



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del título de
Ingeniero Automotriz**

**Tema: Diseño y construcción de la estructura tubular del vehículo prototipo tipo
"Tumbler"**

Autores:

Dueñas Narváez, José Esteban

Tello Torres, Carlos Daniel

Tutor:

Msc. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

Latacunga, 28 de febrero 2023

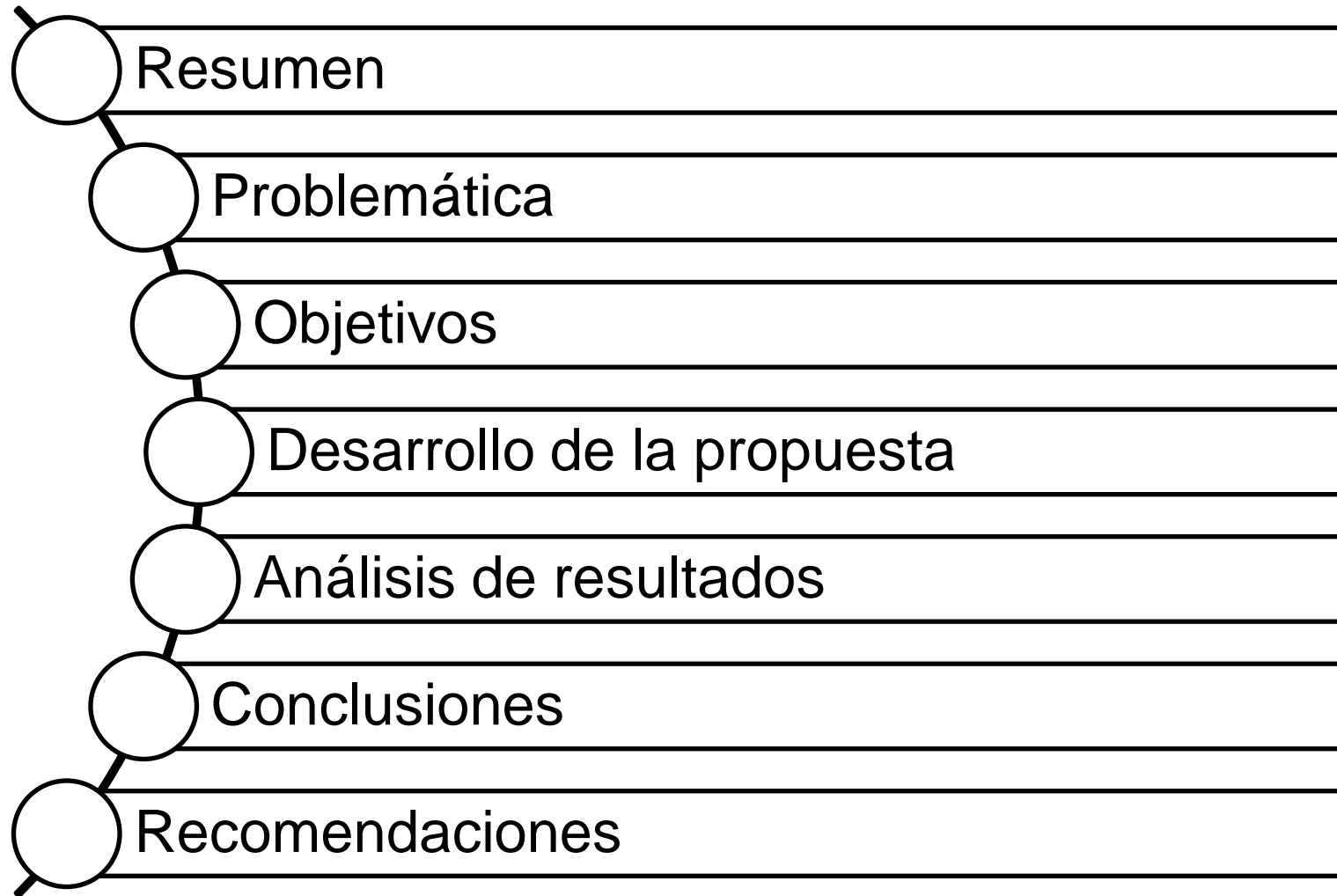


“El conocimiento no es una vasija que se llena, sino. un fuego que se enciende”

Plutarco



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Resumen

- Se realizó el modelado tomando como referencia algunos parámetros existentes en la normativa SAE, que especifica las características de dimensionamiento de estructuras de vehículos de esta competición.

- Una vez realizado el modelado, se realizó la selección del tubo, en donde la normativa FIA, específicamente el anexo J, define dimensiones del perfil que se utilizan en armazones de seguridad.
- Se asignó la dimensión del perfil al modelado y se estableció el material, el cual estaba normado bajo la ASTM A500 grado A (A53)

- Se realizó el estudio por elemento finitos, una vez se aplicaron las cargas que sufre la estructura establecida en la normativa NTE INEN 1323.
- Se procedió a la construcción y después de aquello se comprobó las uniones soldadas mediante ensayos no destructivos



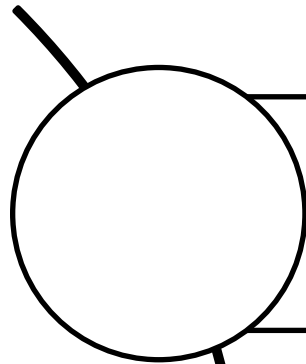
A lo largo de la historia la evolución de los vehículos automotores ha dependido de la utilización y demanda que la sociedad ha tenido sobre estos. El desarrollo de los modelos e implementación de sistemas; es seguido y aplicado con gran rapidez gracias a la ayuda de software CAD y CAE que permiten realizar diseños futuristas que ayudan a tener una visualización de diferentes modelos los cuales no se encuentran en el mercado

Planteamiento del problema

Necesidad de crearlos para la exposición de estos, por eso la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" Sede Latacunga ha realizado diferentes modelos los cuales se han destacado por su funcionalidad operativa, sin embargo, el impacto que generan los vehículos de exposición no ha sido priorizado, por ende, es importante utilizar herramientas que permitan la mejora del diseño y confiabilidad de estos automóviles.

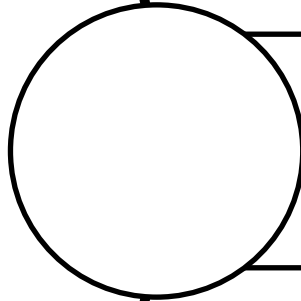


Justificación e importancia



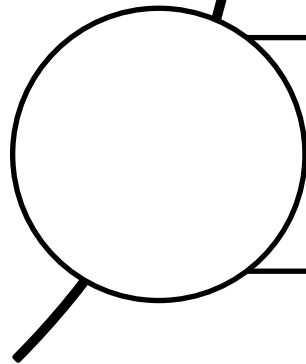
El diseño de una estructura de un vehículo prototipo tipo “Tumbler”, implica dimensionar y seleccionar cuidadosamente los componentes estructurales que componen la estructura del vehículo para que el diseño se ajuste al prototipo.

Se debe realizar un análisis detallado de las especificaciones técnicas de los materiales y componentes que se ocuparan en la construcción de la estructura del prototipo para asegurarse de que cumplan con los requisitos de resistencia y durabilidad necesario para operar de manera segura.



El vehículo tiene como funcionalidad ser de exhibiciones, pero debe poseer un alto rendimiento en la estructura debido a que debe ser capaz de soportar de manera eficiente las demandas estructurales que conlleva el uso de este. Esto implica evaluar y ajustar el diseño del chasis para garantizar su robustez y seguridad.

La importancia del diseño y construcción de la estructura del prototipo tipo “Tumbler” es el impacto visual que generaran para que obtenga el atractivo debido para que se considere una pieza de exhibición.



La funcionalidad del prototipo tipo “Tumbler” principalmente es para la exhibición por ende la estructura debe ser completamente funcional, que proporcione la estabilidad y seguridad necesarias.



Objetivos del proyecto

Objetivo General

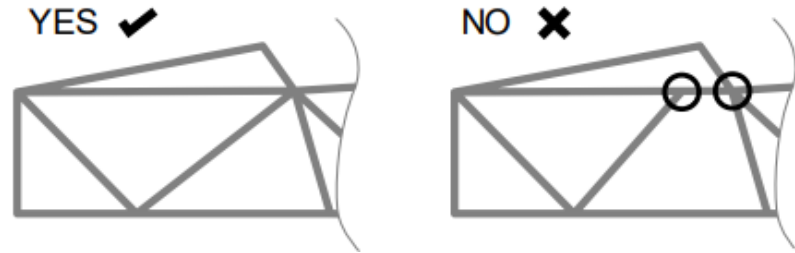
Diseñar y construir la estructura vehicular del prototipo tipo “Tumbler” a partir de la selección del perfil estructural tubular.

Objetivos específicos

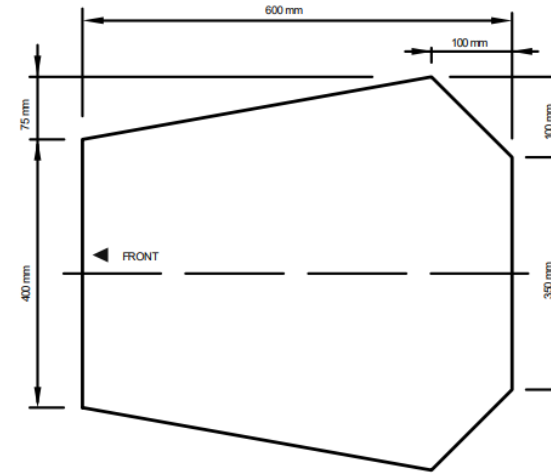
- Seleccionar un perfil tubular adecuado para la estructura vehicular del prototipo tipo “Tumbler”, considerando la disponibilidad dimensional en el mercado ecuatoriano, con el propósito de proporcionar seguridad y funcionamiento del vehículo.
- Diseñar mediante un software CAD y CAE la estructura vehicular del prototipo, con el fin de obtener una representación detallada y precisa, para realizar un análisis de elementos finitos, asegurando un diseño eficiente y seguro.
- Construir la estructura vehicular del prototipo a partir de la selección de la soldadura adecuada para el ensamblaje del perfil estructural tubular, con el fin de realizar una inspección visual y la prueba de líquidos penetrantes a la misma, cumpliendo así los estándares de seguridad y rendimiento.



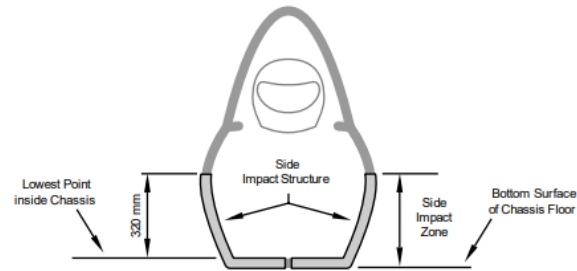
Triangulación



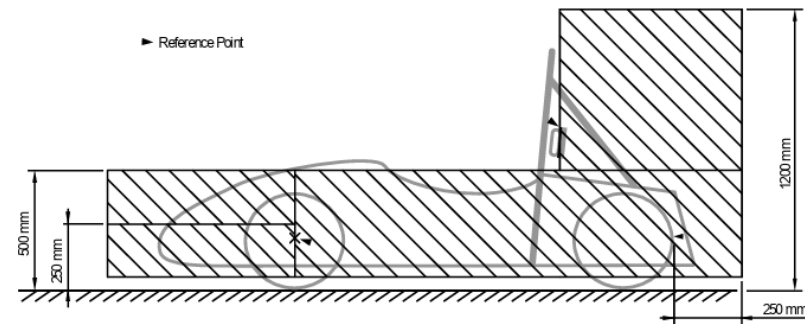
Cabina



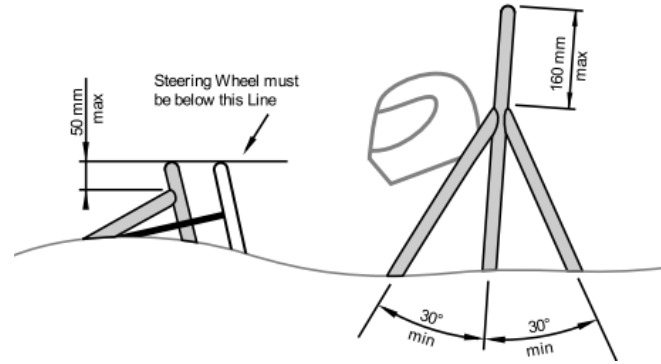
Estructura de impacto lateral



Distancia al suelo



Protección antivuelco



Arco delantero. Este arco debe estar construido con una triangulación propia y adecuada, también se puede incluir más de un perfil estructural tubular

Arco principal. El arco principal debe estar constituido por una sola pieza continua de perfil estructural tubular, deben tener un mínimo de 380 mm de separación de donde el arco principal está unido a los tubos inferiores.

Tubos estructurales bajo ASTM A 500	
Grado	Grado A
Resistencia a la tracción (MPa)	310
Límite elástico (MPa)	228
Densidad (kg/m ³)	7800
Elongación máxima (mm)	54.8



Material	Resistencia mínima a la tracción	Dimensiones mínimas (mm)	Utilización
Acero al carbono no aleado conformado en frío conteniendo un máximo de 0.3% de carbono	350 N/mm^2	42 x 2,5 (1,75" x 0,095") o 50 x 2,2 (2,0" x 0,083")	Arco principal arco laterales y tirantes transversales
		38 x 2,5 (2.0" x 0,0095") o 40 x 2,0 (1,6"x0,0382")	Semiarcos laterales y otras partes de la estructura de seguridad

Normativas NTE INEN 1323: Vehículos automotores. Carrocerías de buses.

Según el método ASD

1. M
2. M+V
3. M+V+G
4. M+V+F
5. M+V+Ab

Carga muerta

$$M = m_t \cdot 9.81 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

Donde:

- M = Cargas muertas [N]
- m_t = Masa total de los componentes fijos [kg]

Carga viva

$$V = m_p \cdot 9.81 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

Donde:

- V = Cargas vivas [N]
- m_p = Masa total de los ocupantes [kg]



Masa Total

Masa total

$$m_T = m_p + m_t$$

Donde:

- m_T = Masa total de las cargas vivas y muertas [kg]

Carga de frenado

Carga de frenado

$$F = m_T * dm$$

Donde:

- dm = desaceleración media [m/s²]
- F = Carga de frenado [N]

Desaceleración media del vehículo

Desaceleración media del vehículo

$$dm = \frac{v^2}{2 \cdot s}$$

Donde:

- v = Velocidad del vehículo [m/s²]
- s = Distancia de frenado [m]

Carga de desaceleración

Carga de aceleración brusca

$$Ab = -F$$

Donde:

- Ab = Carga de aceleración brusca [N]



Normativas

Carga de giro

$$G = m_T \cdot \frac{v^2}{r} + m_T \cdot 9.81 \left(\frac{m}{s^2} \right) \cdot \text{Sen}(\alpha_{\text{peralte}})$$

Donde:

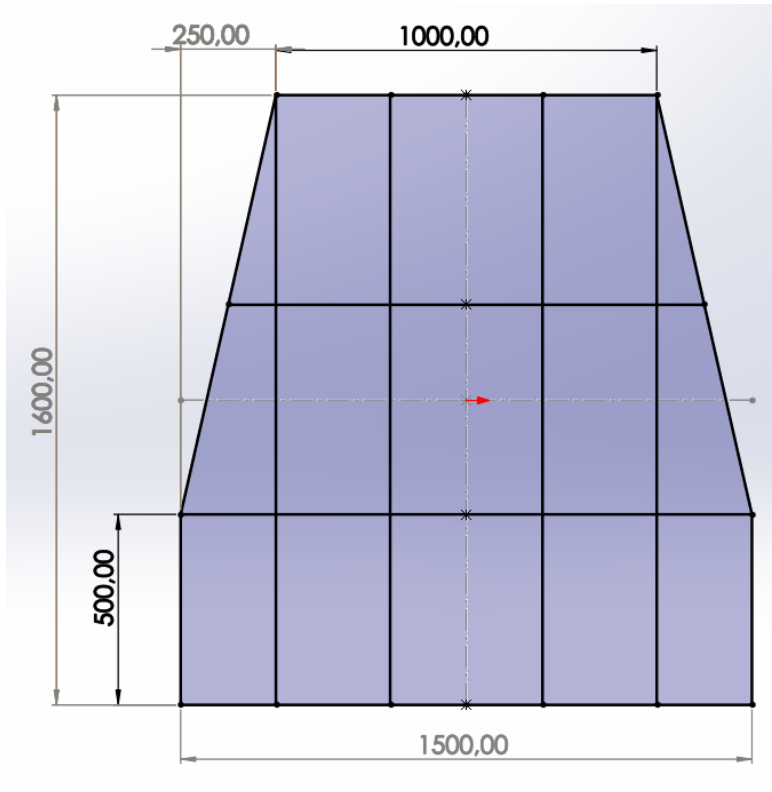
- G = Carga de giro [N]
- r = Radio de curvatura de la carretera [m]
- α_{peralte} = Ángulo de peralte [°]

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	
125	800	
130	900	6.97
135	1050	6.25
140	1250	5.49
145	1475	4.84
150	1725	4.29

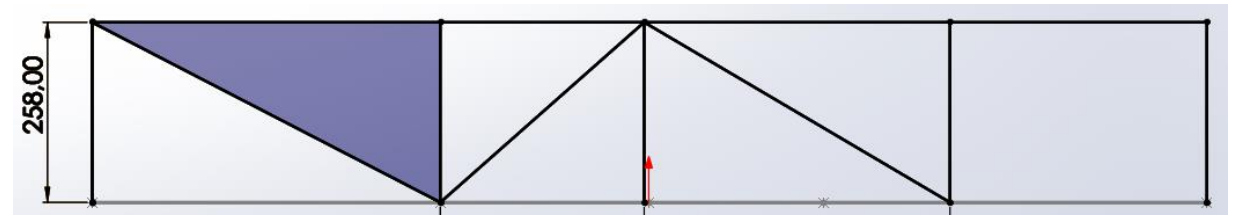


Diseño

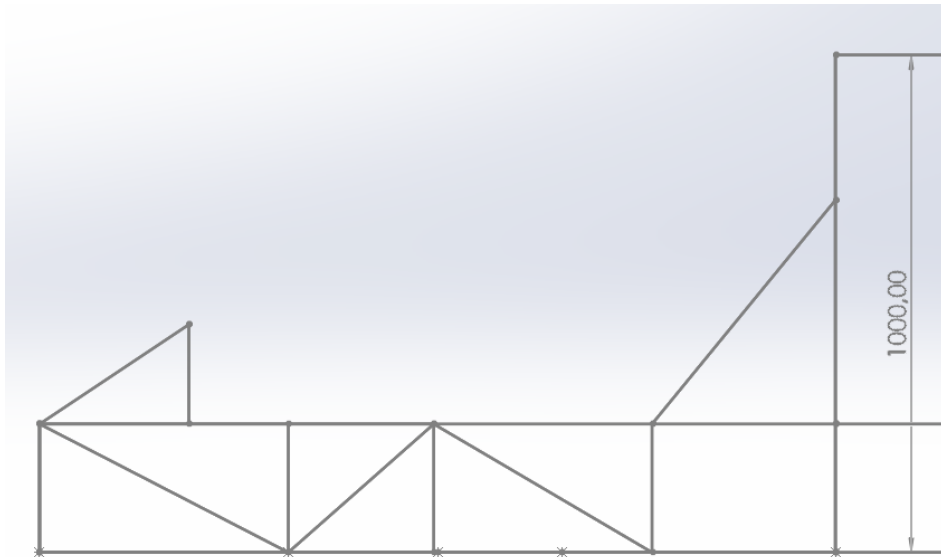
Cabina



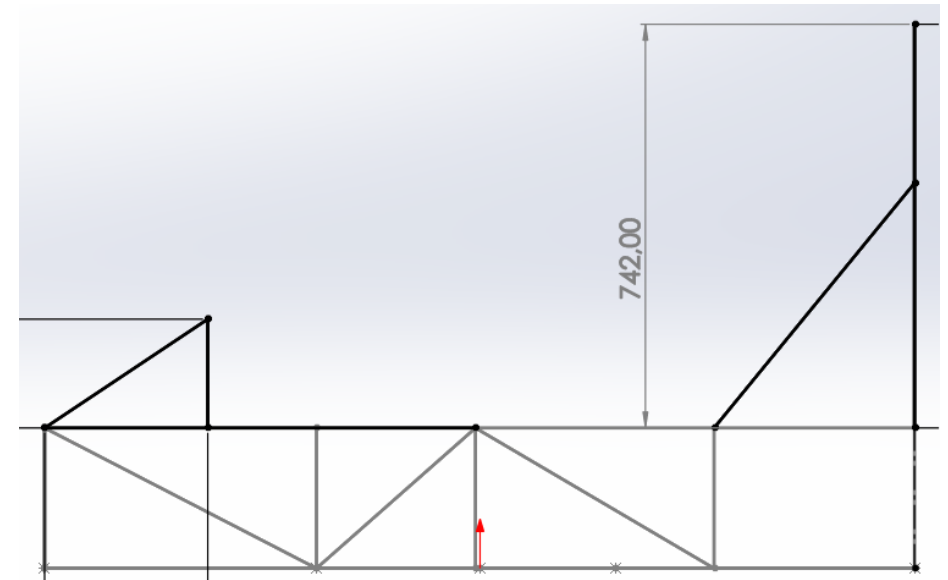
Estructura de impacto lateral



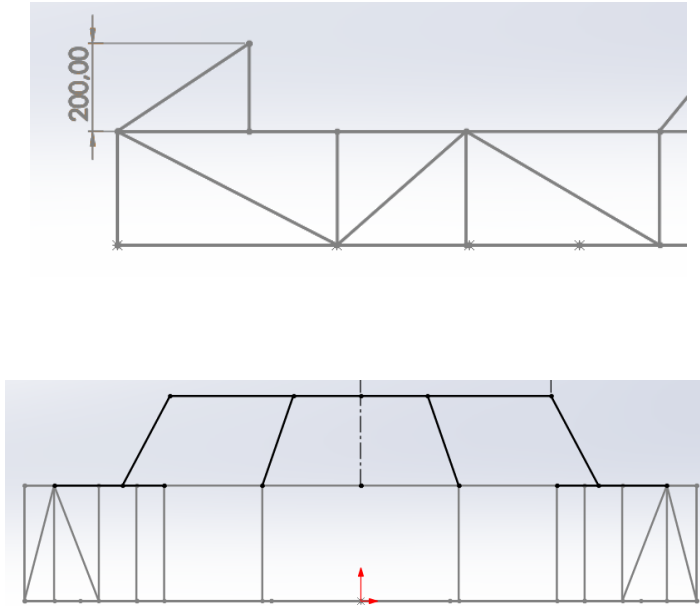
Distancia al suelo



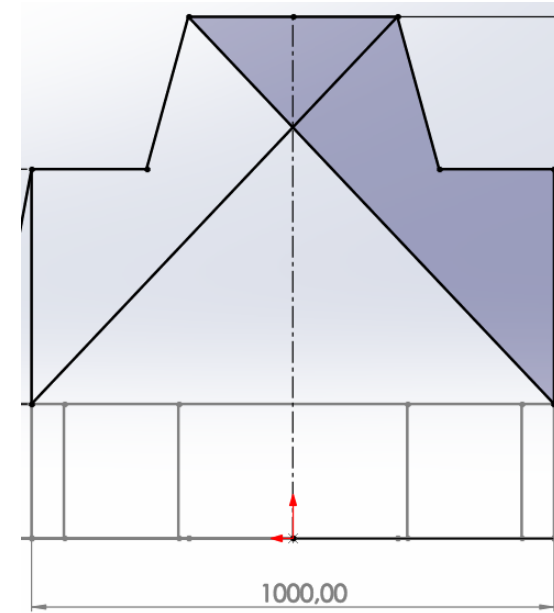
Protección antivuelco



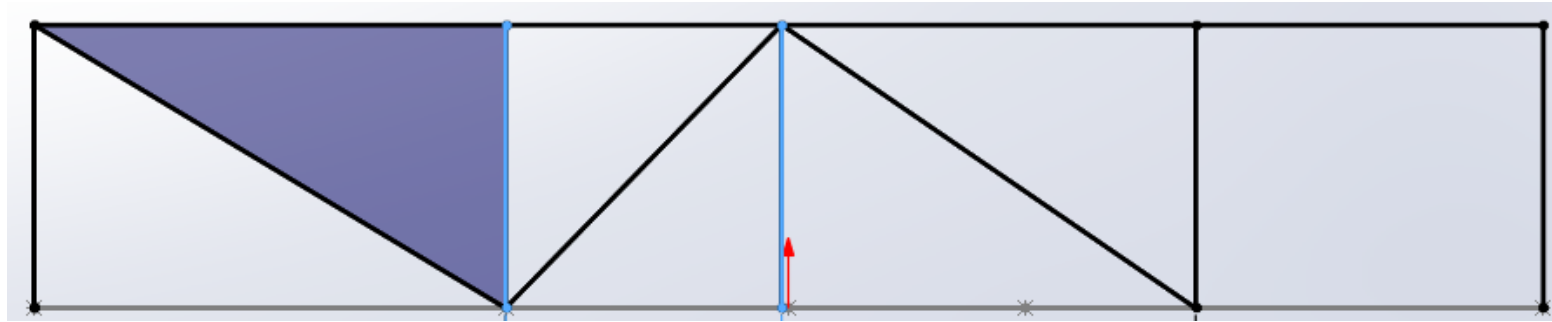
Arco delantero



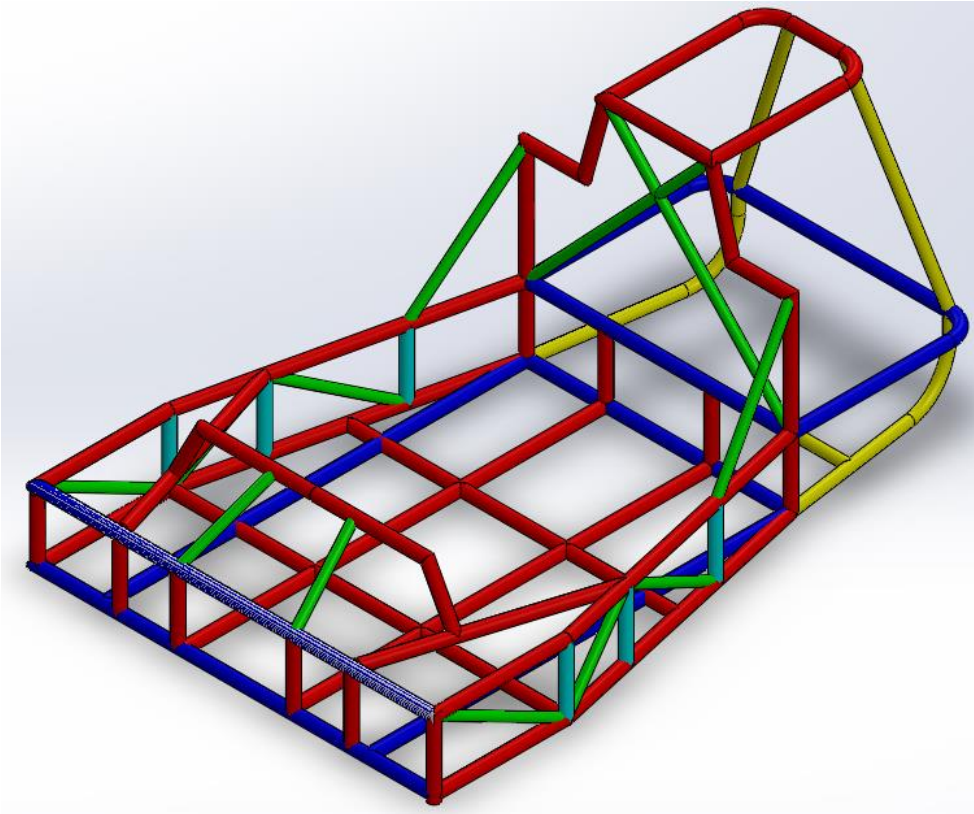
Arco principal



Triangulación



Implementación de tubos



Dimensiones	Color
42 x 3 mm	Azul
42 x 2 mm	Rojo
42 x 1.5 mm	Celeste
38 x 1.5 mm	Amarrillo
32 x 1.5 mm	Verde



Cálculo de cargas

Cálculo de cargas

Elementos	m_t [Kg]	CM [N]
Motor	80	784,532
Transmisión	60	588,399
Asientos	18,144	177,932
Dirección	11,1	108,854
Pedalera	10	98,067
Depósito de combustible (lleno)	20,52	201,232
Faros delanteros	0,49	4,805
Faros posteriores	0,22	2,157
Total	200,474	1965,978

Cálculo de cargas vivas

$$V = m_p \cdot 9.80665 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$V = 140 \text{ kg} \cdot 9.80665 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$V = 1372,931 \text{ N}$$



Cálculo de cargas

Cálculo carga de frenado

$$m_T = m_p + m_t$$

$$m_T = 200,474 \text{ kg} + 140 \text{ kg}$$

$$m_T = 340,474 \text{ kg}$$

$$dm = \frac{v^2}{2 \cdot s}$$

$$dm = \frac{\left(90 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 45\text{m}}$$

$$dm = 6,944 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Finalmente se remplazan los datos en la siguiente Ecuación:

$$F = m_T * dm$$

$$F = 340,474 \text{ kg} * 6,944 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 2364,251 \text{ N}$$



Cálculo de carga de aceleración brusca

$$Ab = -F$$

$$Ab = -2364,251 \text{ N}$$

Cálculo de carga de giro

$$G = m_T \cdot \frac{v^2}{r} + m_T \cdot 9.80665 \left(\frac{m}{s^2}\right) \cdot \text{Sen}(\alpha_{\text{peralte}})$$

$$G = 340,474 \text{ kg} \cdot \frac{\left(90 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}\right)^2}{350\text{m}} + 340,474 \text{ kg} \cdot 9.80665 \left(\frac{m}{s^2}\right) \cdot \text{Sen}(8,89^\circ)$$

$$G = 1123,978 \text{ N}$$

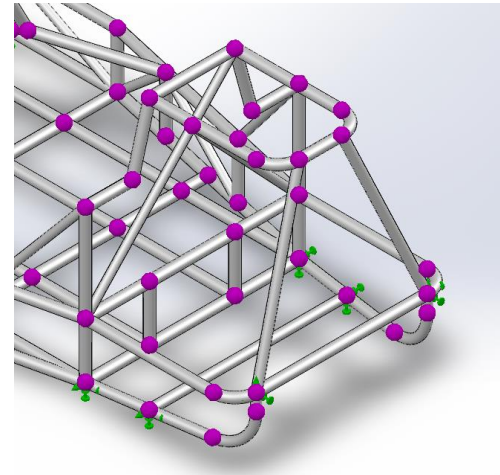
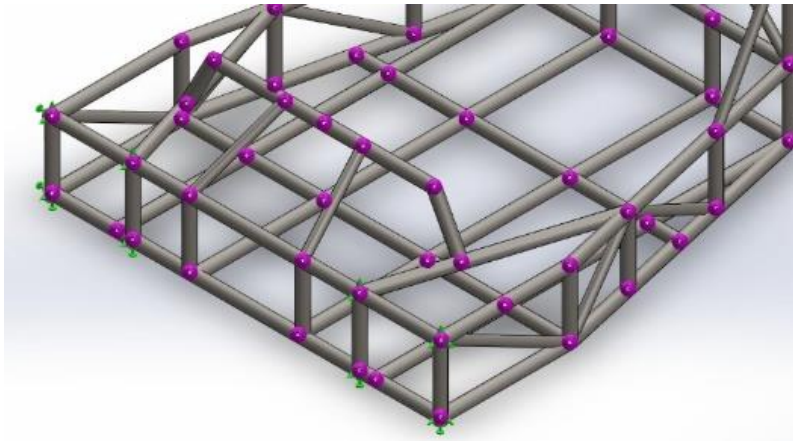


Análisis por elementos finitos

Selección del material

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm ²
Densidad de masa	7800	kg/m ³
Límite de tracción	310	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	228	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K

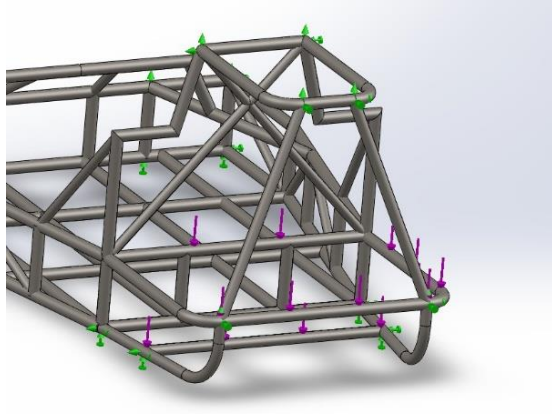
Creación de sujeciones fijas



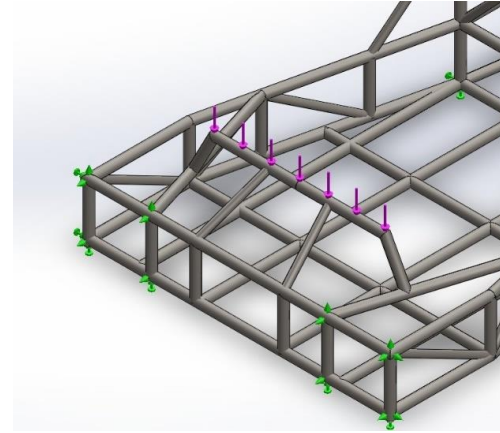
Análisis por elementos finitos

Adición de cargas

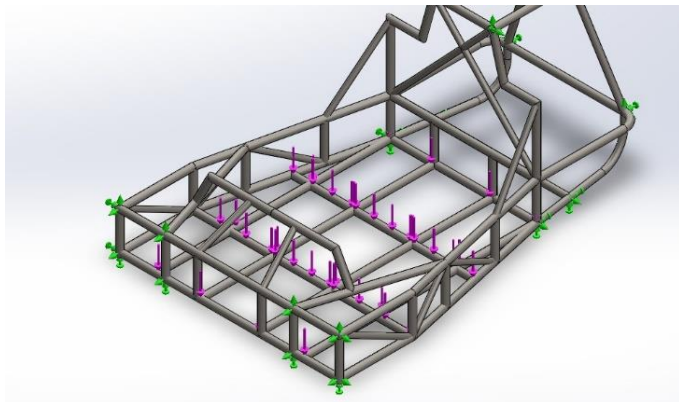
Carga de motor y transmisión



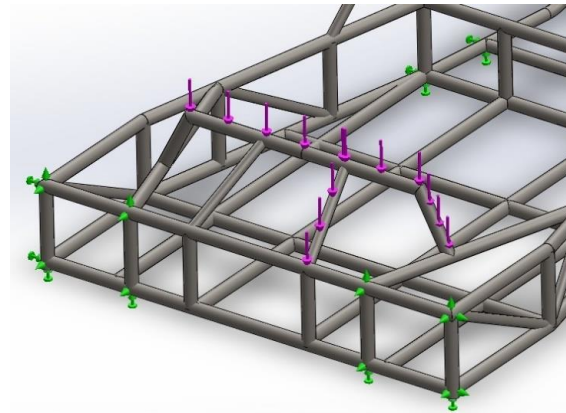
Carga del sistema de dirección



Carga de asientos y pasajeros

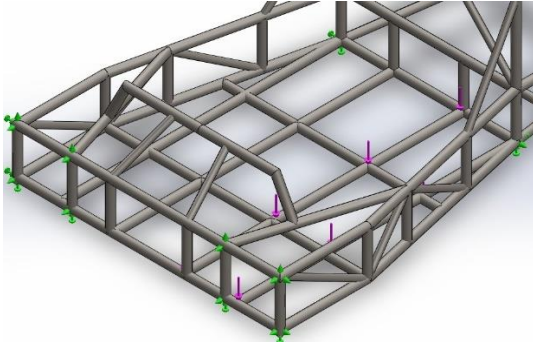


Carga de la pedalera

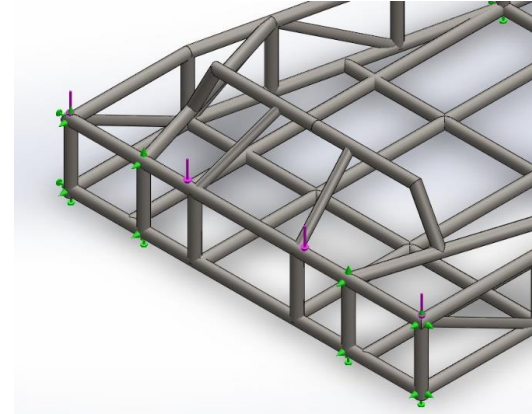


Análisis por elementos finitos

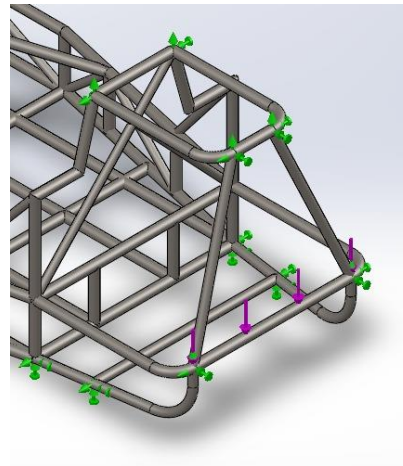
Cargas del tanque de combustible



Cargas de los faros delanteros

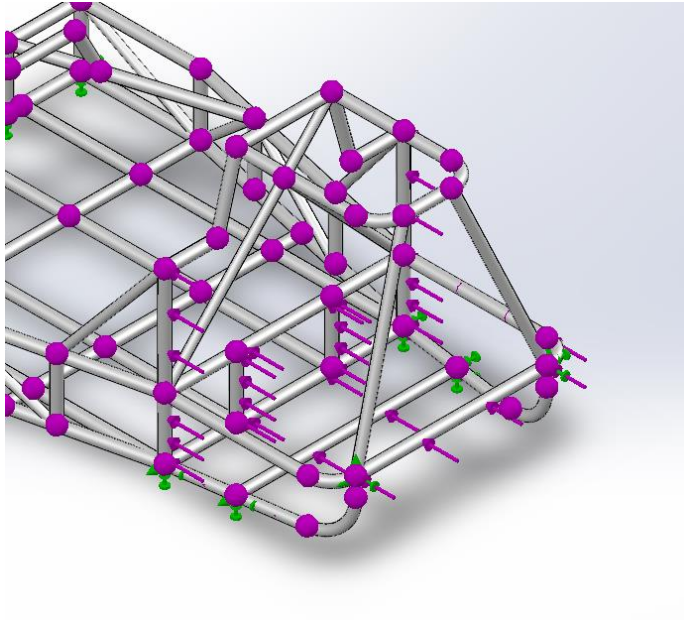


Carga de los faros posteriores

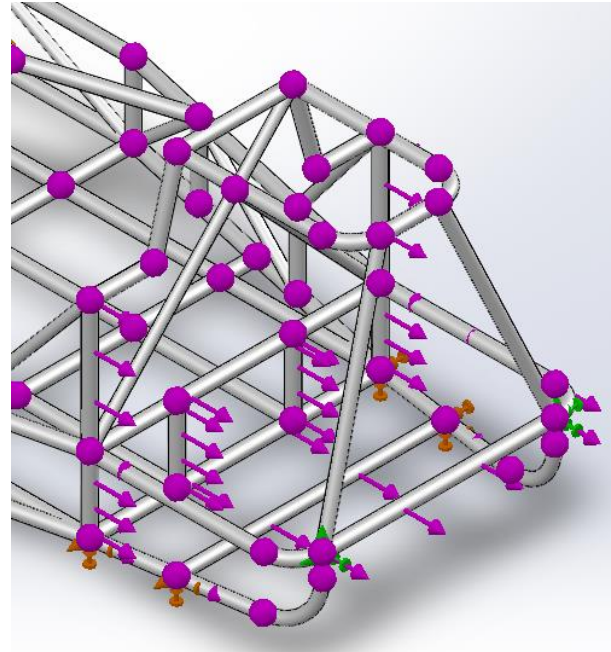


Análisis por elementos finitos

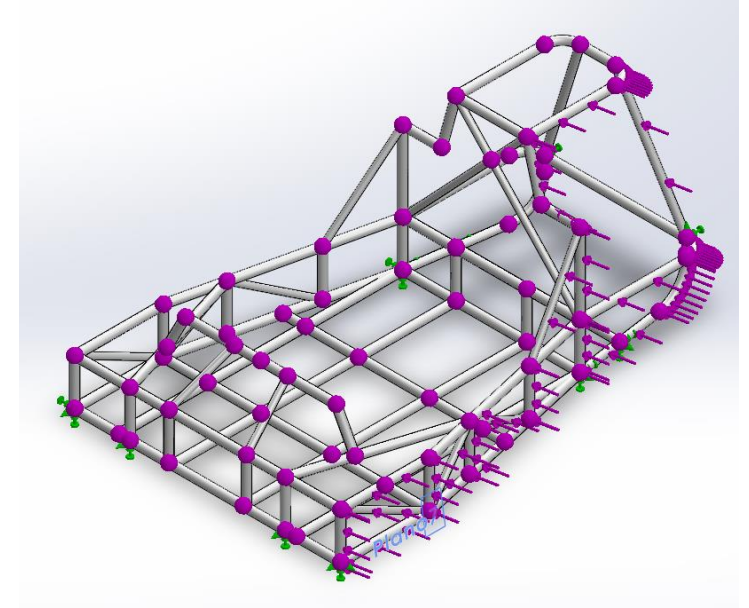
Carga de frenado



Carga de aceleración brusca



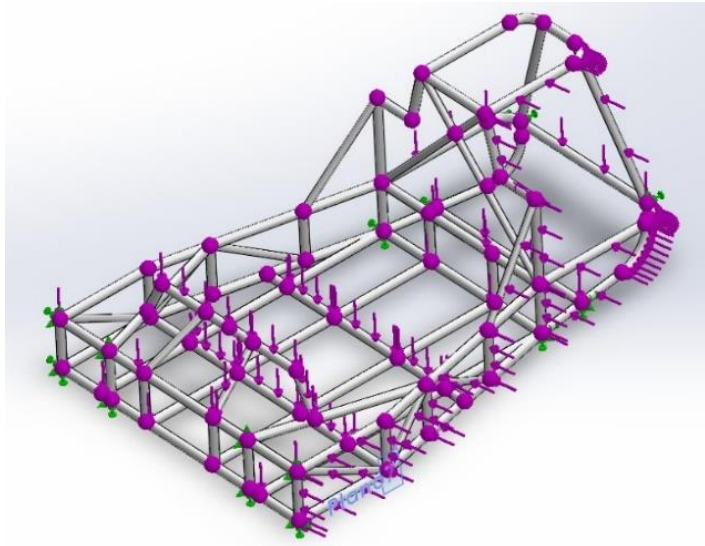
Carga de giro



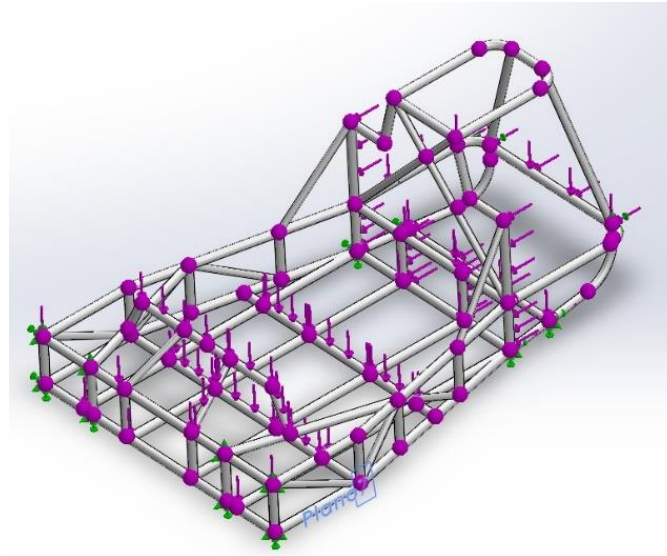
Análisis por elementos finitos

Combinación de cargas

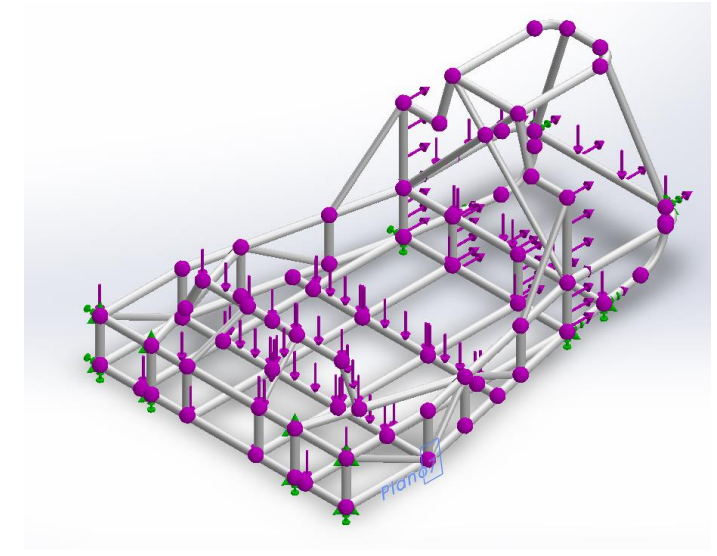
*Cargas Muertas + Vivas +
Giro*



*Cargas Vivas + Muertas +
Cargas de frenado*



*Cargas Vivas+ Muertas +
Aceleración brusca*

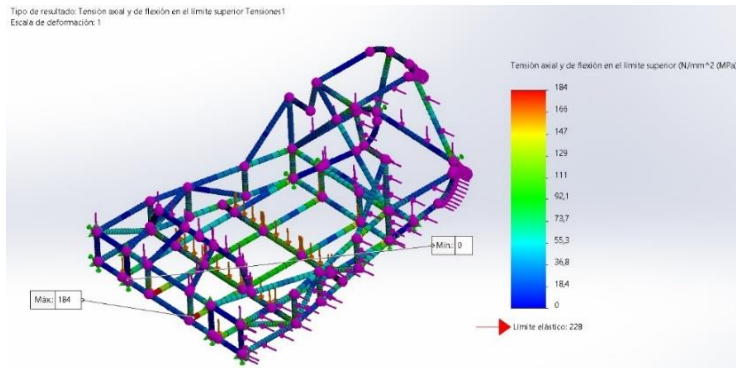


Análisis por elementos finitos

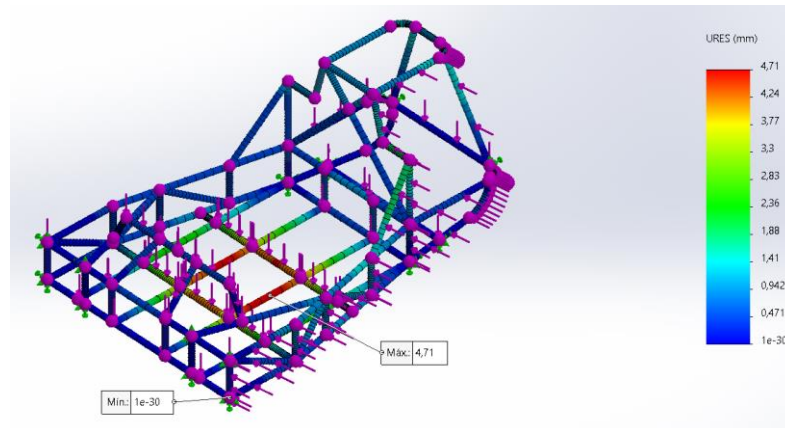
Resultados

Cargas Muertas + Vivas + Giro

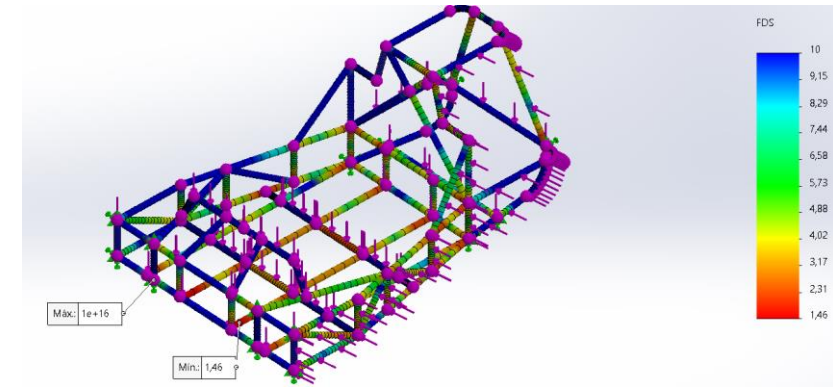
Criterio de Von Mises



Escala de deformación



Factor de seguridad

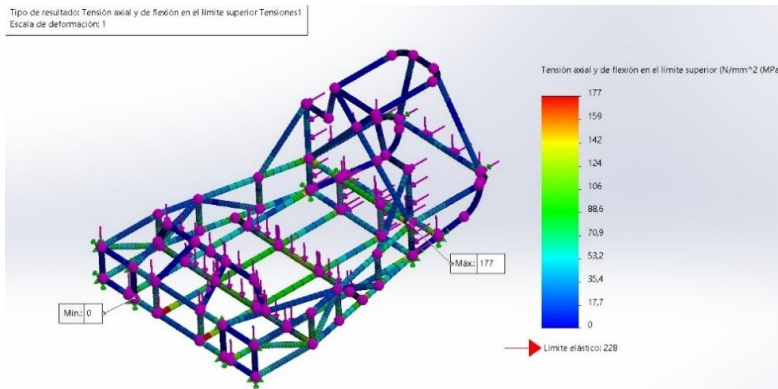


Análisis por elementos finitos

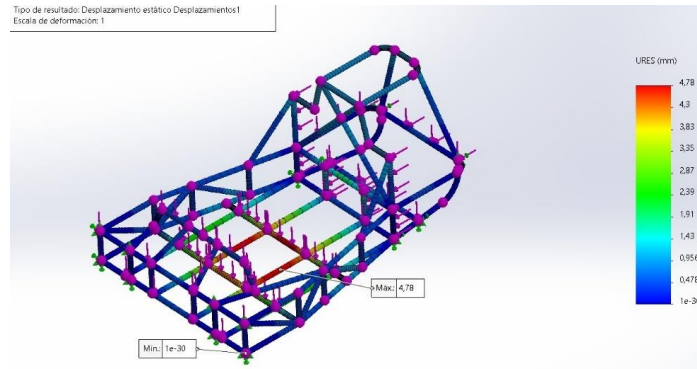
Resultados

Cargas Vivas + Muertas + Cargas de frenado

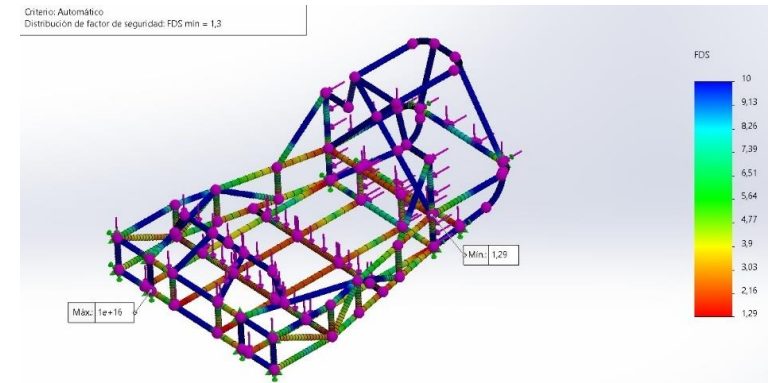
Criterio de Von Mises



Escala de deformación



Factor de seguridad



Análisis por elementos finitos

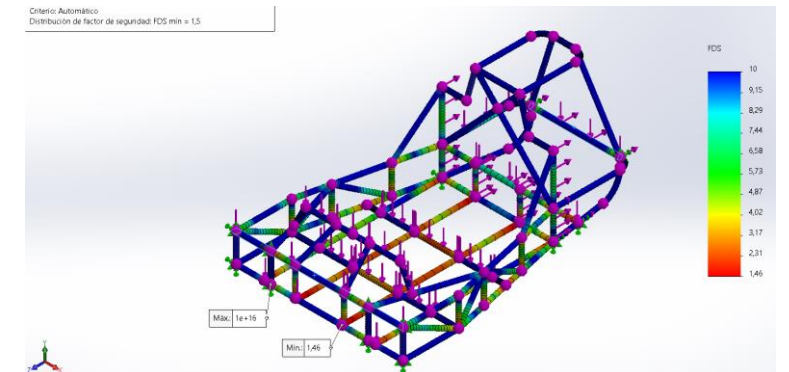
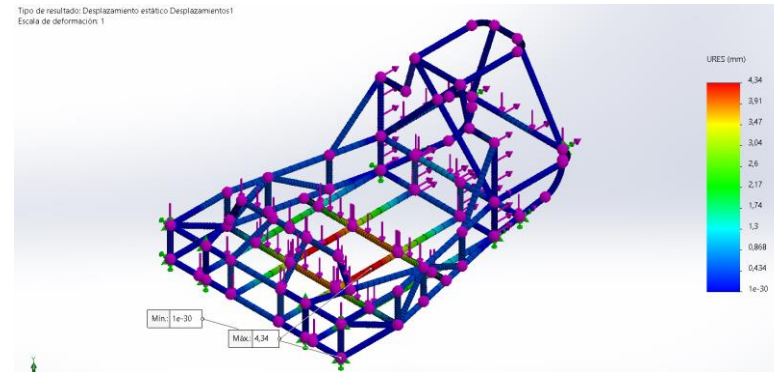
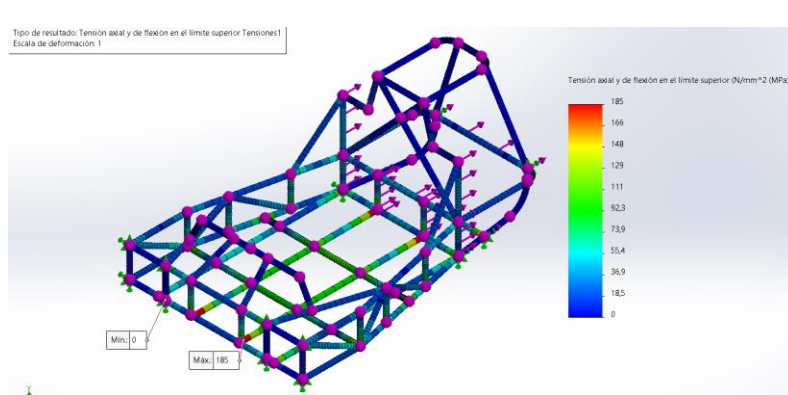
Resultados

Cargas Vivas+ Muertas + Aceleración brusca

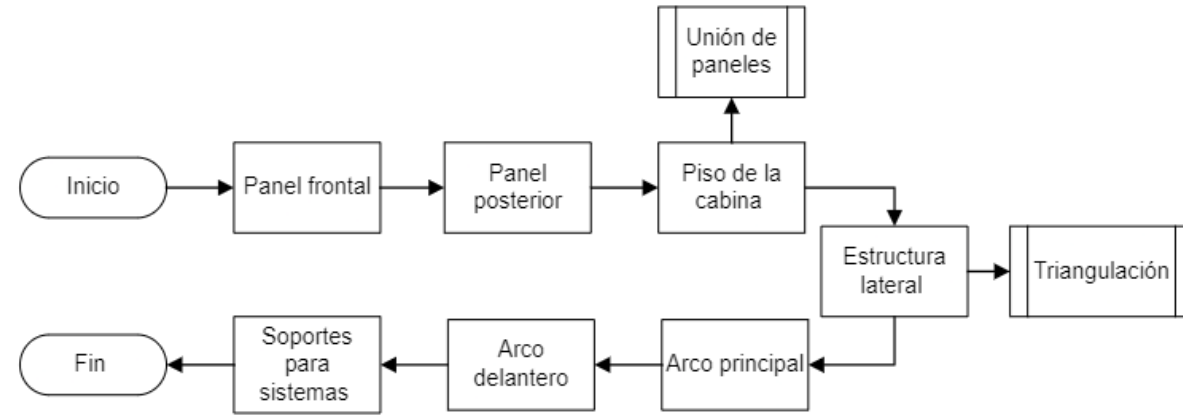
Criterio de Von Mises

Escala de deformación

Factor de seguridad

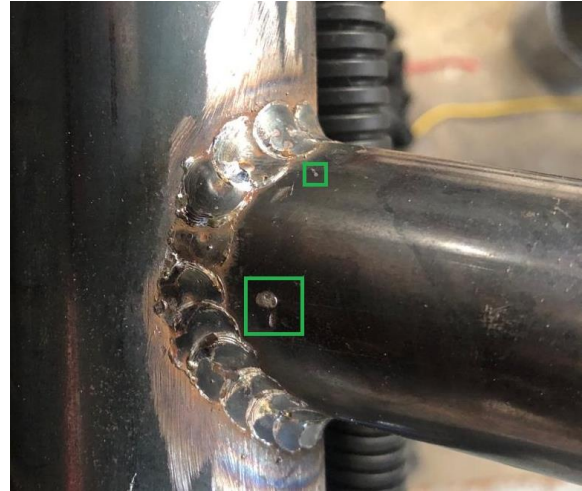


Construcción



Ensayos no destructivos aplicados a la soldadura

Inspección visual



Líquidos penetrantes



Conclusiones

La elección del perfil estructural tubular para la construcción del vehículo prototipo tipo “Tumbler” fue de gran importancia dado que se requirió un análisis de la normativa FIA referente a la construcción de estructuras de seguridad en automóviles de competición y se consideró la disponibilidad dimensional del tubo del mercado Ecuatoriano, dando así los tubos de las siguientes dimensiones: 42 x 3mm, 42 x 2mm, 42 x 1,5mm, 38 x 1,5mm y 32 x 1,5mm, que su distribución, depende de la aplicación que ocupe en la estructura.

La implementación de los softwares CAD y CAE ha sido de gran ayuda para el diseño, proporcionando una vista detallada de la estructura, el uso de la normativa de la Fórmula SAE como guía ayudó a determinar parámetros importantes para el diseño de la estructura como las dimensiones de impacto lateral, el arco principal, el arco delantero, altura al suelo, esta normativa ayudó a obtener un diseño con las medidas de seguridad que presenta la SAE. Además, que el empleo del software permitió realizar el análisis de elementos finitos, el cual sirvió de ayuda para garantizar la eficiencia y seguridad de la estructura.



Conclusiones

En el estudio de elementos finitos se obtuvieron tres criterios de diseño importantes, los cuales establecen la seguridad esperada de la estructura vehicular tubular del prototipo tipo “Tumbler”, previo a la realización del análisis, es necesario calcular las cargas y la combinación de las mismas mediante el método ASD, que son las fuerzas que va a soportar la estructura, estas se encuentran mencionadas en la Normativa NTE INEN 1323.

El criterio de Von Mises que es la ductilidad de un material para ceder cuando es mayor o igual al esfuerzo de tensión de un determinado material, en el caso de la estructura el material era un acero al carbono ASTM A53, el cual presenta un límite de fluencia de 228 MPa, de esta forma se puede considerar que el estudio es satisfactorio, debido a que la estructura se encuentra dentro de la zona elástica del material, puesto a que, en ninguno de los estudios arrojó valores superiores al mencionado, los cuales fueron de 184 MPa, 117 MPa y 185 MPa correspondientes a la combinación de cargas vivas, muertas con carga de giro, frenado y aceleración bruscas, respectivamente.



Conclusiones

La escala de deformación determina en medida de longitud cuanto ha cambiado o se ha desplazado el tubo por la aplicación de las cargas, este criterio se relaciona con la elongación del material que establece un mínimo de 50,8 mm según la normativa ASTM A 500 de grado A, por tanto, se considera que la deformación obtenida en la estructura vehicula tubular del prototipo tipo “Tumbler” no se considera crítica dado que, los valores obtenidos fueron de 4,71mm; 4,78mm y 4,34mm, así mismo cumpliendo con lo establecido en la normativa NTE INEN 1323 dando una deformación menor a 9,408mm.

El factor de seguridad, que es la capacidad que presenta un componente para resistir cargas sin fallar suele presentar un intervalo para ciertas aplicaciones en diferentes industrias, en este caso, que se trata de una estructura vehicular, establece que este rango debe ser de 1 a 1,5; por lo que, se puede concluir que el diseño de la estructura cumple con todos los requisitos para su funcionamiento seguro, debido a que en los estudios de elementos finitos con esfuerzos combinados se obtuvieron valores de: 1,46, 1,29 y 1,46 en cargas vivas, muertas, en su combinación con carga de giro, frenado y aceleración brusca, respectivamente.



Conclusiones

La construcción de la estructura ha requerido la correcta selección del tipo de soldadura, dado que esta es la encargada de asegurar la integridad de la estructura. El tipo de proceso de soldadura escogido es GMAW debido a la alta calidad que proporciona y además un cordón de soldadura limpia el cual ayuda a la realización de la prueba de inspección visual y la de líquidos penetrantes.

Los acabados de este tipo de soldadura son bastantes agradables estéticamente el cual facilitó la prueba de inspección visual del cordón de soldadura, además el tipo de cordón es “punto a punto” que es un método que no genera discontinuidades, solo se generan escorias que parte del proceso.

Mediante la prueba de líquidos penetrantes se presencié discontinuidades circulares que representan porosidades en la soldadura que son generados por factores como las impurezas y la humedad, pero la cantidad de poros que se encontraron en el cordón de soldadura son completamente comunes, lo que el tipo de soldadura escogido cumple con los estándares de seguridad y rendimiento que debe poseer la estructura.



Recomendaciones

La importancia de la selección las dimensiones de los componentes estructurales garantizan la fiabilidad dl diseño, tras el proceso de construcción y el análisis se recomienda considerar diferentes posibilidades para usar tubos de menor diámetro, realizando análisis que permitan comprender las cargas y normativas aplicadas en este tipo de vehículo, facilitando así a la elección de dimensiones optimas de los componentes estructurales.

En el mercado ecuatoriano el material predominante para la fabricación de estructuras automotrices como es las jaulas de seguridad para vehículos de competencia usa el acero al carbono soldado en frio A53 que está regulado por la ASTM A500 grado A y es el ocupado en la construcción del prototipo. Mediante análisis de elementos finitos se podrían proponer alternativas de materiales de fabricación que posean propiedades mecánicas iguales o mejores con respecto a la usada.



Recomendaciones

Finalizado el análisis de elementos finitos a la estructura se observó la falta de triangulación en la parte central del piso de la cabina debido a las deformaciones que se presentaban en ese punto, por ende, se recomienda realizar triangulación en cualquier parte de la estructura la finalidad de evitar deformaciones.

Adherirse a normativas específicas para este tipo de estructuras que son prototipos, es esencial proporcionar seguridad en la fase de diseño y fabricación. Sin embargo, se presenta inconvenientes dado que ninguna normativa vigente normaliza a los prototipos. Por tanto, es imperativo buscar y analizar diferentes regulaciones que facilitará el diseño y preverá un éxito en la fabricación.

