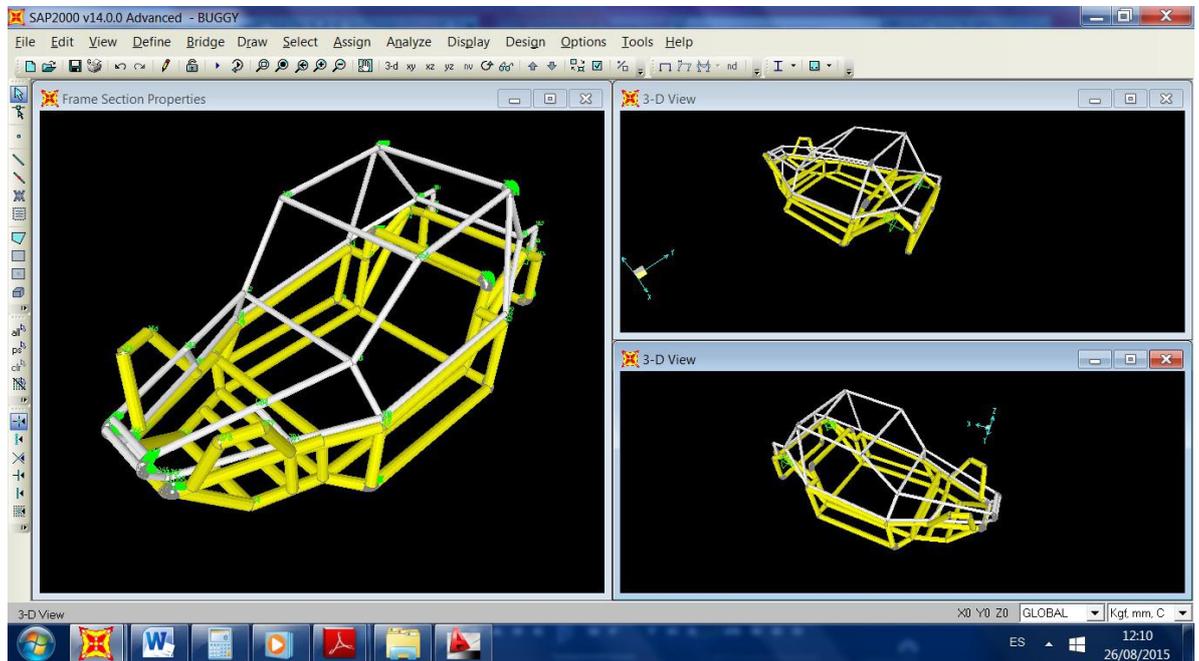


Figura 2.3 Grupos CHASIS y JAULA del vehículo modelado en SAP2000

Luego a cada uno de los puntos de fijación entre JAULA y CHASIS se les asigna una restricción de sujeción para unificar todo el chasis tubular.

2.3.1 ASIGNACIÓN DE CARGAS Y VERIFICACIÓN DE ESTRUCTURA.

Se asignan los tipos de carga que soportará la estructura como carga muerta/carga viva y se aplica un factor a cada carga.

Las **cargas muertas** son cargas de magnitud constante que permanecen fijas en un mismo lugar. Las **cargas vivas** son todas las cargas que estén en movimiento.

Se asignó una carga viva distribuida uniformemente en el piso del chasis para simular 2 ocupantes dentro del vehiculo de 175 lb (79.55 Kg) cada uno. Total 350 lb (159.1 Kg).

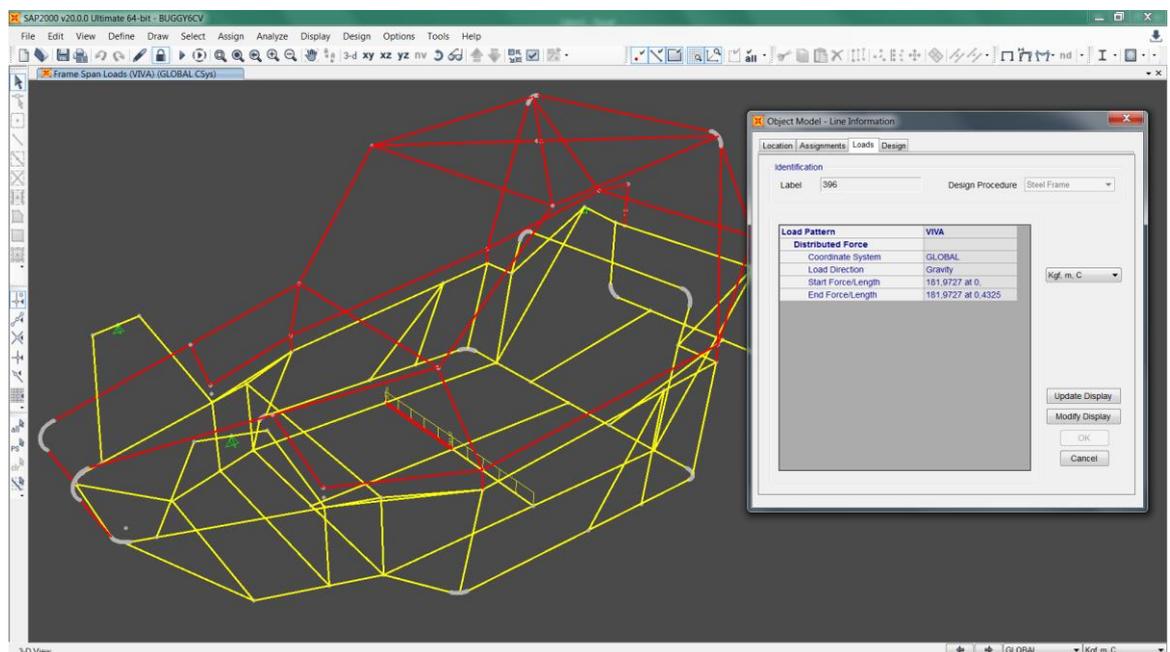


Figura 2.4 Carga viva distribuida

Se asignó también una **carga muerta** distribuida uniformemente sobre los dos travesaños donde van ubicadas las bases del motor simulando uno 4 cilindros de 1600 cc con un peso de 280 lb (127.27 Kg) desglosado en dos cargas de 140 lb (63.64Kg) cada una

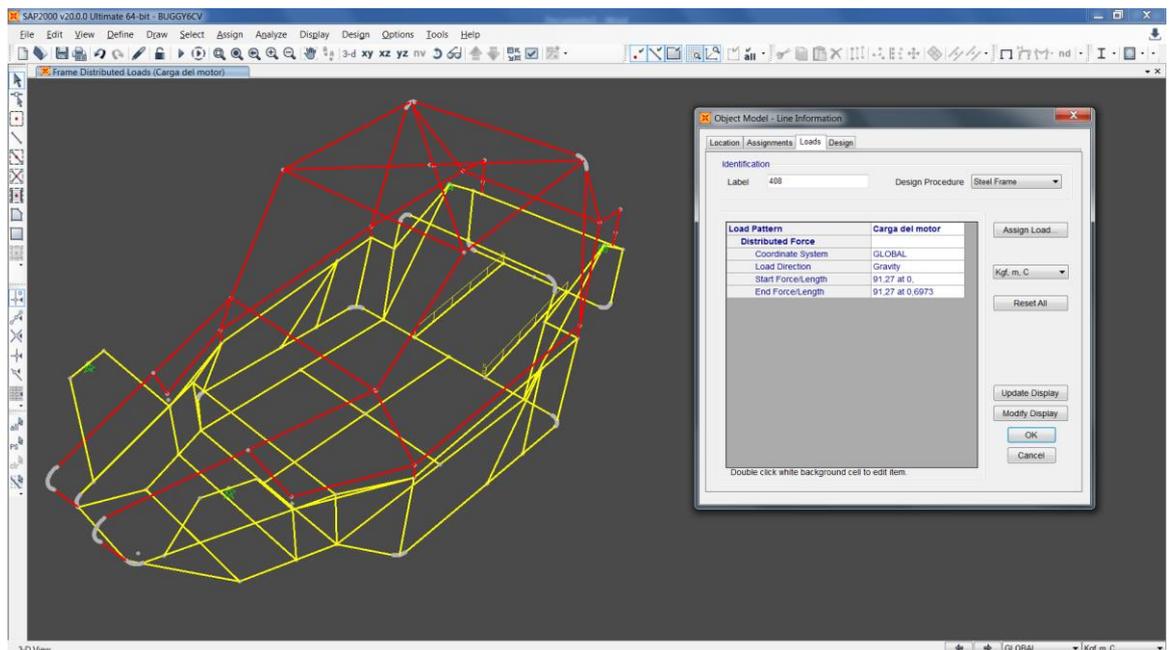


Figura 2.5 Carga muerta del motor distribuida

Además las combinaciones #1, 2, 3 y 4 preestablecidas en la norma AISC-LRFD 97, se creó una combinación personalizada llamada **COMB2** en la cual se asignó un factor de carga o seguridad de cuatro ($\lambda=4$) a cada una de las cargas (viva, muerta) para darle mas confiabilidad a nuestro diseño.

CAPITULO 3

3. RESULTADOS.

En este capítulo se detallan los resultados de las simulaciones tanto para verificar que la estructura construida soporte los esfuerzos por las combinaciones de cargas establecidas, así como también para validar la estructura siguiendo las normas del Anexo J de la RFEDA y rediseñarla en caso de que no cumpla.

3.1 VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE.

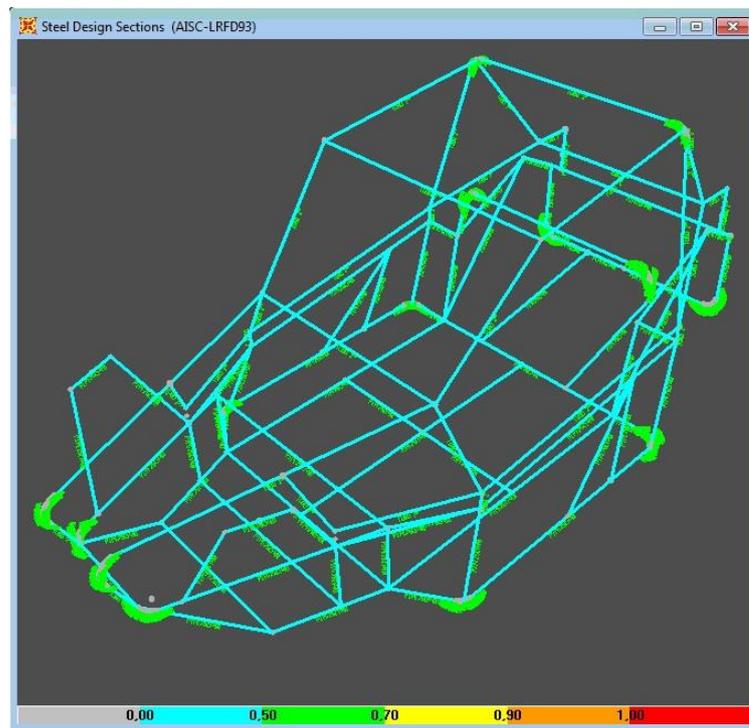


Figura 3.1 Resultado Simulación con $\lambda_1=4$

Con las combinaciones preestablecidas antes mencionadas y también la personalizada COMB2, se corrió el software y arrojó que la estructura soporta perfectamente las cargas ya que todos los elementos se muestran de color “azul” (cociente de seguridad menor o igual a 0.50) lo que significa que los esfuerzos resultantes de la combinación de las cargas a las cuales será sometida la estructura, no sobrepasan ni la mitad de la resistencia nominal o resistencia de fluencia de la estructura por lo que ningún elemento del chasis presentará deformación permanente ni fallas.

3.2 VERIFICACIÓN DE ESTRUCTURA APLICANDO LAS NORMAS DE LA REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE AUTOMOVILISMO (RFEDA).

Ahora bien, para validar este chasis tubular para competencia, se deben aplicar las normas de la RFEDA donde se detallan el tipo, magnitud y sentido de las cargas que debe soportar el chasis.

Para esto se calcula el peso total del vehículo:

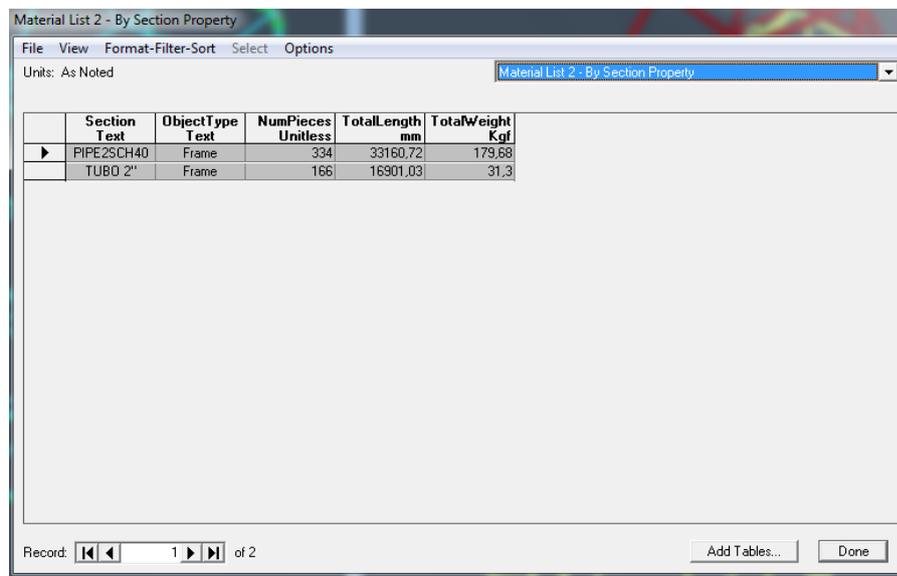
$$P = (M_{ch} + M_{cm} + M_{cv} + M_v) * g$$

- P: Peso total del vehículo.
- M_{ch} : Masa del chasis tubular
- M_{cm} : Masa de carga muerta (motor)
- M_{cv} : Masa de carga viva (ocupantes)
- M_v : Masa de varios (ruedas, asientos, dirección, ect)
- g: gravedad

Según el Anexo J de la RFEDA las cargas que deberá soportar la estructura son:

$$\begin{aligned} \text{Carga Vertical} &= P_v = 8P \\ \text{Carga Longitudinal} &= P_{\text{long}} = 6P \\ \text{Carga Lateral} &= P_{\text{lat}} = 2P \end{aligned}$$

La masa del chasis se obtiene del software a partir de las tablas generadas en el análisis estructural. Esto es: 210.98 Kg.



| Section Text | Object Type | NumPieces Unitless | TotalLength mm | TotalWeight Kgf |
|--------------|-------------|--------------------|----------------|-----------------|
| PIPE2SCH40 | Frame | 334 | 33160.72 | 179.68 |
| TUBO 2" | Frame | 166 | 16901.03 | 31.3 |

Figura 3.2 Masa total de la estructura tubular

Con esto se obtiene la masa, peso total y la magnitud de las cargas:

$$M_{\text{ch}} = 210.98\text{Kg}$$

$$M_{\text{cm}} = 127.7\text{Kg}$$

$$M_{\text{cv}} = 159.1\text{Kg}$$

$$M_v = 100\text{Kg}$$

$$P = 5858.24\text{N}$$

$$P_v = 46865.92\text{N}$$

$$P_{\text{long}} = 35149.44\text{N}$$

$$P_{\text{lat}} = 11716.48\text{N}$$

Ya con esto, se ingresa en el software la carga vertical como una carga uniformemente distribuida a la parte superior del chasis tubular para verificar si éste soporta los esfuerzos generados. Pero esta vez debido a que dicha carga ya está considerada con un factor de seguridad alto (8 veces el peso total del vehículo) por la norma RFEDA, no se considera ninguna combinación adicional.

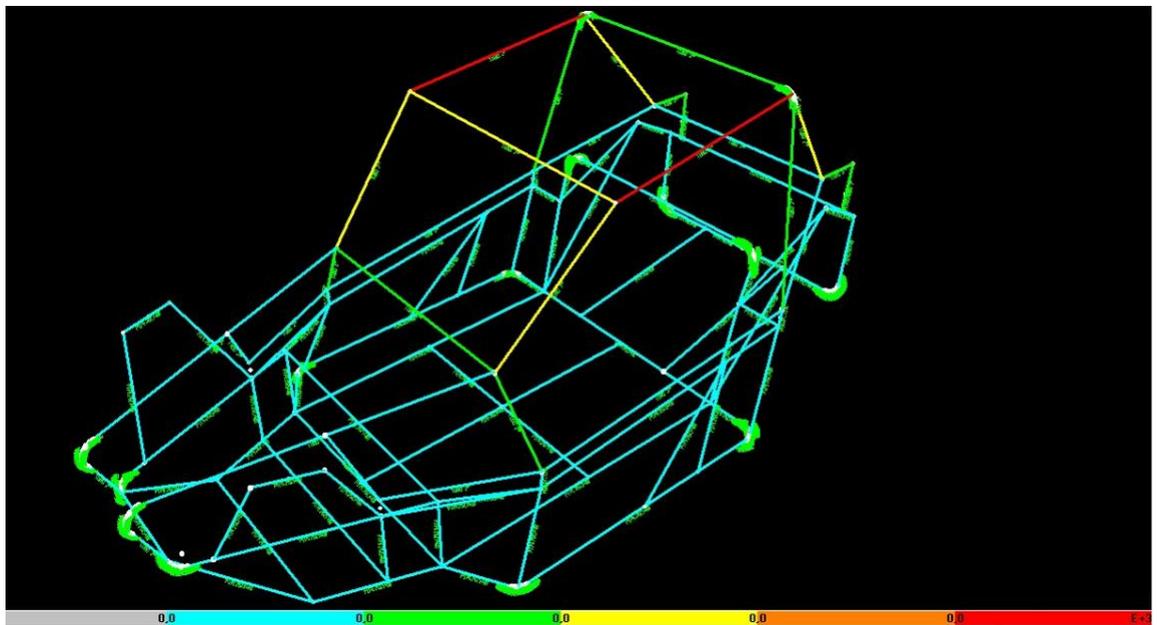


Figura 3.3 Simulación de resultado con carga Vertical

Como se puede observar, fallan los dos elementos en rojo del techo ($\emptyset \geq 1$) lo que significa que la carga aplicada generó esfuerzos mayores a la resistencia nominal del material de dichos elementos.

Se procede entonces a rediseñar o reforzar el chasis siguiendo las normas de la RFEDA en su Anexo J, donde según el Artículo 253- 8.3.2.1.3 los refuerzos para el techo se pueden colocar de acuerdo a las figuras 253.12, 253.13 y 253.14 solamente.

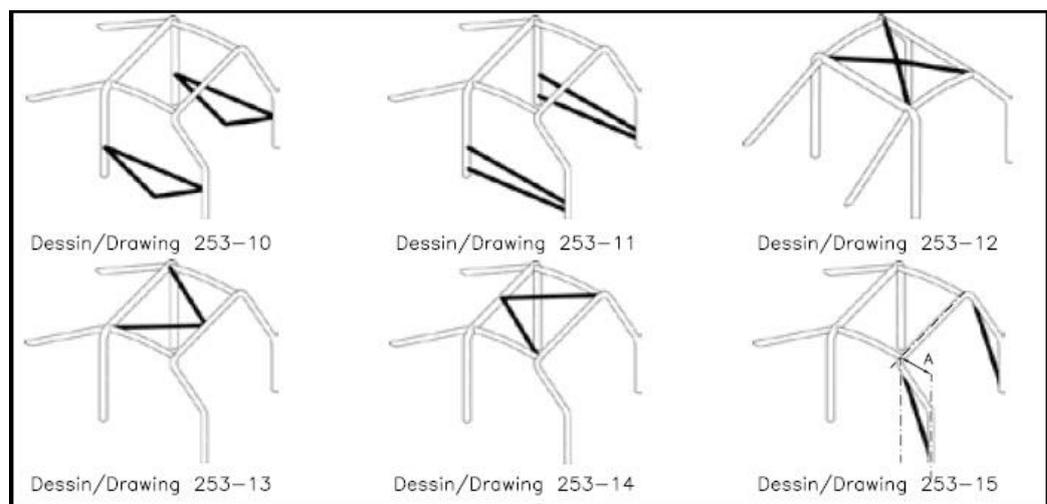


Figura 3.4 Refuerzos de techo. Art. 253-8.3.2.1.3

Se elige el tipo 253-12 para reforzar el techo. Luego se aplica una vez mas la carga vertical P_v de forma distribuida.

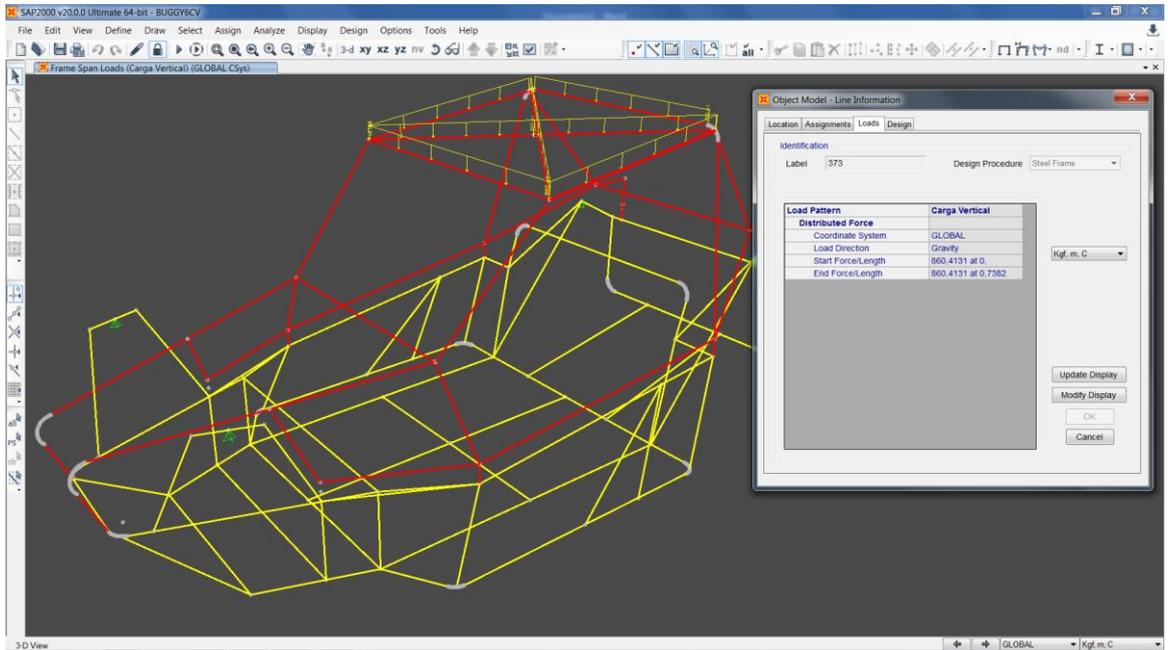


Figura 3.5 Aplicación de carga vertical distribuida

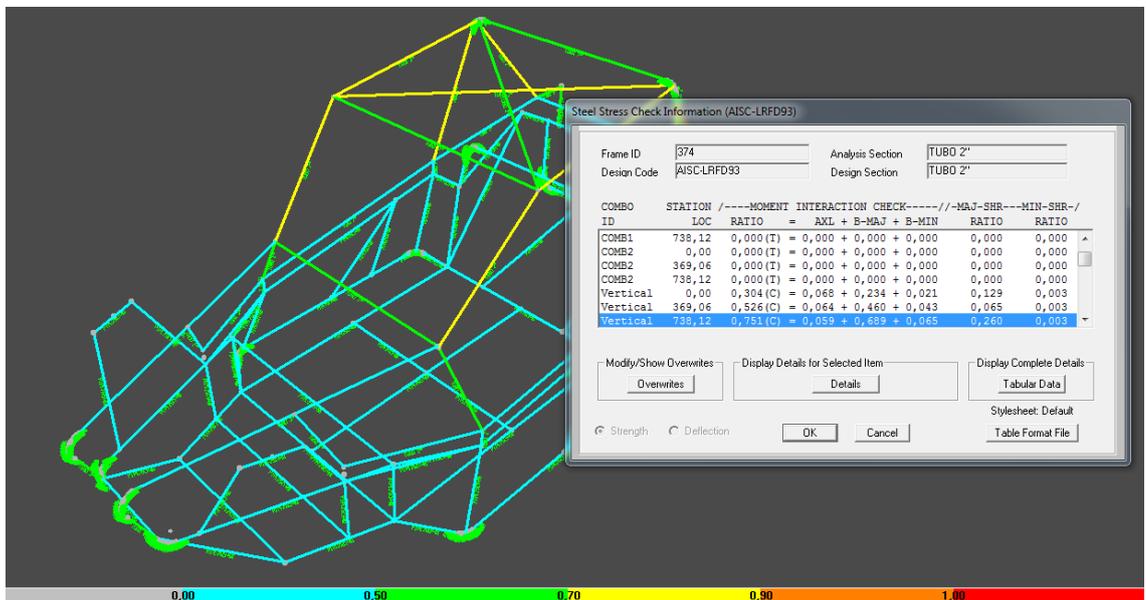
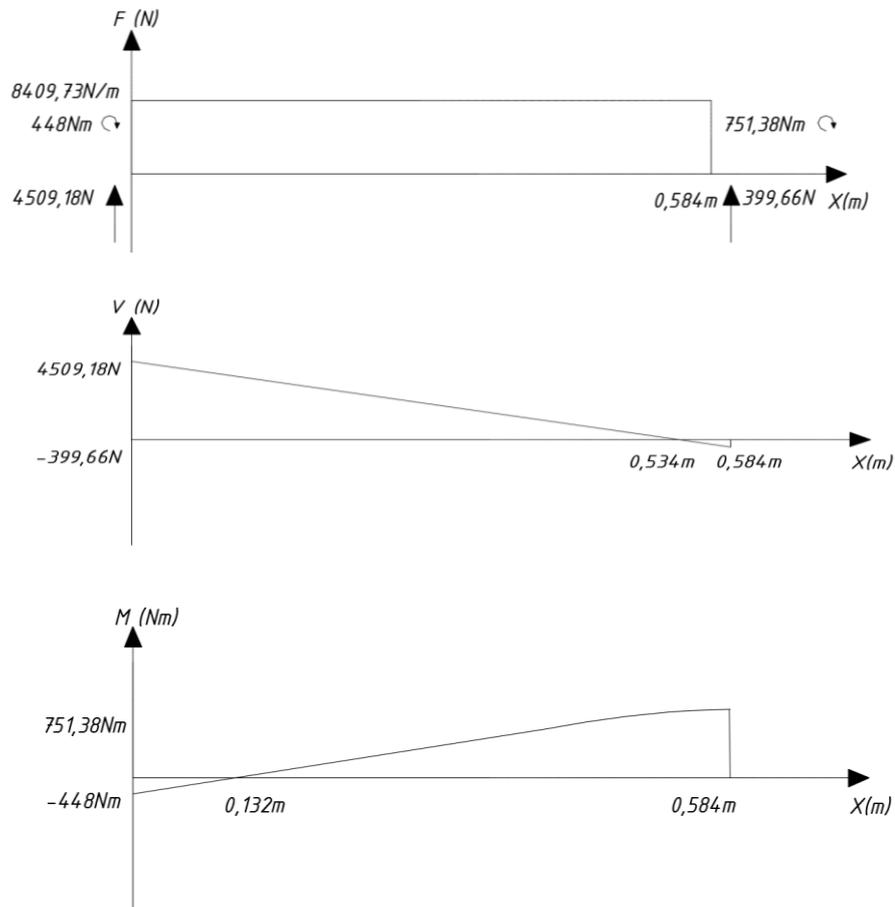


Figura 3.6 Simulación #2 de resultado con carga vertical.

Y en esta ocasión el rediseño soportó la carga exigida por el reglamento de la RFEDA ya que el cociente de seguridad más alto que soportan los elementos es de 0.751 (menor a 1) lo que significa que no se alcanza la resistencia a la fluencia del material. Así mismo la deflexión máxima que sufren los elementos es de apenas 2.9676mm lo que esta dentro del rango de 50mm permisibles.

3.3 ANALISIS DE UN ELEMENTO ESTRUCTURAL POR EL METODO “TRADICIONAL” COMPARADO CON EL DEL SOFTWARE.

Para este análisis se escogió un elemento cualquiera del techo sometido a la carga vertical “ $P_v = 46865.92N$ ” y se procedió a calcular reacciones, cortantes, momentos y esfuerzos. Para esto se utilizó el método gráfico por su simplicidad.



De aquí se obtiene el valor del momento máximo (M) y se procede a calcular el esfuerzo σ .

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{(751,38 \text{ Nm} \times 0,0254 \text{ m})}{7,17 \text{ E} - 8 \text{ m}^4}$$

$$\sigma = 2,66 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Con este valor de $2,66 \times 10^8$ Pascales, se obtiene el factor de seguridad según el criterio de Von Mises.

$$N = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{3,45 \times 10^8 Pa}{2,66 \times 10^8 Pa}$$

$$N = 1,29$$

Este valor 1,29 significa que el elemento sí resiste la carga aplicada sin deformarse plásticamente.

Ahora, se compara con el cociente de seguridad que se obtuvo mediante SAP2000 para este mismo elemento que es 0,665 siendo este el inverso del factor de seguridad N.

$$f_{seg \text{ SAP2000}} \approx \frac{1}{N}$$

$$f_{seg \text{ SAP2000}} \approx 0,77$$

$$0,67 \approx 0,77$$

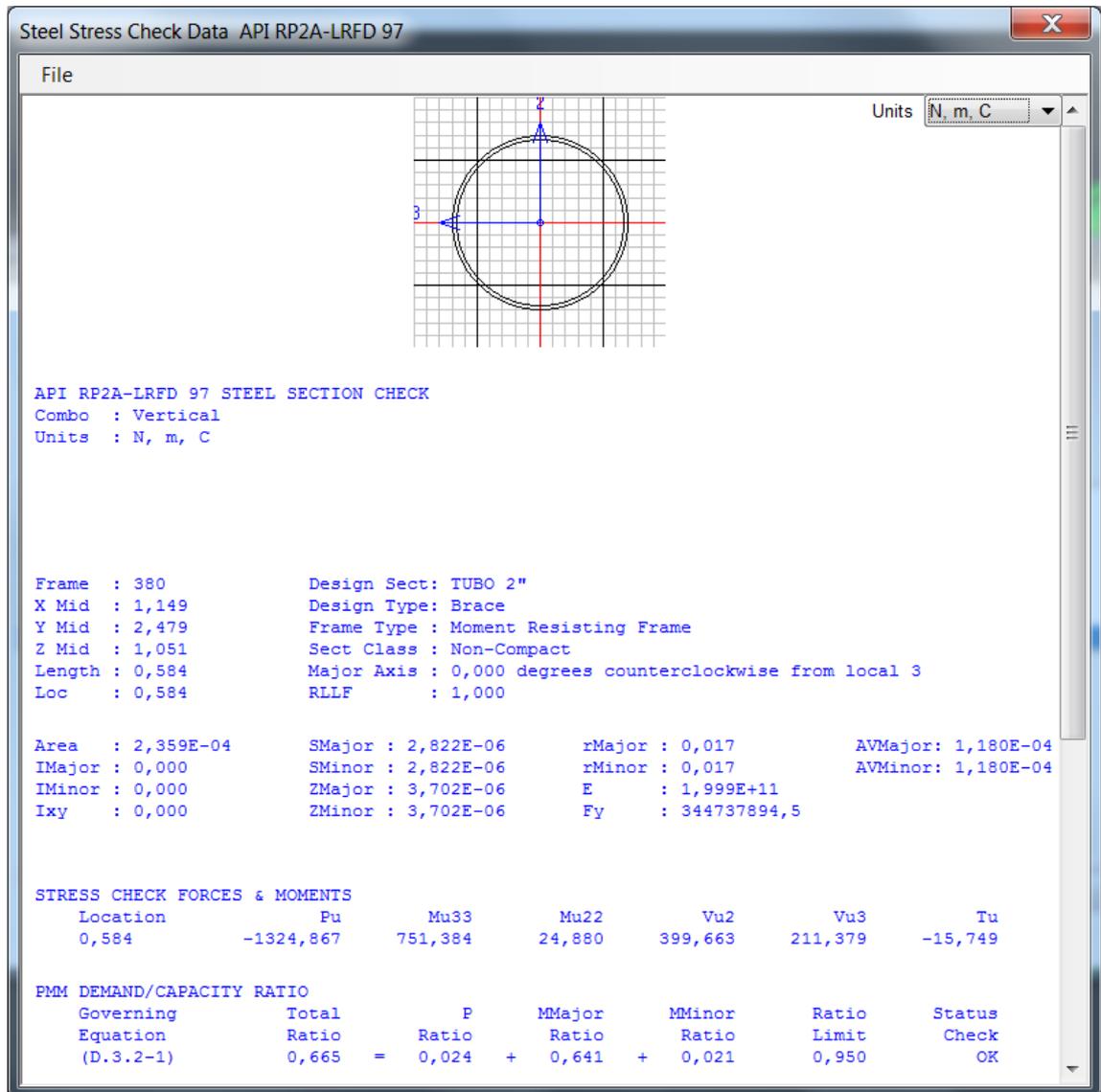


Figura 3.7 Cociente de seguridad.

La diferencia entre los valores 0,67 y 0,77 es de un 12% con lo que se comprueba la consistencia entre ambos métodos.

CAPITULO 4

4.1 CONCLUSIONES.

- Los resultados obtenidos mediante software comparados con el cálculo manual reflejan que SAP2000 es menos conservador o “más real”, que el método tradicional. Ayudando de esta manera a reducir, peso y por consiguiente, costos.
- Además este software no solamente determina si el material resiste o no, sino que también arroja valores de las deformaciones que sufren los elementos. En el caso de la simulación al rediseño de la estructura, con la aplicación de las cargas que dicta las normas de la RFEDA, se obtuvo una deformación máxima de los elementos del techo de 2.9676mm, siendo aceptables hasta 50mm de deformación. Por lo que se determinó que el rediseño sirve para validar el chasis para competencia siendo seguro para sus dos ocupantes.
- Aplicar el software SAP2000 al rediseño de nuestra estructura tubular es muy conveniente ya que una vez que tenemos hecho

el modelo en 3D es fácil reconfigurar elementos y volver a correr el software para su respectivo análisis sin mayor complicación.

- Este software también nos arroja mediante tablas la lista de materiales que usaremos tanto en longitud como en masa de cada tipo de elemento usado en el diseño. De esta manera se puede hacer fácilmente un presupuesto del diseño.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se deben determinar de manera correcta las cargas existentes que va a soportar la estructura ya que es la base del análisis LFRD y de prácticamente todo diseño de ingeniería.
- También se debe verificar muy bien los nodos y/o puntos de anclaje de la estructura ya que un elemento suelto que debería estar soldado podría dar lugar a alguna falla en la estructura o error de diseño.

- Además es útil definir combinaciones de cargas propias en el software para poder obtener un resultado óptimo ya que las que vienen incluidas en el SAP2000 son más orientadas a edificios y estructuras y, no necesariamente pueden ser las más adecuadas para este tipo de análisis. En el caso de validar la estructura por la norma RFEDA, la carga aplicada es dictada por la norma y se la ingresó en el software manualmente.

BIBLIOGRAFIA.

- J. F. Schackelford, Introducción a la ciencia de los materiales para ingenieros, 6ª ed., 2008
- McComarc, J. Diseño de Estructuras de Acero. Metodo LRFD, 2002
- Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-05)
- Manual interno para manejo del Software SAP2000
- Jack C. McCormac (2002). Diseño de Estructuras de Acero-Método de LRFD

ANEXOS

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A500GrC

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76972,86

Mass per Unit Volume: 7849,0474

Units

N, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1,999E+11

Poisson, U: 0,3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 7,690E+10

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 3,447E+08

Minimum Tensile Stress, Fu: 4,275E+08

Expected Yield Stress, Fye: 3,792E+08

Expected Tensile Stress, Fue: 4,702E+08

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Anexo 1. Tabla de propiedades del material ASTM A500 grado c
Fuente SAP2000



Anexo 2. Vehículo buggy terminado vista trasera



Anexo 3. Vehículo buggy terminado vista lateral



Anexo 4. Vehículo buggy terminado vista frontal