UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS TUBULAR PARA UN VEHÍCULO DE COMPETICIÓN TIPO SUPERCROSSCAR”

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

MARLON VINICIO CABRERA REYES

JUAN PABLO MÁRQUEZ FLORES

DIRECTOR:

ING. CRISTIAN GARCÍA GARCÍA

CUENCA – ECUADOR

2014

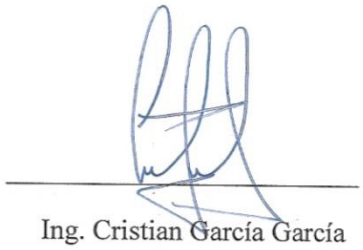
CERTIFICACIÓN

Ing. Cristian García García

Ing. Jónatan Pozo Palacios

CERTIFICAN:

Que el trabajo **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS TUBULAR PARA UN VEHÍCULO DE COMPETICIÓN TIPO SUPERCROSSCAR"**, realizado por los señores Marlon Vinicio Cabrera Reyes y Juan Pablo Márquez Flores, ha sido guiado y revisado periódicamente, por lo que se recomienda su publicación.



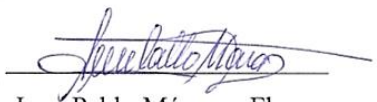
Ing. Cristian García García

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Marlon Vinicio Cabrera Reyes y Juan Pablo Márquez Flores, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Marlon Vinicio Cabrera Reyes



Juan Pablo Márquez Flores

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres, hermanos y familiares por su apoyo moral e incondicional demostrado a lo largo de nuestra vida estudiantil.

Al Ing. Francis Loayza Paredes por brindarnos su amistad, ayuda y confianza en el desarrollo de este trabajo de graduación.

A nuestro tutor y cotutor por su paciencia y guía durante todo el proceso del trabajo.

Juan Pablo

Marlon Vinicio

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y fortaleza espiritual.

A mi mamá Dra. Rosario Flores, por ser mi inspiración y brazo derecho, además por su cariño, esfuerzo y apoyo incondicional demostrado durante toda mi vida, a mi abuelita Rosa, por sus enseñanza, paciencia y sabiduría entregada y a mis hermanos Mario Fernando y Freddy Xavier, por ser el complemento perfecto en mi vida.

A mis amigos y personas que de una u otra manera han aportado positivamente en mi realización personal.

Juan Pablo

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios por darme salud y vida, cuidarme a diario, permitirme cumplir con las metas planteadas y haberme puesto a personas especiales en el trascurso de mi vida.

A mi padre José Humberto por ser mi guía y mi mejor ejemplo a seguir. A mi madre Emérita porque siempre está inculcando buenos valores, a mi hermana Karina y su hermosa familia que siempre está preocupada por mi bienestar, a mí hermano y mejor amigo Danilo que constantemente se preocupa de mi existir. A la persona que en los últimos dos años estuvo incondicionalmente a mi lado, quien me ayudo a crecer, a ver las cosas diferentes, y a caminar junto a mí, por su amor y apoyo, y sobre todo por querer siempre lo mejor para mí, gracias a ti Estefanía, gracias por ser quien eres.

Marlon Vinicio

GLOSARIO

R.F.E.d.A.: Real Federación Española de Automovilismo

F.I.A.: Federación Internacional de Automovilismo

ASTM: American Society for Testing and Materials

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

MEF: Método de Elementos Finitos

CAD: Diseño asistido por ordenador (Computer Aided Design)

CAE: Ingeniería asistida por ordenador (Computer Aided Engineering)

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN II
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD III
AGRADECIMIENTO IV
DEDICATORIA V
GLOSARIO VII
ÍNDICE DE TABLAS XIV
1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 2
1.1 Generalidades 2
1.1.1 Rally automovilístico: Inicios 2
1.1.2 Concepto de supercrosscar 3
1.2 La carrocería 4
1.3 El bastidor 6
1.4 Chasis 7
1.4.1 Tipos de chasis 8
1.4.1.1 Chasis de escalera 8
1.4.1.2 Chasis monocasco 9
1.4.1.3 El chasis columna vertebral 9
1.4.1.4 Chasis tubular 10
1.5 Cargas de diseño 11
1.5.1 Carga muerta (M) 11
1.5.2 Carga viva (V) 12
1.5.3 Carga de frenado (F) 12
1.5.4 Carga de aceleración brusca (Ab) 12
1.5.5 Carga por resistencia del aire frontal (Raf) 13
1.5.6 Carga de impacto 13
1.6 Reglamentación técnico para supercrosscar 14
1.6.1 Requerimientos generales de diseño 14
1.6.1.1 Carrocería y dimensiones 14
1.6.1.2 Peso 15
1.6.1.3 Habitáculo 15
1.6.1.3.1 Estructura de seguridad 15

2 DISEÑO DEL CHASIS TUBULAR 24
2.1 Parámetros de diseño 24
2.1.1 Triangularización 24
2.1.2 Criterios de espacio 26
2.1.3 Rigidez Torsional 27
2.2 Desarrollo de las fases de diseño 27
2.2.1 Diseño conceptual 27
2.2.2 Modelado geométrico asistido por computador 28
2.2.2.1 Modelado geométrico del chasis tubular 28
2.2.3 Análisis del chasis 31
2.2.3.1 Método de Elementos Finitos (MEF) 31
2.2.3.2 Análisis estático 32
2.2.3.2.1 Elementos tipo viga (beam) 32
2.2.3.3 Ensayos establecidos por el reglamento 33
2.2.4 Simulación y análisis de resultados 34
2.2.4.1 Criterio de Von Mises 34
2.2.4.2 Material 34
2.2.4.3 Análisis Lateral 35
2.2.4.3.1 Propuesta de diseño inicial 35
2.2.4.3.2 Propuesta de diseño final 38
2.2.4.4 Análisis longitudinal 41
2.2.4.4.1 Análisis frontal 41
2.2.4.4.1.1 Propuesta de diseño inicial 42
2.2.4.4.1.2 Propuesta de diseño final 44
2.2.4.4.2 Análisis posterior 47
2.2.4.4.2.1 Propuesta de diseño inicial 47
2.2.4.4.2.2 Propuesta de diseño final 50
2.2.4.5 Análisis Vertical 52
2.2.4.5.1 Propuesta de diseño inicial 52
2.2.4.5.2 Propuesta de diseño final 55
2.2.4.6 Rigidez torsional 57
3 CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS TUBULAR 61
3.1 Introducción 61

3.2 Planificación del proceso 62
3.2.1 Marcado y selección del tubo 62
3.2.2 Corte del material (por aserrado y por disco) 63
3.2.3 Curvado en frio 63
3.2.3.1 Curvado en frio por presión hidráulica 64
3.2.3.2 Curvado en frio por rodillos (rolado) 65
3.2.4 Preparación de los tubos antes de soldar (bocas de pescado) 66
3.2.5 Soldadura 66
3.2.5.1 La soldadura MIG 67
3.2.5.1.1 Selección del electrodo y condiciones de soldado 69
3.2.5.2 Posición y secuencia de soldadura 70
3.2.5.3 Punteado de la soldadura 72
3.2.6 Armado del chasis 73
3.2.6.1 Montaje y construcción del chasis 74
3.2.6.1.1 Arco principal 77
3.2.6.1.2 Semiarcos laterales 77
3.2.6.1.3 Refuerzos del habitáculo 78
3.2.6.1.4 Protección frontal del chasis 79
3.2.6.1.5 Protección posterior del chasis 80
3.2.6.2 Peso de la estructura. 83
3.2.6.3 Carrocería de fibra de vidrio 84
3.2.7 Inspección de soldaduras 85
3.2.7.1 Inspección visual 85
3.2.7.2 Ensayo de Líquidos Penetrantes 86
3.2.7.2.1 Preparación de la Superficie 86
3.2.7.2.2 Aplicación del Penetrante 87
3.2.7.2.3 Remoción del Penetrante 88
3.2.7.2.4 Aplicación del Revelador 89
3.2.7.2.5 Examinación y Evaluación 90
CONCLUSIONES 91
TRABAJOS FUTUROS 92
BIBLIOGRAFÍA 93

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1 Vehículo supercrosscar con carrocería de fibra. 4
Figura 1.2 Carrocería de chapa. 5
Figura 1.3 Carrocería de fibra de vidrio. 6
Figura 1.4 Bastidor. 6
Figura 1.5 El chasis tubular como refuerzo del vehículo. 8
Figura 1.6 Chasis de escalera. 9
Figura 1.7 Chasis monocasco. 9
Figura 1.8 Chasis tipo columna vertebral. 10
Figura 1.9 Chasis tubular tipo supercrosscar utilizado para competición. 11
Figura 1.10 Cargas muertas. 12
Figura 1.11 Resistencia aerodinámica. 13
Figura 1.12 Bases laterales del habitáculo. 17
Figura 1.13 Base frontal del habitáculo. 17
Figura 1.14 Base arco principal. 18
Figura 1.15 Base reforzada del habitáculo. 18
Figura 1.16 Refuerzo salpicadero. 19
Figura 1.17 Refuerzos del techo. 19
Figura 1.18 Refuerzos adicionales de la estructura. 20

CAPÍTULO II

Figura 2.1 Efecto triangulación. 25
Figura 2.2 Estructura triangularizada. 25
Figura 2.3 Datos dimensionales del cuerpo humano. 26
Figura 2.4 Diseño previo del chasis. 28
Figura 2.5 Vista isométrica de la estructura. 29
Figura 2.6 Vista frontal de la estructura. 29
Figura 2.7 Vista lateral de la estructura. 30
Figura 2.8 Vista superior de la estructura. 30
Figura 2.9 Chasis como estructura. 31
Figura 2.10 Aplicación de la carga lateral propuesta inicial. 36
Figura 2.11 Soportes fijos parte lateral propuesta inicial. 36
Figura 2.12 Máximo esfuerzo con carga lateral propuesta inicial. 37
Figura 2.13 Deformación parte lateral propuesta inicial. 37
Figura 2.14 Propuesta de diseño final. 38
Figura 2.15 Aplicación carga lateral propuesta final. 39
Figura 2.16 Soportes fijos parte lateral propuesta final. 39

Figura 2.17 Máximo esfuerzo con carga lateral propuesta final. 40
Figura 2.18 Deformación parte lateral propuesta final. 40
Figura 2.19 Aplicación carga frontal propuesta inicial. 42
Figura 2.20 Soportes fijos parte posterior propuesta inicial. 42
Figura 2.21 Máximo esfuerzo con carga frontal propuesta inicial. 43
Figura 2.22 Deformación parte frontal propuesta inicial. 43
Figura 2.23 Aplicación carga frontal propuesta final. 44
Figura 2.24 Soportes fijos parte posterior propuesta final. 45
Figura 2.25 Máximo esfuerzo con carga frontal propuesta final. 45
Figura 2.26 Deformación parte frontal propuesta final. 46
Figura 2.27 Aplicación carga posterior propuesta inicial. 47
Figura 2.28 Soportes fijos parte frontal propuesta inicial. 48
Figura 2.29 Máximo esfuerzo con carga posterior propuesta inicial. 48
Figura 2.30 Deformación parte posterior propuesta inicial. 49
Figura 2.31 Aplicación carga posterior propuesta final. 50
Figura 2.32 Soportes fijos parte frontal propuesta final. 50
Figura 2.33 Máximo esfuerzo con carga posterior propuesta final. 51
Figura 2.34 Deformación parte posterior propuesta final. 51
Figura 2.35 Aplicación carga vertical propuesta inicial. 52
Figura 2.36 Soportes fijos parte inferior propuesta inicial. 53
Figura 2.37 Máximo esfuerzo con carga vertical propuesta inicial. 53
Figura 2.38 Deformación parte superior propuesta inicial. 54
Figura 2.39 Aplicación carga vertical propuesta final. 55
Figura 2.40 Soportes fijos parte inferior propuesta final. 55
Figura 2.41 Máximo esfuerzo con carga vertical propuesta final. 56
Figura 2.42 Deformación parte superior propuesta final. 56
Figura 2.43 Aplicación de cargas y restricciones para determinar la rigidez. 57
Figura 2.44 Desplazamiento torsional de la estructura. 58

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Acero estructural ASTM A500. 61
Figura 3.2 Medición y marcado del material. 62
Figura 3.3 Corte y unión del tubo. 63
Figura 3.4 Doblez de los tubos. 64
Figura 3.5 Curvado en frio del arco principal. 65
Figura 3.6 Curvado por rodillos. 65
Figura 3.7 Herramienta para hacer bocas de pescado. 66
Figura 3.8 Cordón de soldadura. 67
Figura 3.9 Máquina de soldadura utilizada. 68
Figura 3.10 Soldadura circular a 360°. 70
Figura 3.11 Soldadura a 180°. 71
Figura 3.12 Soldadura vertical descendente. 71

Figura 3.13 Soldadura horizontal. 72
Figura 3.14 Punteo en miembros estructurales. 73
Figura 3.15 Mesa de montaje. 74
Figura 3.16 Doblado del tubo. 75
Figura 3.17 Mesa guía para el chasis. 75
Figura 3.18 Base de la estructura del chasis. 76
Figura 3.19 Refuerzos en las esquinas de las bases del chasis. 76
Figura 3.20 Arco principal y la carrocería. 77
Figura 3.21 Semiarcos laterales. 78
Figura 3.22 Refuerzos de la estructura. 78
Figura 3.23 Rolado de los tubos. 79
Figura 3.24 Ubicación de los tubos rolados. 79
Figura 3.25 Protección frontal. 80
Figura 3.26 Unión del trapecio frontal con el habitáculo. 80
Figura 3.27 Protección posterior de la estructura. 81
Figura 3.28 Ubicación de refuerzos y verificación de medidas. 81
Figura 3.29 Soldadura de las bases del arco principal. 82
Figura 3.30 Soldadura de refuerzos superiores. 82
Figura 3.31 Soldadura de partes no accesibles. 83
Figura 3.32 Chasis tubular tipo supercrosscar. 83
Figura 3.33 Peso actual del chasis tipo supercrosscar. 84
Figura 3.34 Inspección visual de la soldadura. 85
Figura 3.35 Kit de spray de líquidos penetrantes. 86
Figura 3.36 Preparación de la superficie. 87
Figura 3.37 Aplicación del spray removedor. 87
Figura 3.38 Aplicación del spray penetrante 88
Figura 3.39 Remoción del penetrante. 88
Figura 3.40 Aplicación del spray revelador. 89
Figura 3.41 Porosidad de la soldadura. 90

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1 Tabla de dimensiones de automóviles para supercrosscar. 14
Tabla 1.2 Cilindrada / peso del vehículo. 15
Tabla 1.3 Dimensiones del tubo para la jaula antivuelco. 16
Tabla 1.4 Configuraciones jaula de seguridad. 21

CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Codificación de colores. 31
Tabla 2.2 Propiedades del acero estructural ASTM A500 34

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Características técnicas de soldadora Indura. 68
Tabla 3.2 Propiedades electrodo 70S-6. 70

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se enfocó en el diseño y construcción de un chasis tubular para un vehículo de competición tipo supercrosscar.

En el capítulo I titulado *FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA* se da a conocer los conceptos básicos que guiarán este trabajo, así como también se realiza un estudio del reglamento técnico de la RFEdA (Real Federación Española de Automovilismo), en el que se da a conocer normas y disposiciones que se debe cumplir para la seguridad del piloto.

En el capítulo II titulado *DISEÑO DEL CHASIS TUBULAR* se realiza el diseño conceptual a partir de datos generales como lo son largo, ancho y altura, luego se procede a modelar la estructura mediante un programa CAD (Diseño asistido por ordenador) y por último se efectúa un análisis estático mediante el software Ansys 14.5. En el análisis estático se ha simulado y analizado diferentes cargas de impacto (lateral, longitudinal y vertical) en una propuesta de diseño inicial y una propuesta de diseño final.

En el capítulo III titulado *CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS TUBULAR*, se procede a la fabricación de la estructura, en la cual se detalla cada paso realizado, desde los dobleces, los cortes y la soldadura aplicada. Adicionalmente se ha realizado un análisis de la soldadura mediante el uso de tintas penetrantes.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Generalidades

En el marco de la investigación planteada, referido al análisis del diseño y la construcción de la estructura metálica para vehículos tipo supercrosscar, la implementación de nuevos procesos de manufactura permite conseguir vehículos con excelente relación peso y resistencia. Esta ventaja tecnológica es aprovechada para plantear este proyecto que consiste en el diseño y construcción de un chasis tubular, que al momento de su fabricación será de bajo coste y con altas prestaciones. Esta idea que no es nueva, dado que se viene aplicando desde unos 20 años en países desarrollados, consiste en combinar un chasis con materiales livianos y muy resistentes con motores pequeños de altas prestaciones que generalmente vienen montados en motocicletas de serie. Bajo estas características, se logran vehículos con relaciones peso/potencia muy bajos comparados con los vehículos de serie preparados para competición. Se puede decir que en Ecuador se los construye artesanalmente y en cambio en otros países se lo hace en serie y bajo reglamentos y regulaciones propias de cada país.

Todas las especificaciones indicadas en el presente trabajo, establecen características básicas y generales de diseño de un chasis para un vehículo tipo Supercrosscar, las cuales serán de gran importancia para la provisión de nuevos modelos de esta competencia.

Lamentablemente en el país aún no existe una normativa que regule la construcción de vehículos como la del presenta trabajo. Por tanto, para el diseño de estos, nos apoyamos en las normas de construcción del reglamento de la R.F.E.d.A., que establece condiciones de diseño, seguridad, confiabilidad y confort adecuadas para el piloto.

1.1.1 Rally automovilístico: Inicios

Desde que se inventó los motores a combustión e incluso mucho antes, viene desarrollándose competencias para determinar quién tiene la mayor capacidad para controlar los vehículos, ya sea en velocidad, destreza o manejo por carreteras difíciles, situaciones muy dependientes de las características y diseño del vehículo.

La historia del rally se remonta al año 1977, cuando la F.I.A. (Federación Internacional de Automovilismo) ya estaba funcionando más de veinte años. Desde este año se organizó la primera competencia en Italia la cual contemplaba terrenos bastante irregulares que salían de las carreteras y que necesitaban de mucha destreza por parte de los pilotos. Esto fue conocido como "Turismo Carretera", lo cual tuvo aceptación por parte de los pilotos y el público.

En el año de 1979 fue finalmente cuando se utilizó el término "Rally" para identificar este tipo de disciplina automovilística. En este mismo año se creó el primer Campeonato Mundial de Rally, especialidad exclusivamente diseñada para circuitos mixtos y terrenos de alta dificultad. Estos rallys consisten en carreras disputadas en carreteras o caminos cerrados al tránsito. Es una de las pocas disciplinas automovilísticas que no se disputan en circuitos cerrados. También, es característica la impredecibilidad natural del circuito y de las carreras.

Aunque existe alguna prueba que permite el uso de motos, los rallys son una especialidad específica del automóvil tal como establece la F.I.A. en sus formas. Pruebas como el Dakar admiten motos, pero se engloban en la categoría de Raids.[1]

1.1.2 Concepto de supercrosscar

Se entiende como supercrosscar, un vehículo de chasis tubular con carrocería de fibra de vidrio o chapa, motor de motocicleta y tracción trasera, con una potencia que puede rondar los 150 - 200 CV y un peso lo más bajo posible, válido tanto para asfalto como para tierra.

Los de carrocería de chapa están construidos a partir de un arco de seguridad conforme a todos los artículos del Anexo J de la F.I.A., de una carrocería de un turismo proveniente de un fabricante reconocido, y de un motor de serie de una motocicleta de gran cilindrada. No se emplean arcos homologados, ya que se modifican, lo que invalida su homologación. En cambio, los de carrocería de fibra de vidrio, llevan un chasis tubular de acuerdo a lo establecido en el reglamento de la R.F.E.d.A, la cual brinda los parámetros necesarios para que la estructura sea segura

[1] MUNDO MOTOR, *Rally: Una competencia con historia*, http://mundomotorlosangeles.es.tl/UNA-HISTORIA.htm

y confiable para el piloto, ya que la carrocería es de un material diferente al de uso comercial.

En cuanto al vehículo, en general, cuenta con una relación peso-potencia que ronda los 2.5 Kg. /CV, una cifra a tener en cuenta (similar a la de un Car-Cross o un CM-España) y que es posible alcanzar por el empleo de una mecánica de moto ligera y potente, y del uso de una carrocería de un auto de tamaño pequeño y por consiguiente, reducido peso.

Todo lo anterior mejorando, si cabe, la seguridad del piloto con respecto a otros vehículos de competición, por usar unas medidas de seguridad idénticas a las empleadas en automóviles más pesados y que por tanto tienen mayores inercias en caso de accidente.[2]



Figura 1.1 *Vehículo supercrosscar con carrocería de fibra.*

Fuente: *http://www.fotolog.com/rallyracing/21710398/#profile_start*

1.2 La carrocería

La real academia Española de la lengua define la carrocería como: Parte de los vehículos automóviles o ferroviarios que, asentada sobre el bastidor, reviste el motor y otros elementos, y en cuyo interior se acomodan los pasajeros y la carga.[3]

[2] ROCAR PROTOTIPOS, S.L., *Supercrosscar 2009*, http://www.supercrosscar.com/descargas/federacion_dossier_de_presentacion_scc.pdf

[3] REAL ACADEMIA ESPANOLA, "Carrocería", DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA, 20va Edición, 2010.

La carrocería de un automóvil es aquella parte del vehículo que está formada por un cuerpo central de gran resistencia en la que se encuentran alojados los pasajeros o la carga, protegida por dos cuerpos (el delantero y el trasero).

Existen varios tipos de carrocerías; las más comunes son las llamadas compactas, que se caracterizan por que toda la carrocería se fabrica como una estructura de un solo cuerpo. Todos los elementos mecánicos se adaptan a esta estructura fijándose a las partes más rígidas, especialmente diseñadas para ello. Una de las principales ventajas de este tipo de carrocería es su menor peso al no tener bastidores de fundición de hierro, aunque en la actualidad también se construye carrocerías de aluminio.

Como desventaja para este tipo de carrocería se debe destacar que tras un accidente, choque o colisión, su estructura queda muy deformada. El efecto más común de estos daños es que el vehículo tiende a cargarse hacia un lado durante el desplazamiento y el frenado. Hay que tomar en cuenta que estos efectos también pueden producirse por otras causas; por lo tanto siempre es recomendable efectuar inspecciones periódicas, para descartar fallos mecánicos.

Actualmente los turismos se fabrican con la carrocería como soporte o bastidor de los distintos conjuntos o sistemas que se acoplan en el vehículo, denominándose carrocería monocasco o autoportante.[4]



Figura 1.2 *Carrocería de chapa.*

Fuente: *http://www.elchapista.com/chasis_carrocerias_vehiculos.html*

[4] ALONSO P., José Manuel, *Técnicas del Automóvil. Chasis*, 8va Edición, Editorial Paraninfo, Navalcarnero - Madrid, 2008.

Sin embargo en prototipos y autos de altas prestaciones la tendencia a usar una carrocería liviana ha llegado a que se use materiales como son la fibra de vidrio y la de carbono, que a más de presentar bajo peso, su construcción y su reparación es económica comparando con una de chapa.



Figura 1.3 *Carrocería de fibra de vidrio.*

Fuente: *Los autores.*

1.3 El bastidor

En algunos vehículos, especialmente en camiones y camionetas, todos los elementos de un automóvil, como el motor y todo su sistema de transmisión han de ir montados sobre un armazón rígido. Es fácil deducir que necesitamos una estructura sólida para soportar estos órganos. La estructura que va a conseguir esa robustez se llama bastidor y está formado por dos fuertes largueros (L) y varios travesaños (T), que aseguran su rigidez (Figura 1.4 Bastidor.). Esta estructura en los vehículos monocasco está integrada en la carrocería formando una sola pieza.

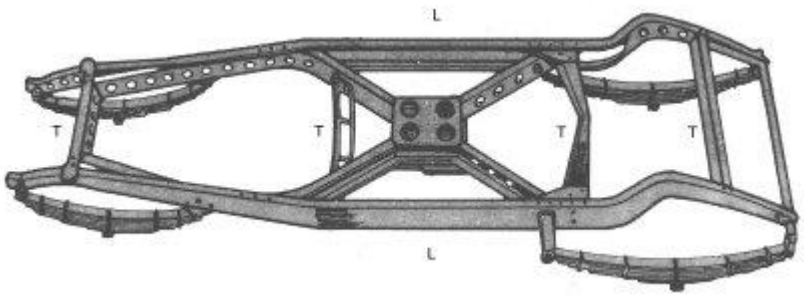


Figura 1.4 *Bastidor.*

Fuente: *http://www.almuro.net/sitios/Mecanica/suspension.asp?sw12=1*

1.4 Chasis

Un chasis se podría definir como una estructura cuyo propósito es el de conectar rígidamente la suspensión delantera y la trasera y al mismo tiempo ofrecer puntos de amarre para los diferentes sistemas del vehículo, así como de proteger al conductor frente a la colisión. Los diseños rara vez se someten a esfuerzos del orden de la tensión última. Lo determinante es la no deformación o la rigidez. El chasis debe ser rígido pero también es necesaria cierta deformación sin alterar las características de la suspensión.

El chasis se emplea principalmente en vehículos de carga, como por ejemplo camionetas, camiones y buses, y también como refuerzo en los coches de competición. El chasis es un marco metálico conocido como bastidor, sobre el cual se montan todos los componentes del vehículo. La carrocería se instala sobre el chasis una vez se haya determinado su aplicación (camión o bus, auto o camioneta). La instalación se efectúa empernando o soldando la carrocería al bastidor; si es empernada se conoce como "carrocería independiente". Si es soldada se conoce como "autoportante".

En los vehículos de competición se podría decir que los dos grandes tipos de chasis son los "monocasco" y los "tubulares". En los primeros el chasis forma parte de la carrocería. Los chasis tubulares son los que más se emplean como refuerzo de los vehículos de competición ya que es más sencilla su construcción y la determinación de los esfuerzos a los que pueda estar sometido.

En cuanto al comportamiento mecánico hay que decir que el chasis es más rígido que la carrocería. Sin embargo, es importante en el momento de un choque, que la carrocería se deforme todo lo que se pueda para no transmitir la energía de la colisión al piloto y por otra parte interesa que el chasis se deforme poco para no alterar las características geométricas de los elementos que se acoplan en él.[5]

---

[5] ALONSO P., José Manuel, *Técnicas del Automóvil. Chasis*, 8va Edición, Editorial Paraninfo, Navalcarnero - Madrid, 2008.



Figura 1.5 *El chasis tubular como refuerzo del vehículo.*
Fuente: *http://m.forococoches.com/foro*

1.4.1 Tipos de chasis

Existen diferentes tipos de chasis que ofrecen diferentes características y configuraciones. El chasis de un vehículo nos permite tener una estructura similar a los huesos de los seres humanos.

Los diferentes sistemas de chasis tras pasar los años se han aligerado en peso, y a la vez manteniendo o aumentando la resistencia de la estructura.

Los distintos tipos de autos necesitan enormes cantidades de estabilidad, y los chasis están construidos para ajustarse a la finalidad del vehículo. Hay varios tipos chasis que han sido construidos con algunos atributos únicos.

1.4.1.1 Chasis de escalera

El chasis de escalera es el más antiguo y más común. Este tipo se ha convertido en el estándar para la mayoría de los tipos de automóviles. Su diseño es muy básico y tiene algunas otras ventajas, como por ejemplo que puede ser producido en masa ya que es bastante barato de fabricar. La mayor desventaja es que hay poca profundidad a la estructura general dándole un centro de gravedad muy bajo. La mayoría de los autos clásicos, SUV y vehículos más grandes que se asemejan a un auto de la ciudad se hacen con chasis de escalera.

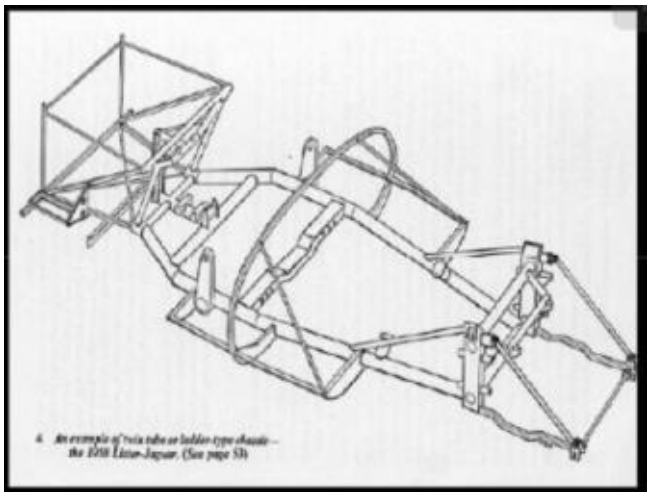


Figura 1.6 *Chasis de escalera.*

Fuente: *http://jeroitim.blogspot.com/2012/05/v-behaviorurldefaultvmlo.html*

1.4.1.2 Chasis monocasco

Los chasis monocasco son los que los fabricantes de automóviles utilizan hoy en día para la mayoría de sus vehículos. Esta es una estructura bastante rígida que es fácil de producir en masa y proporciona una gran absorción de energía. La mayor desventaja de un chasis monocasco es su peso. A pesar de que son fáciles de fabricar, no es rentable para su fabricación en pequeñas cantidades.



Figura 1.7 *Chasis monocasco.*

Fuente: *http://www.km77.com/marcas/volvo/xc90/sumario1.asp*

1.4.1.3 El chasis columna vertebral

Este tipo de estructura fue inventada por Colin Chapman. Él utilizó una celosía en forma de "columna vertebral" para conectar el eje delantero al trasero. La columna vertebral proporciona la estructura para todos los componentes de trabajo del

vehículo. Como desventaja, son muy pesados para ser usados en autos deportivos y demasiado caros para ser producidos en masa.[6]



Figura 1.8 *Chasis tipo columna vertebral.*

Fuente: *http://www.mecanicaymotores.com/tipos-de-chasis-para-autos.html*

1.4.1.4 Chasis tubular

La carrocería tubular o superleggera ("superligera" en italiano), es un tipo de carrocería utilizado en vehículos clásicos deportivos de mediados del siglo XX. Fue creada por el carrocero italiano Touring en 1937.

Esta técnica utiliza como estructura del vehículo una red de finos tubos metálicos soldados, recubierta después con láminas metálicas, frecuentemente de metales tales como aluminio o magnesio.[7]

Actualmente se recubre también con láminas o partes no metálicas como fibra de carbono o fibra de vidrio. Esta técnica consigue una carrocería de gran rigidez y resistencia con muy poco peso.

[6] MECANICA Y MOTORES, *Tipos de chasis para autos*, http://www.mecanicaymotores.com/tipos-de-chasis-para-autos.html
[7] WIKIPEDIA, *tubular*, http://es.wikipedia.org/wiki/Carrocer%C3%ADa



Figura 1.9 *Chasis tubular tipo supercrosscar utilizado para competición.*

Fuente: *http://www.supercrosscar.com*

1.5 Cargas de diseño

Quizá la tarea más importante y difícil que debe enfrentar un diseñador de estructuras es la estimación de cualquier carga que recibirá una estructura durante su vida útil. No debe omitirse la consideración de cualquier carga que pueda llegar a presentarse. Después de que se han estimado las cargas es necesario investigar las combinaciones más desfavorables que pueden ocurrir en un momento dado.

A continuación se da una breve introducción a los tipos de cargas.

1.5.1 Carga muerta (M)

Corresponde al peso total del chasis en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes; es decir, la carrocería terminada con todos sus accesorios. Las cargas muertas son cargas de magnitud constante que permanecen fijas a un mismo lugar. Éstas son el peso propio de la estructura y otras cargas permanentemente unidas a ellas.

Para diseñar una estructura es necesario estimar los pesos o cargas muertas de sus componentes. Las dimensiones y pesos exactos de las partes no se conocen hasta que se hace el análisis estructural y se selecciona los miembros de la estructura. Los

pesos determinados de acuerdo con el diseño, deben compararse con los pesos estimados.

Una estimación razonable de las cargas en la estructura puede hacerse con base en otras similares o en fórmula y tablas diversas disponibles en varias localidades.

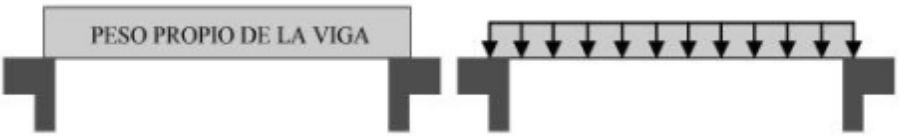


Figura 1.10 *Cargas muertas.*
Fuente: *http://www.virtual.unal.edu.co*

1.5.2 Carga viva (V)

Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería. Las cargas vivas son aquellas que pueden cambiar de lugar y magnitud. Dicho simplemente, todas las cargas que no son muertas, son vivas. Las cargas que se mueven bajo su propio impulso como camiones, gente, etc. se denominan cargas móviles y aquellas que pueden ser remplazadas, muebles, accesorios se denominan cargas móviles.

1.5.3 Carga de frenado (F)

Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo. Se asume una desaceleración mayor o igual a 4 m/s^2.

1.5.4 Carga de aceleración brusca (Ab)

Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo. Se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado pero en sentido contrario.

1.5.5 Carga por resistencia del aire frontal (Raf)

Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal. Se utilizará la siguiente fórmula:

$$Raf = 1/2 * Cx * p * Af * V2$$

Dónde:

Raf = Carga por resistencia Aerodinámica, en (N)

p = Densidad del aire, en (kg/m³)

V = Velocidad del aire, en (m/s). (Como mínimo 25 m/s)

Af. = Área frontal, en (m²)

Cx.- Coeficiente de resistencia del aire. (Como mínimo 0.7)



Figura 1.11 *Resistencia aerodinámica.*

Fuente: *http://aerodinamicafacil.weebly.com/aerodinaacutemica-en-los-autos.html*

1.5.6 Carga de impacto

Corresponde a la fuerza producida en una situación desafortunada que pueda tener el piloto al producirse una colisión, siendo la fuerza de impacto la más significativa y de cuidado que debe tener el proyectista para el diseño de la estructura. La fuerza de

impacto es la establecida de tres formas: Impacto longitudinal (frontal y posterior), impacto lateral e impacto vertical o superior.

1.6 Reglamentación técnico para supercrosscar

El presente reglamento define un conjunto de leyes o normas necesarias para el diseño y construcción de un vehículo tipo supercrosscar.

1.6.1 Requerimientos generales de diseño

1.6.1.1 Carrocería y dimensiones

Batalla.- La batalla máxima deberá ser de 2000 mm. No se permitirá disminuir esta distancia entre ejes en la carrocería de origen aunque los brazos y elementos de suspensión se sitúen en puntos diferentes de los de serie.

Longitud.- La longitud máxima del vehículo, no podrá sobrepasar los 4000 mm.

Anchura.- La anchura exterior máxima de la carrocería del vehículo no podrá sobrepasar los 1750 mm. Si el automóvil del que parte presenta una mayor anchura, el derivado prototipo podrá llegar hasta 1900 mm (tolerancia de + 2%).

A continuación se presenta la Tabla 1.1 Tabla de dimensiones de automóviles para supercrosscar.) que indica las dimensiones generales en función del tipo de carrocería a usarse.

MARCA / MODELO	LARGO	BATALLA	ANCHO	ALTO	PESO
Austin Mini 850 59-00	3.054	2.038	1.410	1.346	640
Austin Mini Metro 80-89	3.406	2.250	1.547	1.361	743
Autobianchi A112 Abarth 76-86	3.230	2.038	1.480	1.340	660
Chevrolet Matiz 04-05	3.495	2.345	1.495	1.500	775
Citroen AX 86-97	3.531	2.286	1.575	1.346	684
Citroen C1 05-	3.430	2.340	1.630	1.460	790
Citroen C2 03-	3.666	2.315	1.659	1.461	932
Citroen C3 01-	3.850	2.460	1.670	1.520	978
Citroen Saxo 96-03	3.718	2.385	1.595	1.379	805
Daewoo Matiz 98-05	3.495	2.340	1.495	1.485	853
Fiat 126 73-93	3.054	1.840	1.378	1.302	580
Fiat 500 65-75	2.972	1.838	1.320	1.320	490
Fiat 500 07-	3.546	2.300	1.627	1.488	865
Fiat Cinquecento 91-98	3.230	2.200	1.490	1.435	675

Tabla 1.1 *Tabla de dimensiones de automóviles para supercrosscar.*

Fuente: *www.supercrosscar.com*

Para el desarrollo del diseño se ha optado por utilizar las dimensiones establecidas para el vehículo Austin Mini Metro, las cuales será los lineamientos base para el desarrollo del presenta trabajo.

1.6.1.2 Peso

En condiciones de carrera sin piloto, la normativa establece la Tabla 1.2 Cilindrada / peso del vehículo.) siguiente:

Cilindrada (cm^3)	**Máximo peso (Kg)** **Para vehículos con 1 motor**
Hasta 1000	450
De 1001 a 1500	520
De 1501 a 2000	580

Tabla 1.2 *Cilindrada / peso del vehículo.*

Fuente: *Reglamento técnico general 2013.RFEDA*

1.6.1.3 Habitáculo

El volumen constitutivo del habitáculo, deberá ser simétrico respecto al eje longitudinal del vehículo. No se ocupará el espacio de un hipotético acompañante con ningún elemento como radiadores, depósitos, baterías, tomas de aire, etc.

1.6.1.3.1 Estructura de seguridad

Las estructuras de seguridad, usadas actualmente en vehículos de competición, están destinadas a brindar seguridad a los ocupantes en caso de un accidente, ya sea por un choque o un vuelco.

- **Material y consideraciones**

El material de los tubos debe ser:

- ✓ Acero al carbono no aleado estirado en frio y sin soldadura,
- ✓ Con un contenido máximo de 0,3% de carbono,
- ✓ De una resistencia mínima a la tracción de 350 N/mm^2

Al seleccionar el acero, debe prestarse atención a la obtención de buenas propiedades de elongación y adecuadas características de soldabilidad.

El curvado del tubo debe hacerse en frio, con un radio de curvatura del eje del tubo de al menos tres veces el diámetro. Si el tubo se ovaliza durante esta operación, la relación entre el diámetro menor y mayor no será inferior a 0,9.

En el capítulo siguiente se define el tipo de material y las características que se ha usado con el fin de realizar el análisis de la estructura.

- **Dimensiones del tubo**

En la Tabla 1.3 Dimensiones del tubo para la jaula antivuelco.) se da a conocer los datos que se usa en la estructura de seguridad o jaula antivuelco.

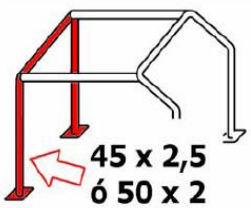
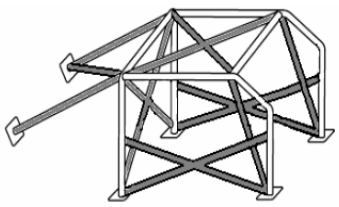
DIMENSIONES MÍNIMAS (mm)	**UTILIZACIÓN**	
Preferiblemente 45 x 2.5 (1.75” x 0.095”) o en su defecto 50 x 2.0 (2” x 0.083”)	Arco principal, arco lateral y su conexión trasera según la construcción.	
38 x 2.5 (1.5” x 0.0095”) o 40 x 2.0 (1.6” x 0.083”)	Otras partes de la estructura.	

Tabla 1.3 *Dimensiones del tubo para la jaula antivuelco.*

Fuente: *http://www.supercrosscar.com/*

- **Refuerzos en la estructura de seguridad**

a). Base de la estructura de seguridad

Los arcos principal y delantero deberán estar unidos, en la parte inferior, por dos tubos longitudinales rectos soldados, de acero de 30 x 30 mm mínimo y un máximo de 50 x 50 mm, ambos de un mínimo de 2 mm de espesor, uno a lo largo de cada lado del piso (Figura 1.12 Bases laterales del habitáculo.)

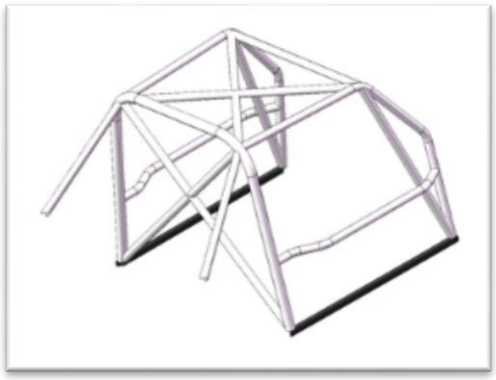


Figura 1.12 *Bases laterales del habitáculo.*

Fuente: *http://www.supercrosscar.com/*

Los pies del arco delantero deberán estar unidos, en la parte inferior, por un miembro transversal soldado, de acero de 30 x 30 mm mínimo y de 50 x 50 mm máximo (Figura 1.13 Base frontal del habitáculo.), que podrá seguir el contorno inferior de la mampara delantera y tendrá un mínimo de 2 mm de espesor.

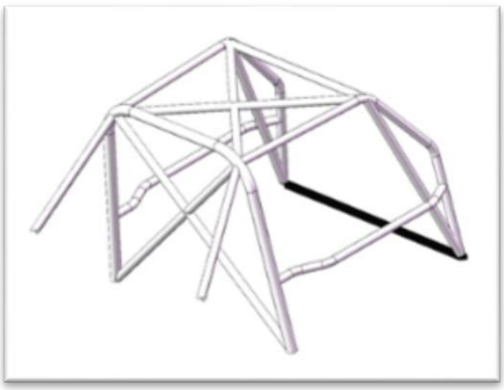


Figura 1.13 *Base frontal del habitáculo.*

Fuente: *http://www.supercrosscar.com/*

Los pies del arco principal deberán estar unidos en la parte inferior, por un miembro transversal soldado de acero de 30 x 30 mm mínimo y un máximo de 50 x 50 mm, de un mínimo de 2 mm de espesor (*Figura 1.14 Base arco principal.*).

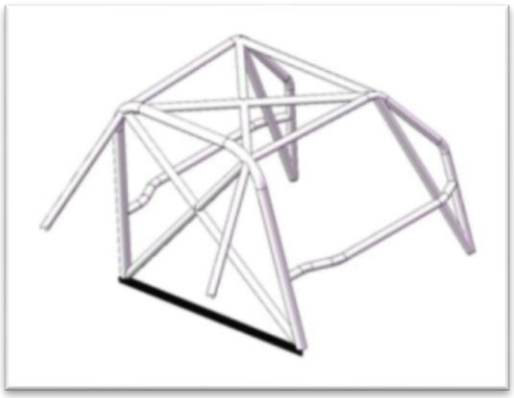


Figura 1.14 *Base arco principal.*

Fuente: *http://www.supercrosscar.com/*

Esta base semi-rectangular que se forma, será reforzada con dos diagonales a su mismo nivel y en su mismo material mínimo (*Figura 1.15 Base reforzada del habitáculo.*).



Figura 1.15 *Base reforzada del habitáculo.*

Fuente: *http://www.supercrosscar.com/*

b). Refuerzo salpicadero

A nivel del salpicadero, el arco delantero deberá estar unido por otro tubo según la *Figura 1.16 Refuerzo salpicadero.*)

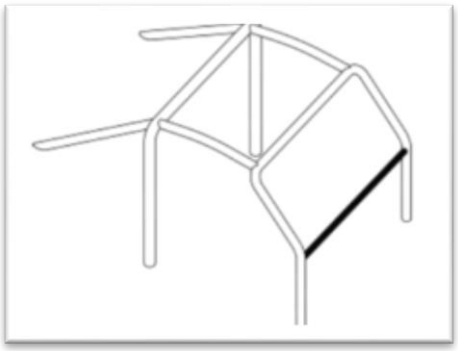


Figura 1.16 *Refuerzo salpicadero.*

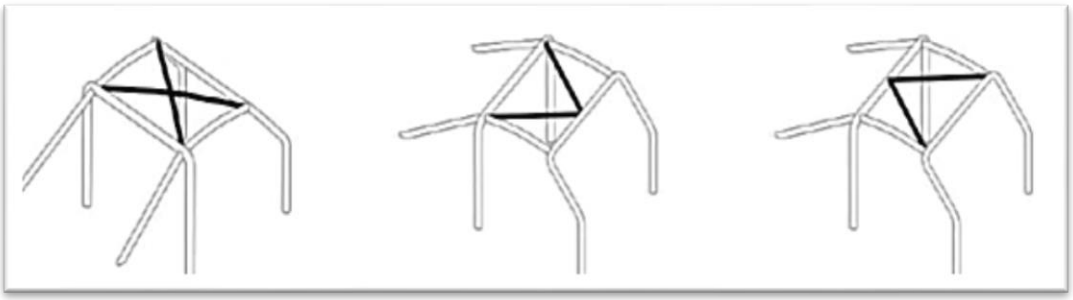
Fuente: *http://www.supercrosscar.com/*

c). Refuerzo techo

La parte superior de la jaula de seguridad debe cumplir con una de las figuras 1.12 a, b o c.

Los refuerzos pueden seguir la curva de la cubierta.

Para competiciones sin copiloto, en el caso de la *Figura 1.17 Refuerzos del techo.*), si se usa un sólo miembro diagonal, su conexión delantera debe estar en el lado del conductor.



a) **b)** **c)**

Figura 1.17 *Refuerzos del techo.*

Fuente: *http://www.supercrosscar.com/*

Además se podrán fijar barras de refuerzo adicional, sólo de acero, con diseño libre. Deberán ser conformes, como mínimo, a todos los requerimientos del Artículo 253.8 del Anexo J de la F.I.A. y estar ajustados a la carrocería con el fin de evitar una deformación importante de la misma en caso de impacto.

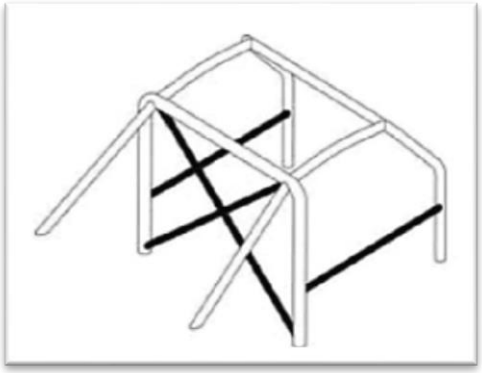


Figura 1.18 *Refuerzos adicionales de la estructura.*

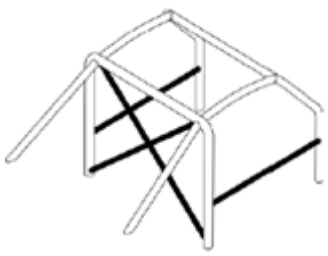
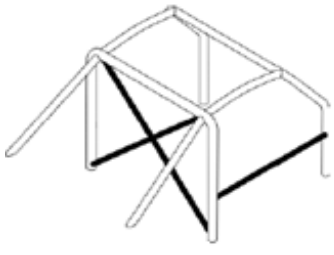
Fuente: *http://www.supercrosscar.com/*

Donde sea posible elegir, se recomienda el empleo de uniones por soldadura, en detrimento de las uniones atornilladas.

Todas las soldaduras deben ser de la mejor calidad posible y de una penetración total y preferentemente usando soldadura al arco en atmósfera de gas inerte.

- **Configuración mínima de la jaula de seguridad**

La configuración mínima de una jaula de seguridad se define como sigue:

Autos homologados	**Con copiloto**	**Sin copiloto**
Entre 01.01.2002 y 31.12.2004		

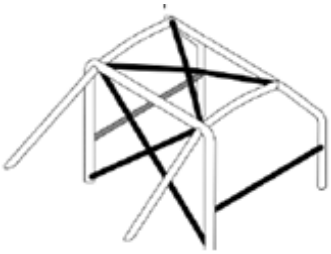
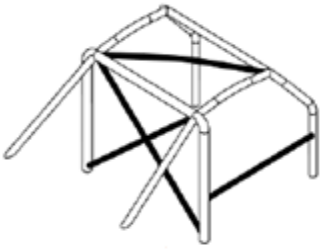
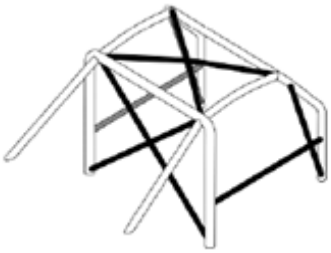
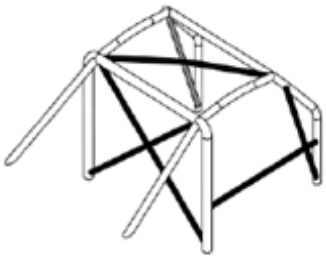
		o simétrico
Entre 01.01.2005 y 31.12.2005		 o simétrico
A partir de 01.01.2006		 o simétrico

Tabla 1.4 *Configuraciones jaula de seguridad.*
Fuente: *Reglamento técnico general 2013.R.F.E.d.A.*

- **Mamparas de seguridad**

Los vehículos deberán estar equipados de paredes anti fuego metálicas, sólidamente fijadas entre el piloto y los compartimentos de motor, depósito de combustible, y radiador, que impidan el paso de líquidos, llamas y gases del compartimento motor hacia el habitáculo.

Las mamparas deberán cubrir desde el piso.

Toda abertura practicada en la paredes anti fuego, deberá ser limitada a lo mínimo posible, permitiendo solamente el paso justo de los mandos y cables, recomendándose sellar posteriormente los orificios practicados.

Se prohíbe taladrar o poner remaches sobre el arco de seguridad, para fijar las paredes anti fuego o cualquier otro accesorio.

a). Mampara delantera

Se mantendrá una mampara completa de acero delantera. Podrá ser la de origen, o si no lo es, deberá estar fijada en el emplazamiento original (tolerancia 100 mm) y ser de un mínimo de 0,9 mm de espesor (tolerancia 0,1 mm). Deberá ir soldada y no remachada.

Este nuevo panel deberá ser totalmente estanco.

Se permitirá modificar la mampara delantera, o su emplazamiento parcialmente, para reposicionar el conjunto de pedales de freno, embrague y acelerador, pero el pie del piloto deberá permanecer siempre por detrás de la posición del tabique divisorio original.

No podrá ser atravesada por ninguna barra de refuerzo adicional a las indicadas en este reglamento.

b). Mampara trasera

Estará construida por chapa de acero de un mínimo de 1,5 mm de grosor o, si está realizada en aluminio, de un mínimo de 2,5 mm.

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL CHASIS TUBULAR

2 DISEÑO DEL CHASIS TUBULAR

A la hora de diseñar un chasis tubular es importante tener en consideración, múltiples y diversos factores como por ejemplo la resistencia estática, dinámica, fatiga, estabilidad de los elementos estructurales, montaje, fabricación, etc. En este proyecto se pretende desarrollar un estudio lineal estático, para determinar el comportamiento de la estructura al estar sometida a cargas de impacto.

2.1 Parámetros de diseño

El proceso de diseño de un chasis tubular en base a lo establecido en el reglamento R.F.E.d.A., descrito anteriormente, establece ciertas condiciones de seguridad, confiabilidad y confort adecuadas para el piloto, se debe cambiar varias veces la geometría del prototipo, hasta poder lograr las metas deseadas, por ello es primordial utilizar la ayuda de los diferentes programas computacionales. Todo prototipo determinado para un tipo de competición tiene sus propias características geométricas comunes, es necesario tomar en cuenta estas características como parámetros principales de diseño.

2.1.1 Triangularización

El triángulo es el único polígono que no se deforma cuando actúa sobre él una fuerza.

Al aplicar una fuerza de compresión sobre uno cualquiera de los vértices de un triángulo formado por tres miembros estructurales, automáticamente dos elementos que parten de dicho vértice quedan sometidas a dicha fuerza de compresión, mientras que la tercera quedará sometida a un esfuerzo de tracción. Cualquier otra forma geométrica que adopten los elementos de una estructura no será rígida o estable hasta que no se triangule.

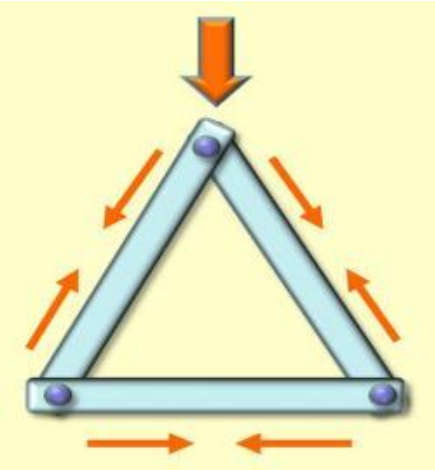


Figura 2.1 *Efecto triangulación.*

Fuente: *http://www.tecnerife.com/estructuras/estructuras_teoria.html*

La deformación debida a esfuerzo axial es mucho menor, en órdenes de magnitud, que la debida a momentos flectores y torsores. Por eso es preferible que se hagan trabajar las barras a esfuerzo axial antes que a momento flector y/o momento torsor. Esto se consigue con las estructuras triangularizadas. En cuanto al tipo de esfuerzo axial, es preferible la tracción a la compresión para evitar problemas de pandeo.



Figura 2.2 *Estructura triangularizada.*

Fuente: *Los autores.*

2.1.2 Criterios de espacio

Lo más importante que se debe tener en cuenta respecto al espacio es la evacuación del piloto en caso de accidente, así como la previa evaluación de su estado dentro del vehículo, siempre que se garantice una relativa comodidad en la conducción. Por ello, en cuanto al diseño, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Se debe garantizar la facilidad de acceso a los distintos elementos para tareas de mantenimiento.
- La estructura no debe inferir con el conductor en los movimientos que este realice.
- En los pedales se debe garantizar el espacio suficiente para poder manejarlos con relativa facilidad.

En el diseño del chasis y para determinar las necesidades de espacio que va a tener el mismo vamos a tomar en cuenta la regla del percentil 95%. El percentil quiere decir que el 95% de los hombres es de tamaño menor que este modelo y que solo es 5% es mayor.

DIMENSIONES ESTRUCTURALES DEL CUERPO DE HOMBRES Y MUJERES ADULTOS, EN PULGADAS Y CENTIMETROS, SEGUN EDAD, SEXO Y SELECCION DE PERCENTILES

		A		B		C		D		E		F		G	
		pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm
95	HOMBRES	36.2	91,9	47.3	120,1	68.6	174,2	20.7	52,6	27.3	69,3	37.0	94,0	33.9	86,1
	MUJERES	32.0	81,3	43.6	110,7	64.1	162,8	17.0	43,2	24.6	62,5	37.0	94,0	31.7	80,5
5	HOMBRES	30.8	78,2	41.3	104,9	60.8	154,4	17.4	42,2	23.7	60,2	32.0	81,3	30.0	76,2
	MUJERES	26.8	68,1	38.6	98,0	56.3	143,0	14.9	37,8	21.2	53,8	27.0	68,6	28.1	71,4

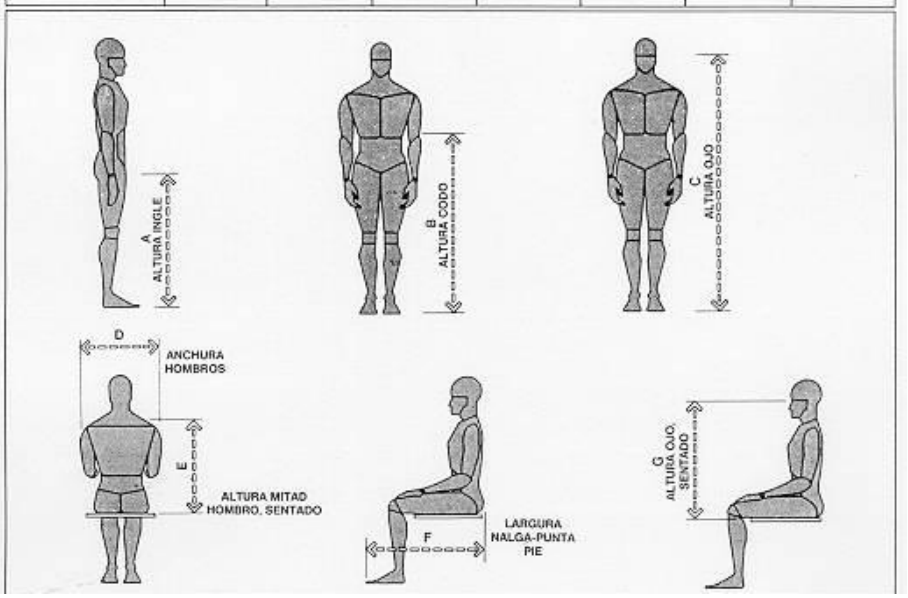


Figura 2.3 *Datos dimensionales del cuerpo humano.*

Fuente: *http://www.siafa.com.ar/notas/nota182/mandos.htm*

2.1.3 Rigidez Torsional

En ingeniería, la rigidez es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.[8] Por lo tanto se puede decir que la rigidez torsional de una estructura es la capacidad que tiene la estructura o el miembro para oponerse a la deformación. Esta viene expresada en Nm por grado de deformación ($N.m/°$).

$$k = \frac{M}{\theta}$$

En donde:

K= Rigidez torsional.

M= Momento.

Θ= Angulo de deformación.

2.2 Desarrollo de las fases de diseño

2.2.1 Diseño conceptual

En esta fase se realiza los primeros trazos a través de dibujos a mano para obtener una idea base de lo que será la modelación en el software.

Para empezar con el respectivo diseño, tomaremos los diferentes datos o lineamientos generales, como, el largo, ancho y alto del vehículo, y otras medidas que son parámetros ya establecidos en el reglamento de la R.F.E.d.A., descritos en el capítulo anterior.

[8] MOLINA, Jorge y TOVAR, José, *Diseño y construcción de un chasis tubular monoplaza tipo buggy para la participación de la ESPE-L en la formula automovilística universitaria*, Tesis E.S.P.E. Facultad de Ingenieria Mecanica Automotriz, Latacunga, Julio 2009.

Así también tomaremos el criterio de espacio, de acuerdo a los diferentes elementos que serán instalados en el vehículo tales como suspensión, tren de potencia, motor, dirección y frenos los cuales deben estar fijos o anclados a los diferentes soportes del chasis. Luego de algunas de nuestras ideas y correcciones en las formas geométricas llegamos a obtener un diseño que cumple con los requerimientos estructurales dados por el actual reglamento de la R.F.E.d.A. Véase Figura 2.4.

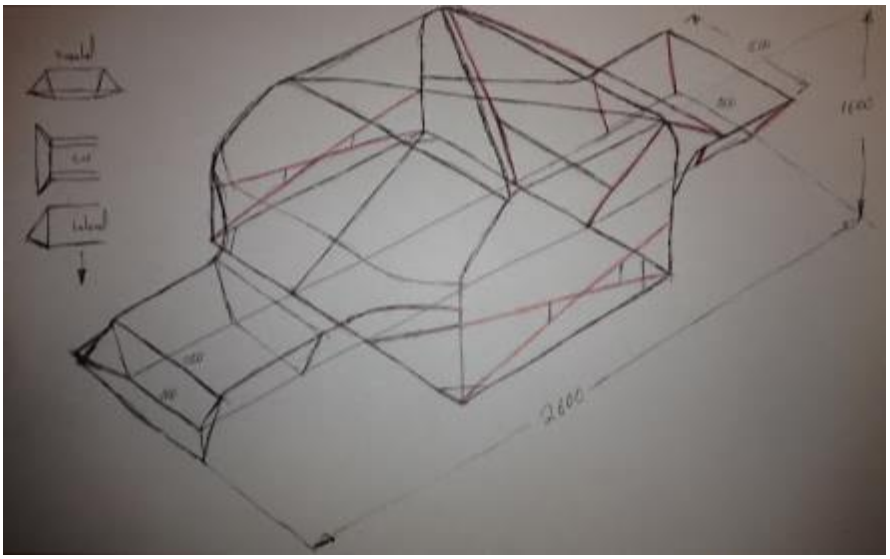


Figura 2.4 *Diseño conceptual del chasis.*

Fuente: *Los autores.*

2.2.2 Modelado geométrico asistido por computador

Una vez obtenido diseño conceptual según las dimensiones generales y los elementos que irán montados en el chasis, procedemos a realizar el modelado geométrico con la ayuda del software computacional.

En el software CAD podremos realizar el modelado en 3D y en el software CAE (Ansys 14.5) el respectivo análisis de la estructural del chasis.

2.2.2.1 Modelado geométrico del chasis tubular

En primer lugar se realizará un croquis mediante líneas que será la base para la construcción de los miembros estructurales. Estas líneas posteriormente podrán ser

modificables en medida. En las siguientes figuras se mostrará el diseño en diferentes vistas, comenzando con una vista isométrica y seguidamente con vistas frontal, lateral y superior, las cuales darán una idea clara del diseño de la estructura.

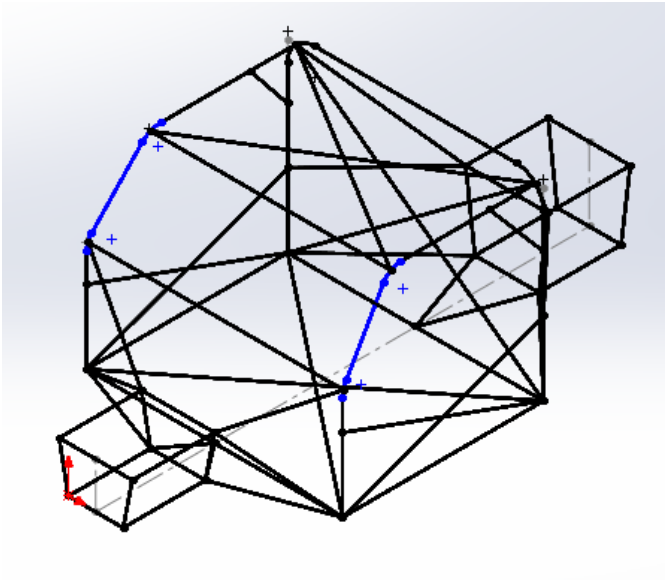


Figura 2.5 *Vista isométrica de la estructura.*

Fuente: *Los autores.*

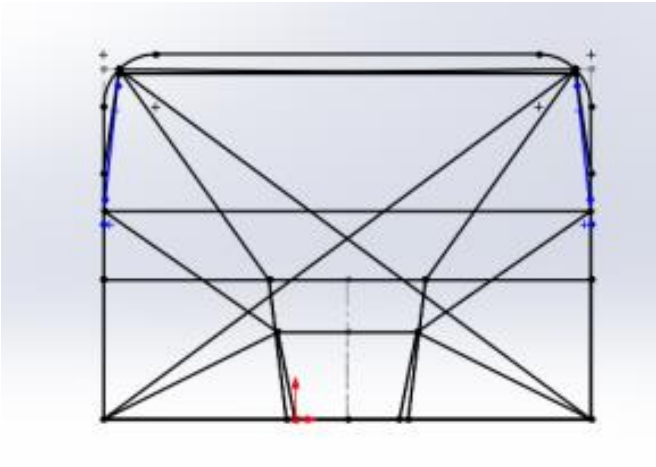


Figura 2.6 *Vista frontal de la estructura.*

Fuente: *Los autores.*

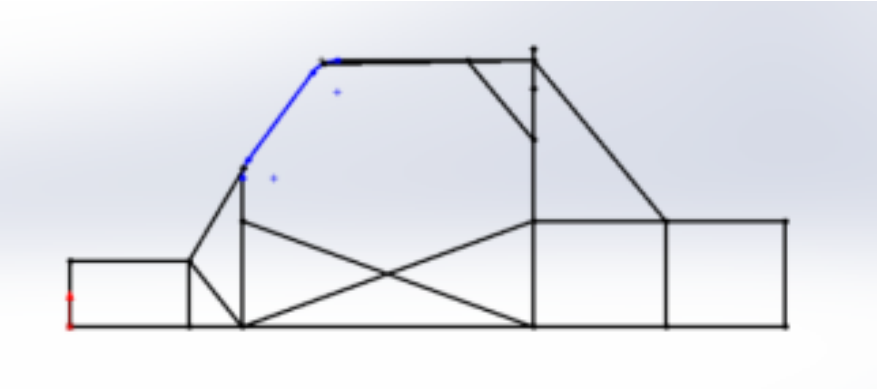


Figura 2.7 *Vista lateral de la estructura.*

Fuente: *Los autores.*

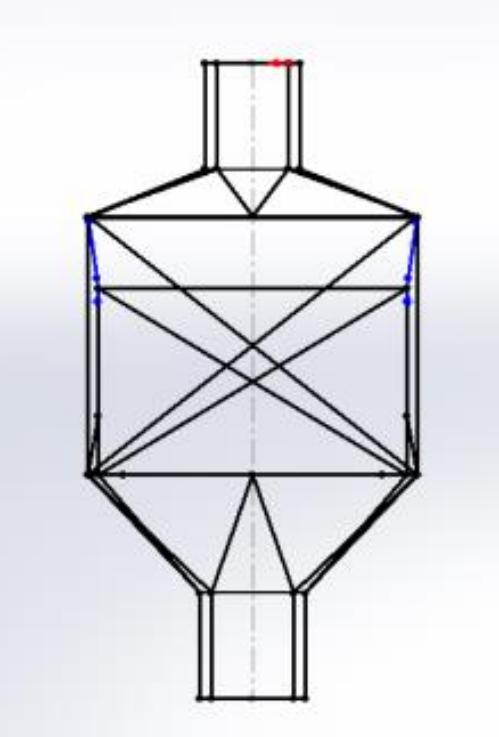


Figura 2.8 *Vista superior de la estructura.*

Fuente: *Los autores.*

Una vez terminado el modelo en 3D, procedemos a definir el perfil y diámetro de cada elemento que conforma el chasis, en función del reglamento y al material que actualmente se consigue en el país. En la Figura 2.9 Chasis como estructura.), se puede observar el chasis como un elemento estructural con diferentes colores, los cuales están catalogados en la Tabla 2.1 Codificación de colores.).

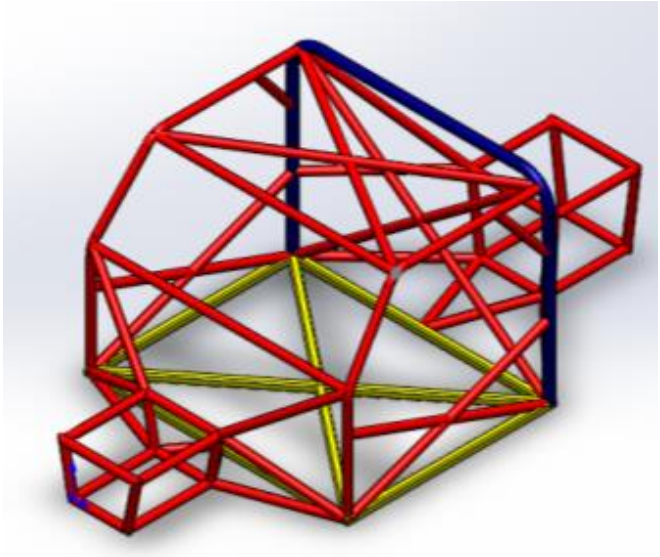


Figura 2.9 *Chasis como estructura.*

Fuente: *Los autores.*

COLOR	DIÁMETRO / ESPESOR (mm)	PERFILTUBULAR
Rojo	38.1 x 2	Redondo
Azul	50.8 x 2	Redondo
Amarillo	38.1 x 38.1 x 2	Cuadrado

Tabla 2.1 *Codificación de colores.*

Fuente: *Los autores.*

2.2.3 Análisis del chasis

2.2.3.1 Método de Elementos Finitos (MEF)

El análisis por elementos finitos es un método numérico usado para pronosticar el comportamiento de un objeto del mundo real, ante un conjunto de acciones tales como fuerzas, campos de temperatura, etc.

Este método consiste en discretizar una región continua, dando lugar a una red de nodos conectados entre sí a través de formas geométricas simples llamadas elementos finitos. Así las propiedades del material y sus ecuaciones constitutivas son consideradas sobre esos elementos según una serie de cargas y restricciones previamente aplicadas.[9]

Para la resolución mediante el método de elementos finitos, se seguirán las siguientes etapas:

- **Preproceso.** En esta etapa se construye el modelo y se indica la información necesaria, como: propiedades del material, condiciones de contorno (cargas y desplazamientos) y discretización del dominio en elementos finitos (mallado).

- **Resolución.** Esta etapa se caracteriza por realizar el cálculo numérico en función de los parámetros anteriormente preestablecidos. La solución del sistema de ecuaciones generado, permitirá conocer el comportamiento del fenómeno que se está pretendiendo estudiar.

- **Posproceso.** Esta última etapa se realiza la visualización de los resultados.

2.2.3.2 Análisis estático

El análisis estático determina el comportamiento del elemento cuando se aplican cargas externas que permanecen constantes (sin variación en el tiempo). Dicho estudio calcula esfuerzos, deformaciones, desplazamientos y fuerza de reacción generados por las cargas aplicadas.

2.2.3.2.1 Elementos tipo viga (beam)

El estudio a realizar en el modelo será un análisis estático, para esto en el software Ansys 14.5 se considerará cada miembro estructural como si fuera una viga.

Cada elemento tipo viga se define como una línea recta que conecta dos juntas en sus extremos. Se modela un miembro estructural curvado con un número concreto de

[9] JIMENEZ, Alberto, *Diseño y construcción de un chasis tipo carcross mediante el método de elementos finitos*, Tesis Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2010.

vigas rectas. La sección transversal de una viga es constante a lo largo de toda su longitud.

Los elementos de viga soportan cargas axiales, cortantes, flexionantes y de torsión.

La relación entre desplazamiento y fuerzas son calculadas considerando la geometría de la viga y las propiedades del material.

2.2.3.3 Ensayos establecidos por el reglamento

Una vez terminado el diseño es de importancia constatar que la estructura es apta para su construcción, para lo cual es importante realizar un análisis previo que permita validar el diseño. Dicho estudio será realizado mediante el software Ansys 14.5.

El reglamento técnico y de homologación de la R.F.E.d.A, expone que para verificar la estructura, se deberán realizar los análisis de acuerdo a las siguientes solicitaciones:

a). Resistir 2 veces el peso del vehículo lateralmente. (2P)

b). Resistir 6 veces el peso del vehículo longitudinalmente en ambos sentidos. (6P)

c). Resistir 8 veces el peso del vehículo verticalmente. (8P)

En nuestro caso, el peso del vehículo resulta complicado calcularlo ya que no se cuenta con la totalidad de los elementos que lo componen, por lo que se ha estimado un peso aproximado de 390 kg, que servirán como base para la realización del análisis.

Además en la totalidad de la estructura no deberá tener una deformación superior a los siguientes valores en función de las solicitaciones de carga:

Caso a). 50 mm, medidos bajo carga, a lo largo del eje de aplicación de la carga.

Caso b). 100 mm, medidos bajo carga, a lo largo del eje de aplicación de la carga.

Caso c). 50 mm, medidos bajo carga, a lo largo del eje de aplicación de la carga.

2.2.4 Simulación y análisis de resultados

2.2.4.1 Criterio de Von Mises

Es un criterio de falla para materiales dúctiles, basado principalmente en la comparación de las magnitudes que se producen durante la realización de un ensayo de tracción (compresión) cuando se alcanza la rotura, con magnitudes generadas durante cualquier estudio de tensiones.

El criterio de Von Mises pretende verificar que la estructura soportará las cargas aplicadas. Es un indicador de buen diseño para los materiales que se está usando.

2.2.4.2 Material

Según la RFEdA y el anexo J de la FIA, el tubo ocupado para la construcción de los arcos de seguridad será un acero al carbono estirado en frio, sin soldadura cuyo contenido máximo de carbono será 0.3%. Deberá tener una resistencia mínima a la tracción de 350 Mpa y serán normalizados NBK, por su facilidad al curvar.

En nuestro caso por no contar en el medio con el tubo antes especificado, se ha optado por un tubo de acero estructural ASTM A500, cuyas propiedades se muestran en la Tabla 2.2 Propiedades del acero estructural ASTM A500) siguiente:

Densidad	7.85 g/cm^3
Esfuerzo de cedencia (σ_y)	317 MPa
Esfuerzo último de tracción (σ_u)	427 MPa
Módulo de Young	200 GPa
Coeficiente de Poisson	0.30

Tabla 2.2 *Propiedades del acero estructural ASTM A500*

Fuente: *http://www.unicon.com.ve/estructural_tubos_estructurales.html*

Antes de realizar el análisis estructural es importante mencionar que en el desarrollo de este trabajo se ha realizado una propuesta de diseño inicial, la cual ha sido rediseñada hasta llegar a una propuesta de diseño final que cumple los requisitos de la normativa. A continuación se muestra el análisis estructural estático de uno de los primeros diseños y se lo compara con el diseño final.

2.2.4.3 Análisis Lateral

Para llevar a cabo este análisis, se ha decidido aplicar la carga en la parte lateral izquierda con dirección al eje 'x' y mantener fija la parte lateral derecha.

La carga que debe soportar la estructura según el reglamento, es de 2 veces el peso del vehículo, por lo tanto:

$$2P = 2 \times 390Kg \times 9{,}81m/s^2$$

$$= \mathbf{7651{,}8\ N}$$

A continuación se realiza el análisis y los resultados obtenidos son:

2.2.4.3.1 Propuesta de diseño inicial

Corresponde a uno de las primeras estructuras que se ha hecho, la cual servirá como base para comparar con la última estructura desarrollada.

- **Aplicación de la carga y restricciones**

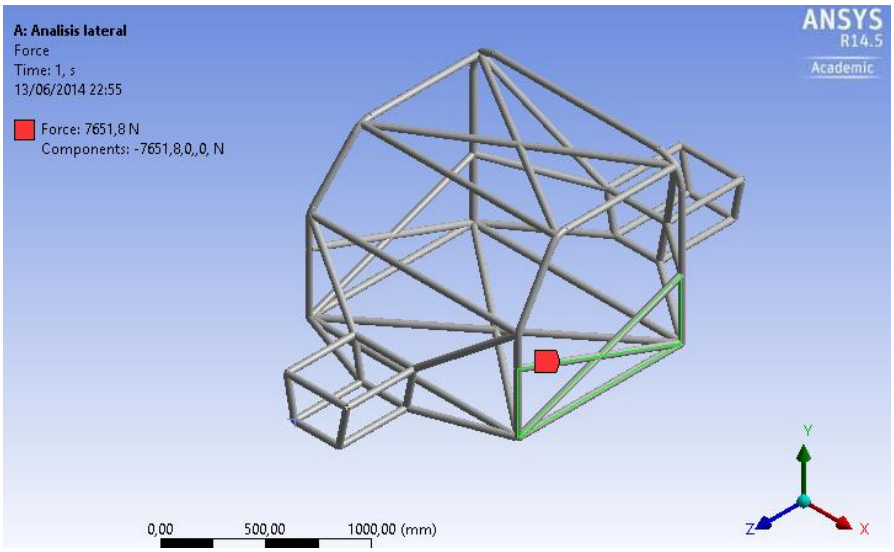


Figura 2.10 *Aplicación de la carga lateral propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

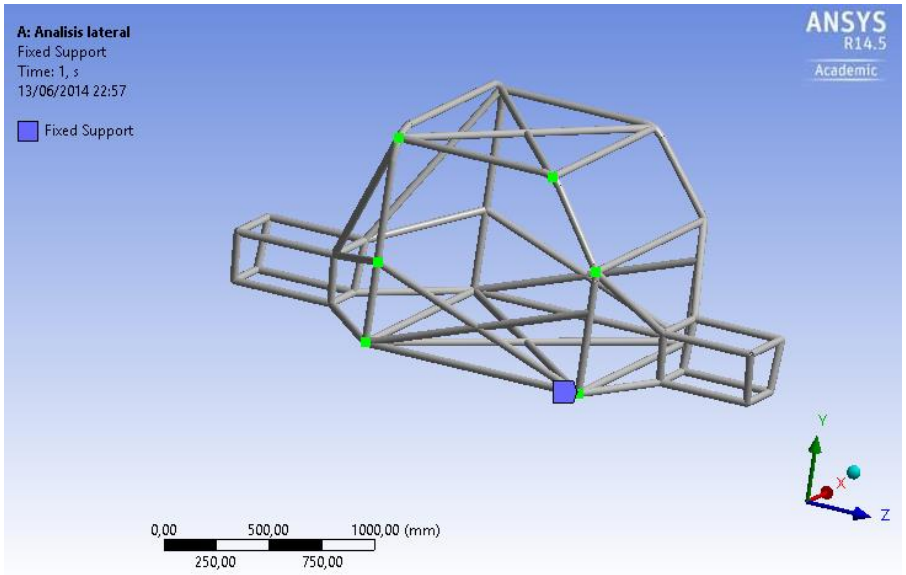


Figura 2.11 S*oportes fijos parte lateral propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

- **Máximo esfuerzo**

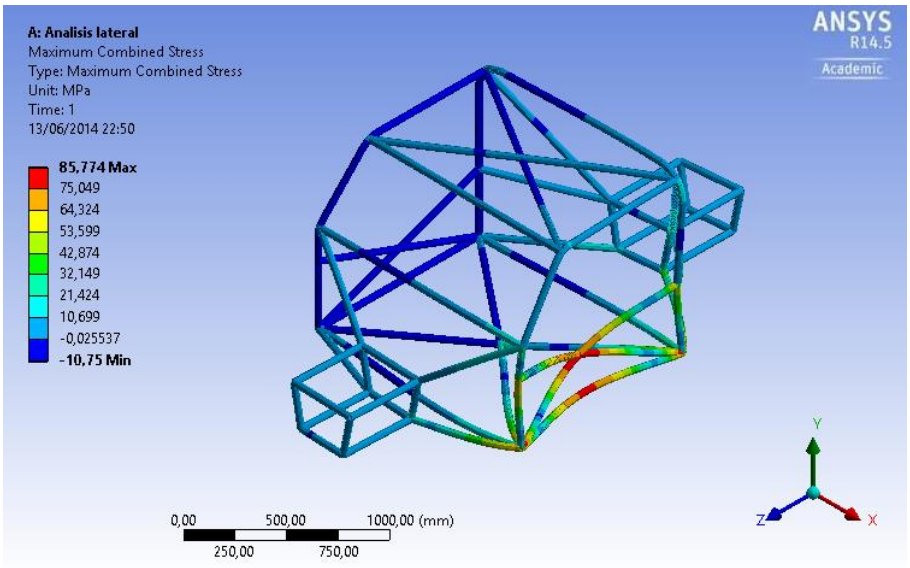


Figura 2.12 *Máximo esfuerzo con carga lateral propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

En la Figura 2.12 se observa que el esfuerzo máximo que soporta la estructura lateralmente es de 85,77 MPa, cuyo valor es inferior al límite de cedencia del material que es de 317 Mpa, por lo que se da como válido el análisis de forma lateral.

- **Deformación total**

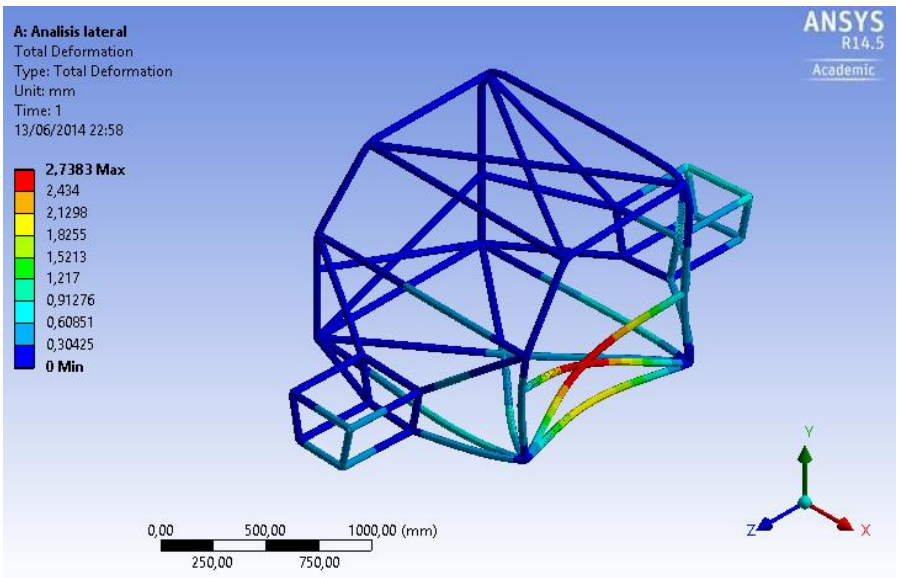


Figura 2.13 *Deformación parte lateral propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

En la figura se observa una deformación de 2,738 mm en el eje x, cuyo valor se encuentra por debajo de los 50 mm que establece la normativa, por lo que se da como aceptado el análisis.

- **Factor de seguridad**

$$FS = \frac{Esfuerzo\ de\ cedencia}{Esfuerzo\ permisible}$$

$$FS = \frac{317}{85{,}77}$$

$$FS = 3{,}69$$

2.2.4.3.2 Propuesta de diseño final

La propuesta de diseño final corresponde a una estructura rediseñada a partir de la propuesta de diseño inicial, en esta se muestran algunos cambios así como también la adición de otros miembros estructurales.

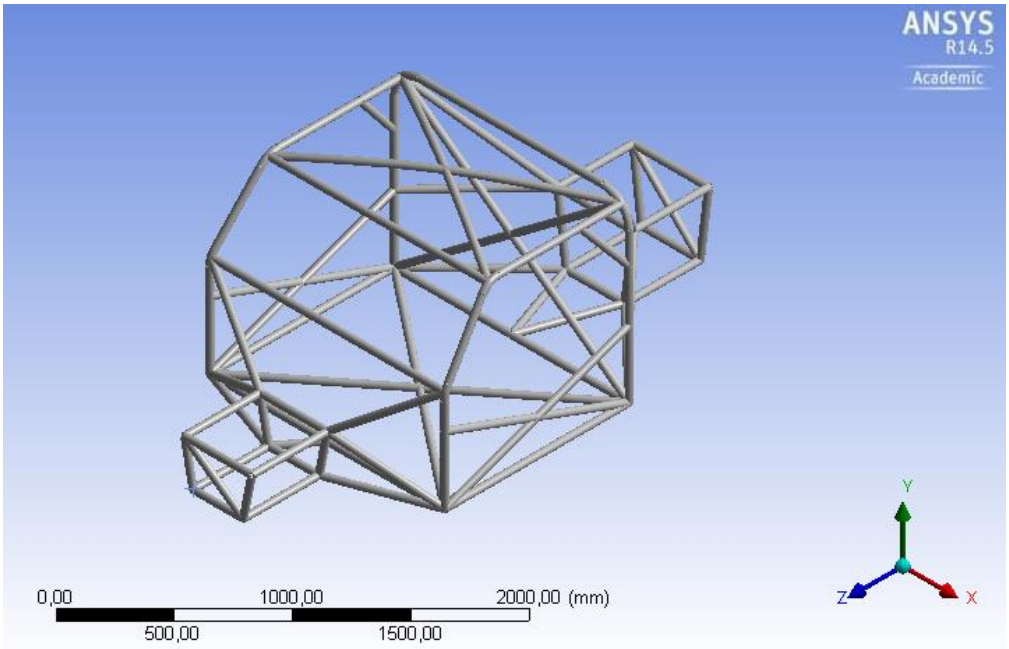


Figura 2.14 *Propuesta de diseño final.*

Fuente: *Los autores.*

- **Aplicación de la carga y restricciones**

  En las figuras siguientes se observa la ubicación de la carga y las restricciones para el análisis. Las restricciones se han ubicado al lado contrario de la aplicación de la carga o fuerza.

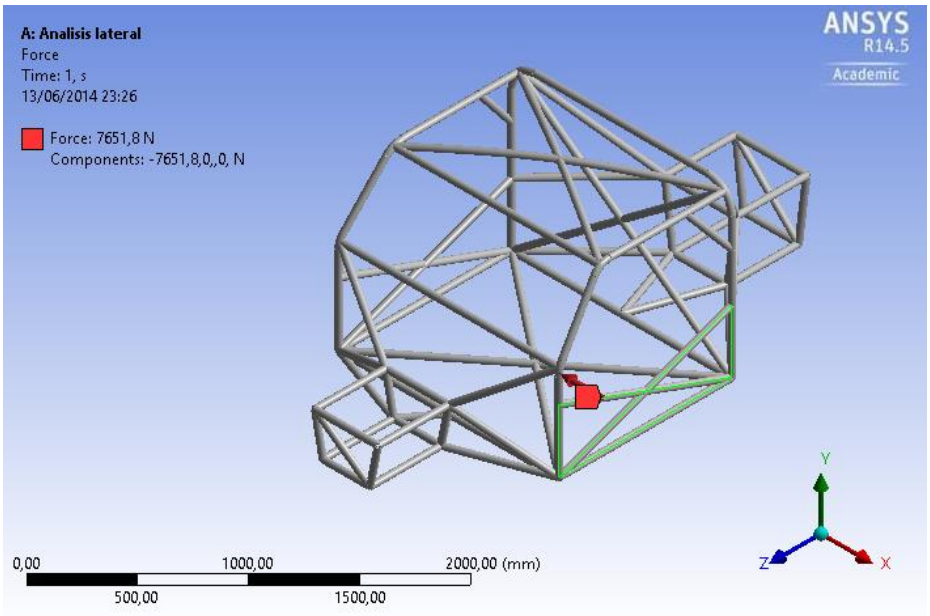


Figura 2.15 *Aplicación carga lateral propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

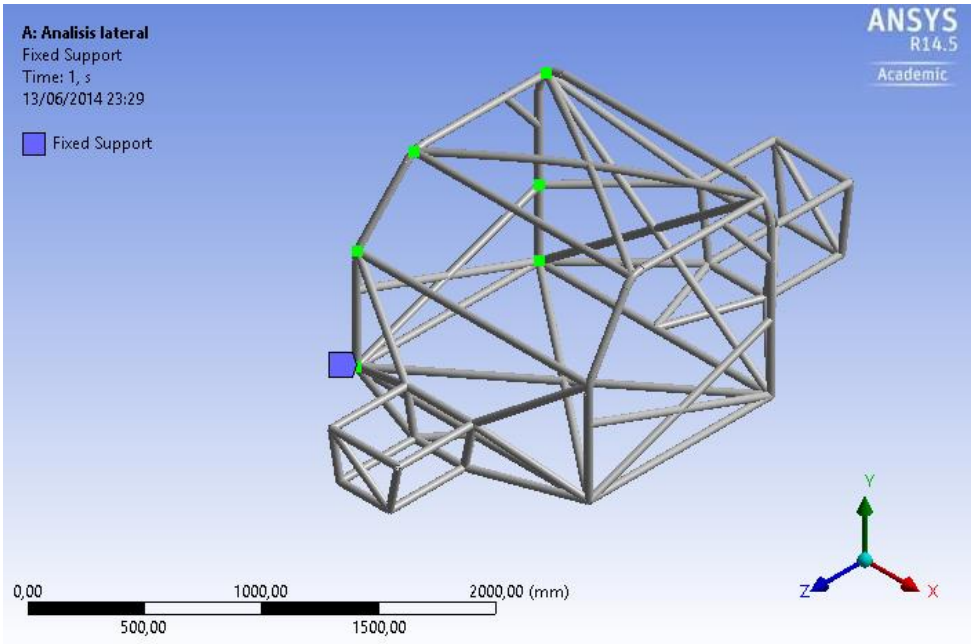


Figura 2.16 S*oportes fijos parte lateral propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

- **Máximo esfuerzo**

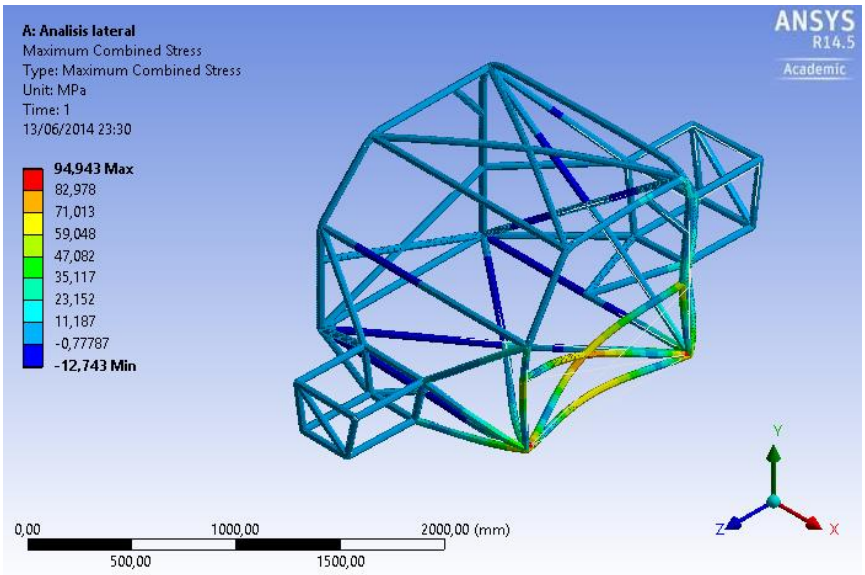


Figura 2.17 *Máximo esfuerzo con carga lateral propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

La figura muestra un esfuerzo máximo de 94,94 MPa situado en la parte lateral, cuyo valor es menor al esfuerzo de cedencia que soporta el material que es de 317 MPa, por que se da como válido el estudio realizado.

- **Deformación total**

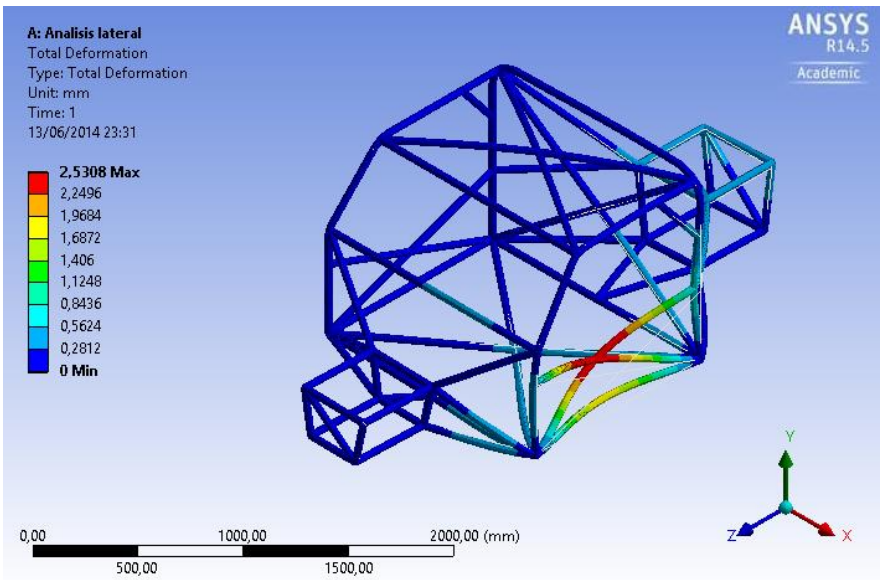


Figura 2.18 *Deformación parte lateral propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

La propuesta de diseño final tiene una deformación en dirección al eje X de 2.53 mm que es válido, por ser inferior al requerimiento de 50 mm de la normativa.

- **Factor de seguridad**

$$FS = \frac{Esfuerzo\ de\ cedencia}{Esfuerzo\ permisible}$$

$$FS = \frac{317}{94{,}94}$$

$$FS = 3{,}33$$

2.2.4.4 Análisis longitudinal

Según las exigencias de la normativa, el análisis de carga longitudinal se llevará a cabo en dos partes, es decir, se analizará la estructura tanto en la parte frontal como en la posterior.

Considerando la solicitación de la normativa, la carga o fuerza aplicada será de 6 veces el peso del vehículo, por la que tenemos:

$$6P = 6 \times 390Kg \times 9{,}81m/s^2 = \mathbf{22955,\ 4\ N}$$

2.2.4.4.1 Análisis frontal

La carga se encuentra ubicada en la parte delantera de la estructura y los soportes fijos se los ha ubicado en la posterior.

A continuación se realiza el análisis y los resultados obtenidos son:

2.2.4.4.1.1 Propuesta de diseño inicial

- **Aplicación de la carga y restricciones**

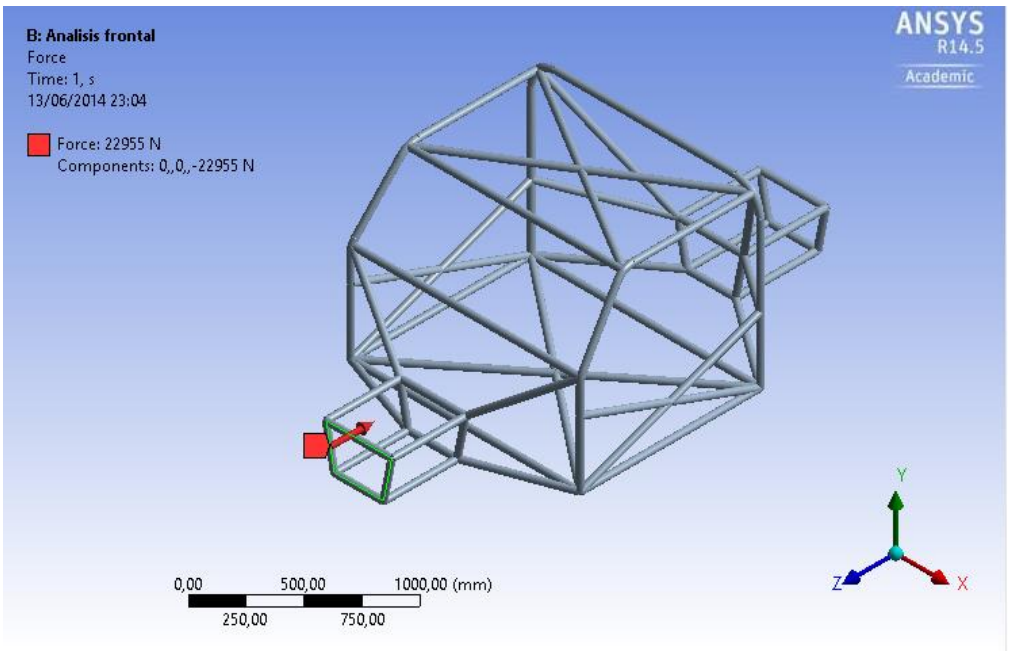


Figura 2.19 *Aplicación carga frontal propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

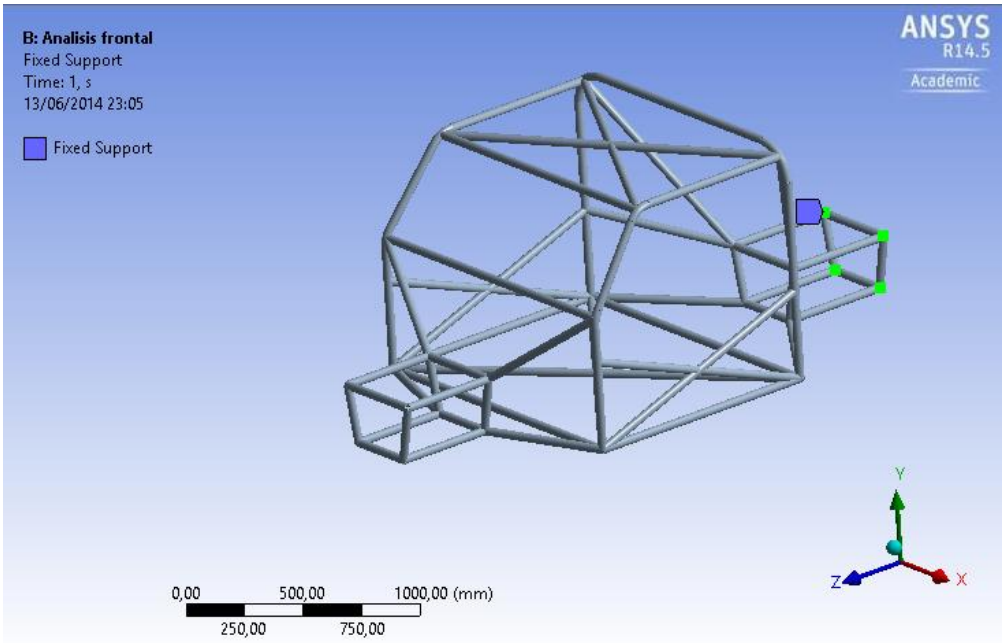


Figura 2.20 S*oportes fijos parte posterior propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

- **Máximo esfuerzo**

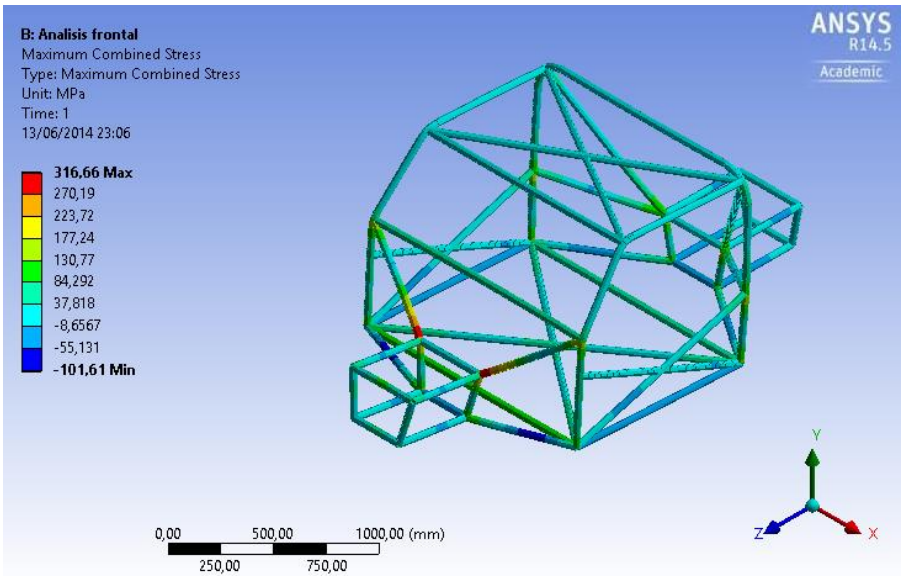


Figura 2.21 *Máximo esfuerzo con carga frontal propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

En la Figura 2.21 observamos que el esfuerzo máximo que soporta el diseño, aplicando una carga frontal, es de 316,66 MPa, cuyo valor es cercano al límite de cedencia del material, que es de 317 MPa.

- **Deformación total**

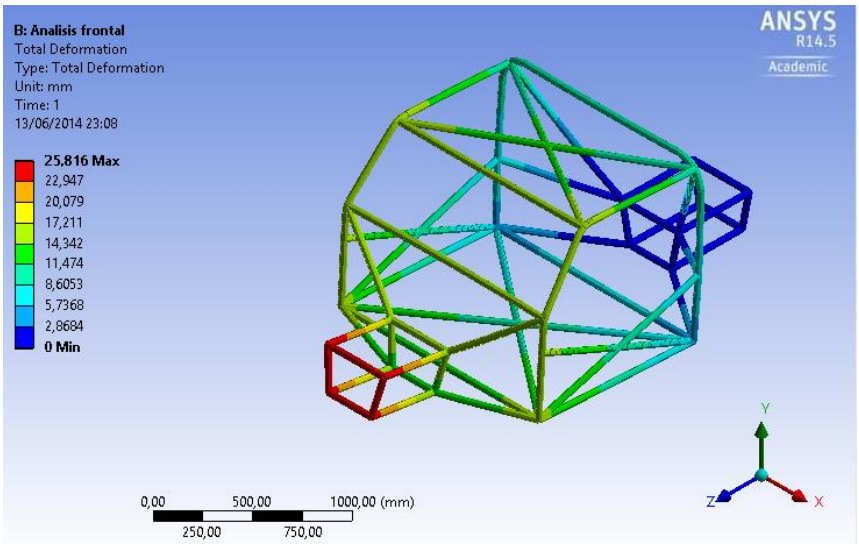


Figura 2.22 *Deformación parte frontal propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

En el análisis se observa una deformación en la parte frontal de 25,81 mm cuyo valor es menor al requerimiento de la normativa, que es de 100 mm.

- **Factor de seguridad**

$$FS = \frac{Esfuerzo\ de\ cedencia}{Esfuerzo\ permisible}$$

$$FS = \frac{317}{316{,}66}$$

$$FS = 1{,}00$$

A pesar que los esfuerzos máximos no sobrepasan el límite de cedencia del material es importante realizar un rediseño de la estructura, ya que esto permitirá alcanzar un mejor factor de seguridad y una mayor rigidez de la estructura, haciéndola más segura y confiable al momento de un impacto frontal.

2.2.4.4.1.2 Propuesta de diseño final

En esta propuesta se ha mejorado la triangulación de los miembros estructurales de la parte frontal, con el fin de obtener una mejor rigidez del chasis.

- **Aplicación de la carga y restricciones**

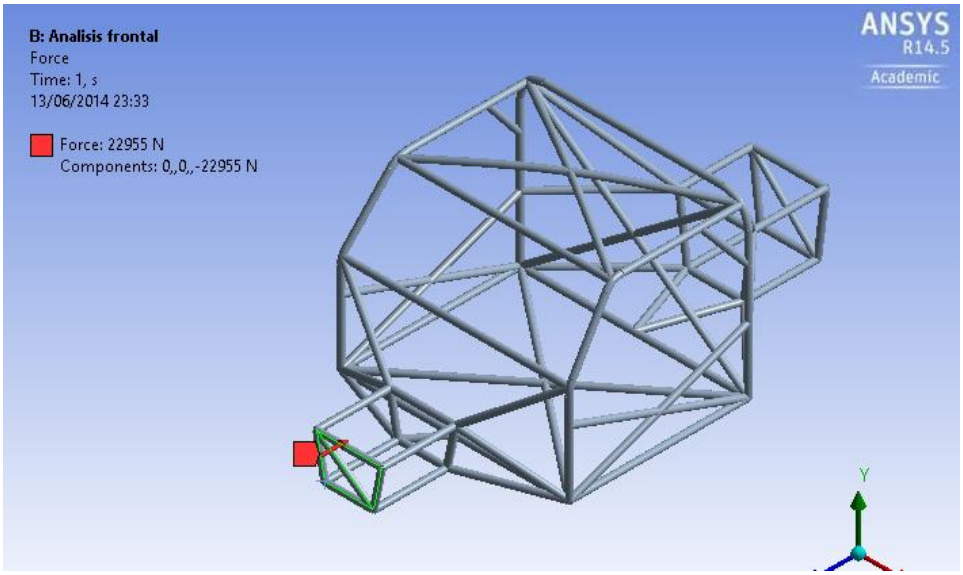


Figura 2.23 *Aplicación carga frontal propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

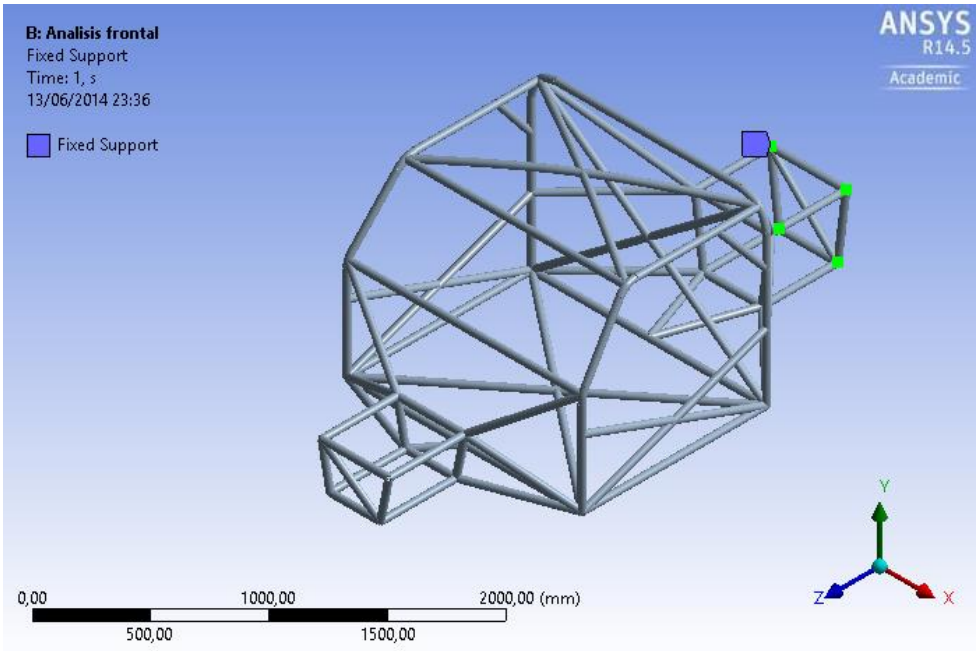


Figura 2.24 *Soportes fijos parte posterior propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

- **Máximo esfuerzo**

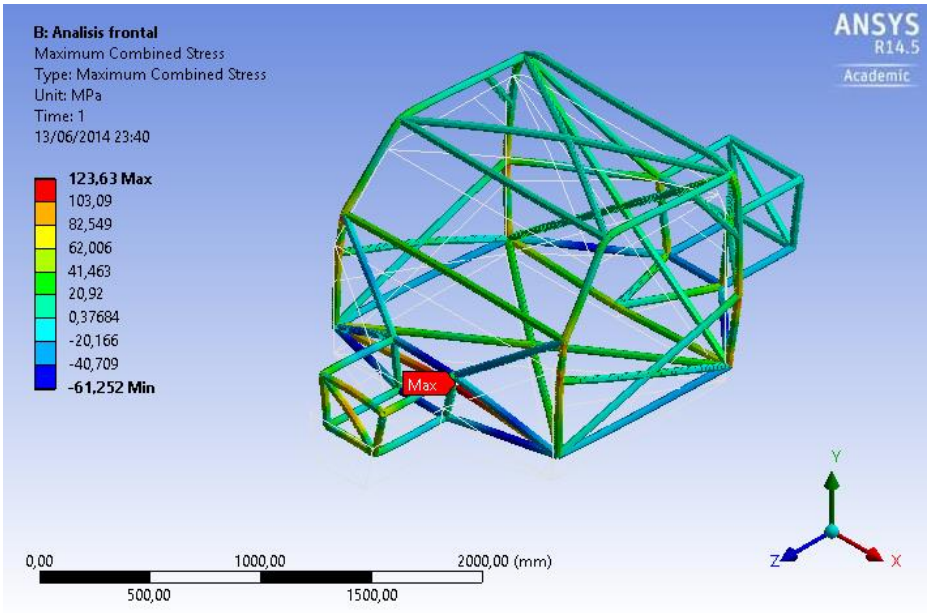


Figura 2.25 *Máximo esfuerzo con carga frontal propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

En la propuesta de diseño se observa un esfuerzo máximo que soporta la estructura de 123,63 MPa, valor que se encuentra por debajo del esfuerzo de

fluencia que es de 317 MPa, por lo que se da como aceptable el estudio y a su vez el diseño.

- **Deformación total**

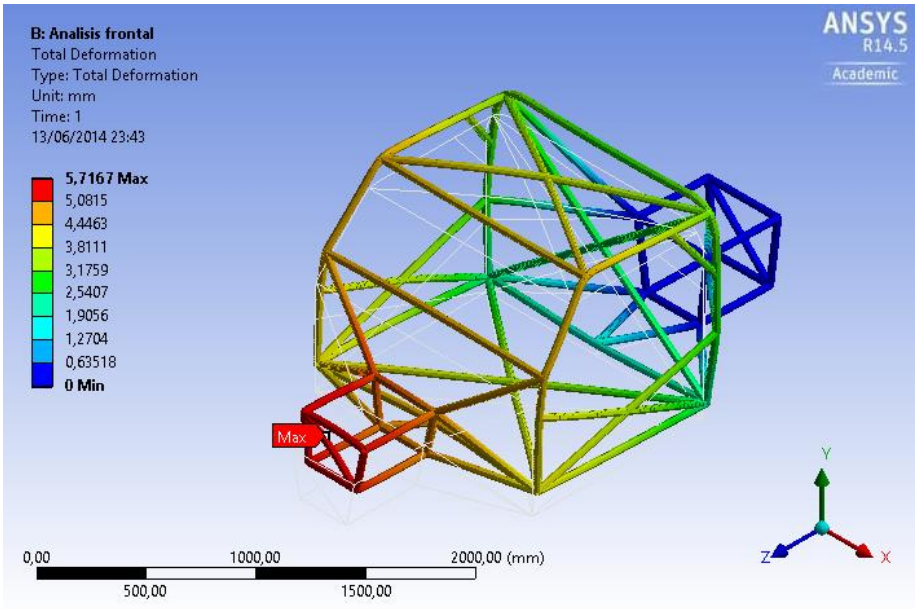


Figura 2.26 *Deformación parte frontal propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

La deformación que sufre la estructura en la parte frontal es de 5,71 mm aplicando una carga distribuida de 22955,4 N, cuyo valor de deformación es inferior al valor que establece la normativa que es de 100 mm de forma longitudinal.

- **Factor de seguridad**

$$FS = \frac{Esfuerzo\ de\ cedencia}{Esfuerzo\ permisible}$$

$$FS = \frac{317}{123{,}63}$$

$$FS = 2{,}56$$

Como se observa, el factor de seguridad se ha incrementado debido a la implementación de algunos miembros estructurales en la parte frontal, lo que significa que la estructura será más segura al instante de su fabricación.

2.2.4.4.2 Análisis posterior

La carga se encuentra ubicada en la parte posterior, en dirección al eje z en sentido positivo y los soportes fijos se los ha ubicado en la frontal de la estructura. La fuerza aplicada para la simulación es de 22955, 4 Newton, calculada anteriormente.

A continuación se realiza el análisis y los resultados obtenidos son:

2.2.4.4.2.1 Propuesta de diseño inicial

- **Aplicación de la carga y restricciones**

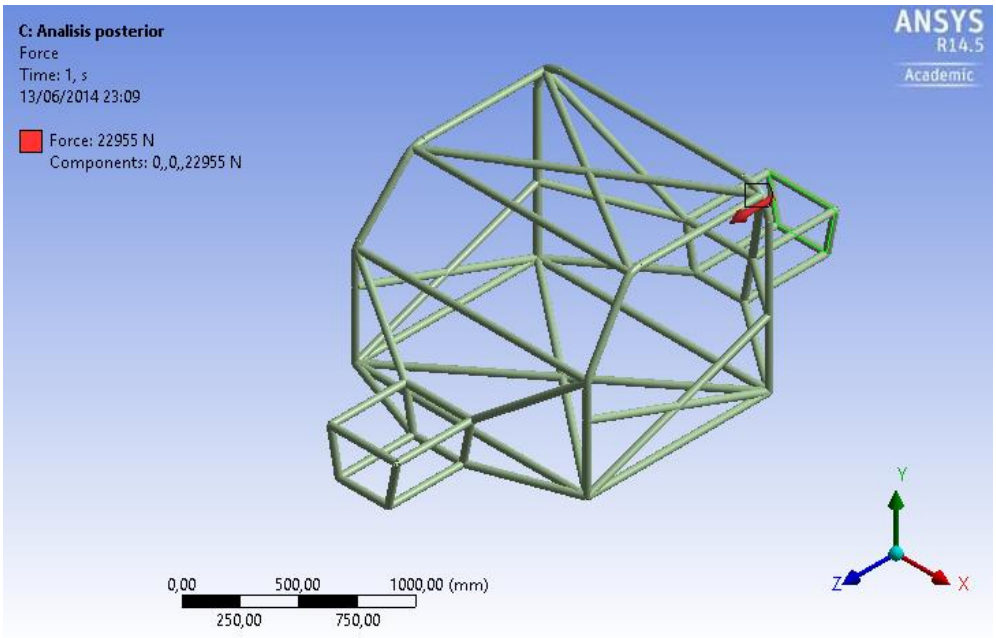


Figura 2.27 *Aplicación carga posterior propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

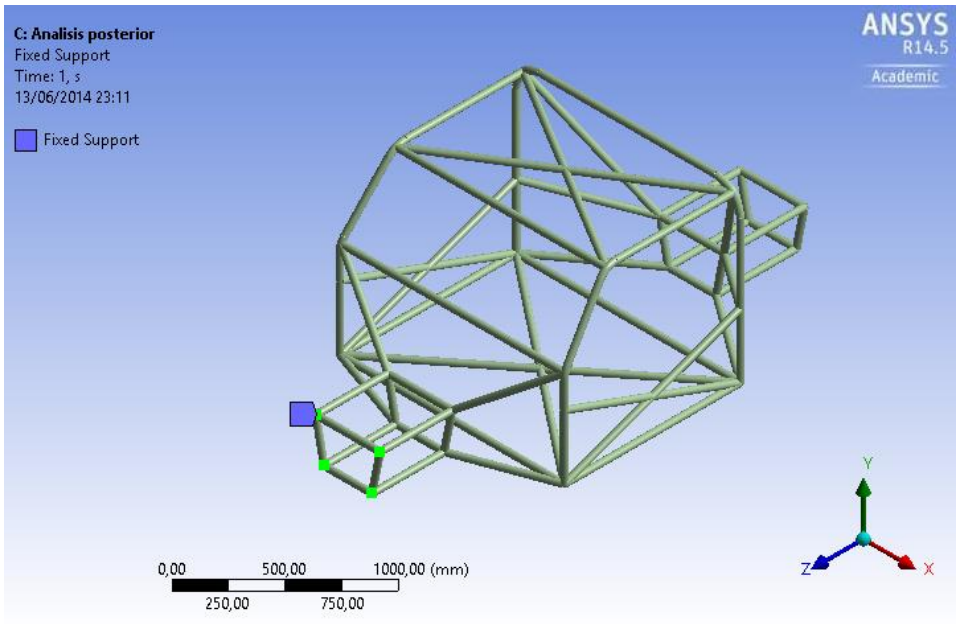


Figura 2.28 *Soportes fijos parte frontal propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

- **Máximo esfuerzo**

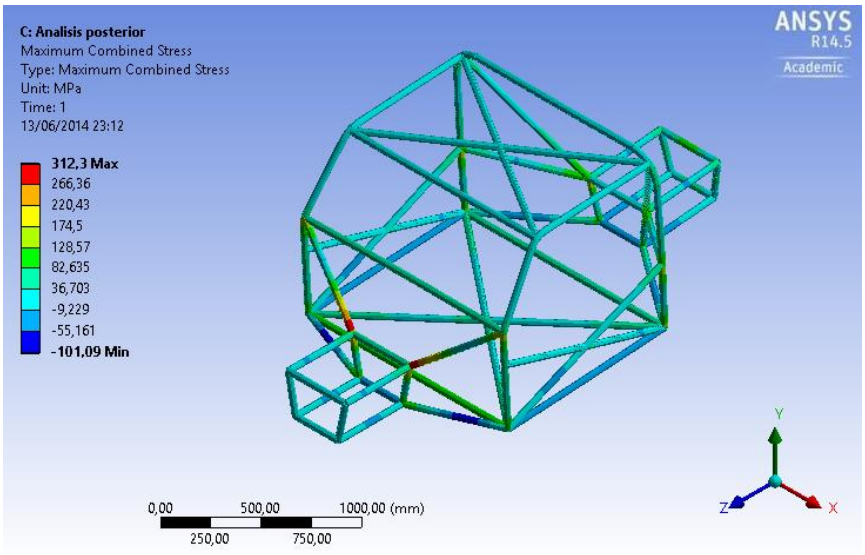


Figura 2.29 *Máximo esfuerzo con carga posterior propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

El esfuerzo máximo soportado por la estructura con una carga en la parte posterior es de 312,3 MPa, cuyo valor es inferior al esfuerzo de fluencia del

material, que es de 317 MPa, por lo tanto podemos decir que el diseño es válido. A pesar que los esfuerzos máximos no sobrepasan el límite de cedencia del material es importante realizar un rediseño de la estructura, ya que esto permitirá alcanzar un mejor factor de seguridad y una mayor rigidez de la estructura en la parte posterior.

.**Deformación total**

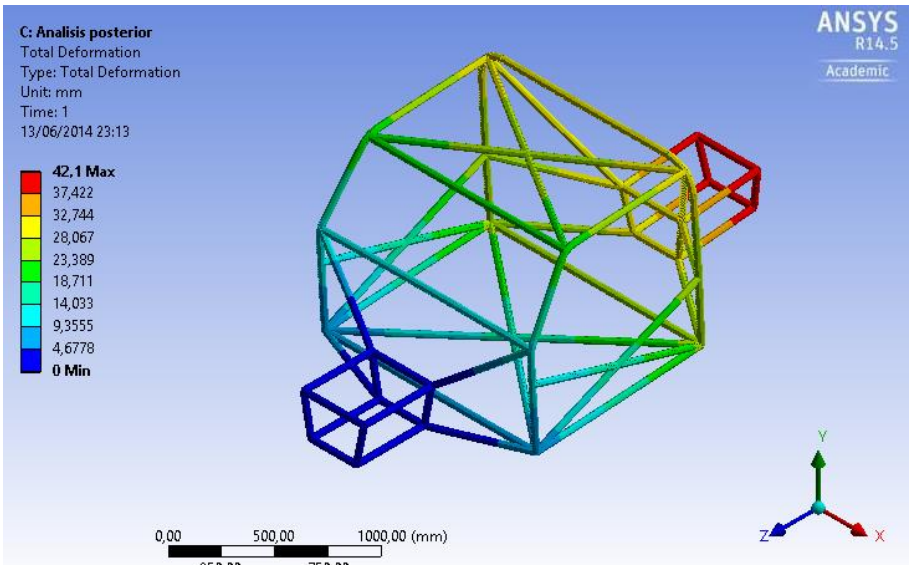


Figura 2.30 *Deformación parte posterior propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

La deformación máxima de la parte posterior de la estructura es de 42,1 mm, cuyo valor es inferior al indicado por la normativa, que es de 100mm. Podemos decir que el diseño cumple las exigencias de la normativa.

- **Factor de seguridad**

$$FS = \frac{Esfuerzo\ de\ cedencia}{Esfuerzo\ permisible}$$

$$FS = \frac{317}{312{,}3}$$

$$FS = 1{,}02$$

2.2.4.4.2.2 Propuesta de diseño final

En la propuesta de diseño final, en lo que respecta a la parte posterior, se ha optado por mejorar la triangulación con el fin de conseguir un mejor factor de seguridad.

- **Aplicación de la carga y restricciones**

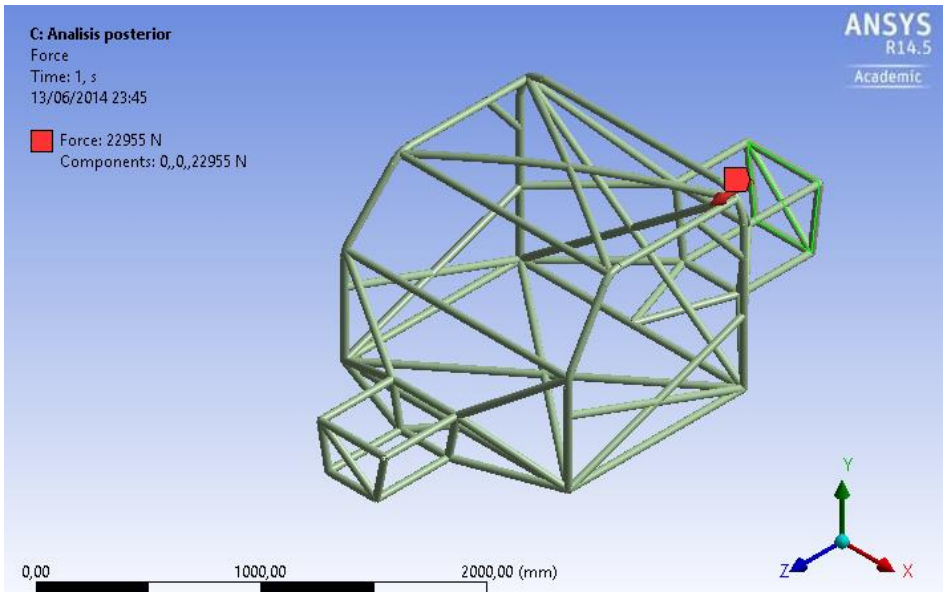


Figura 2.31 *Aplicación carga posterior propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

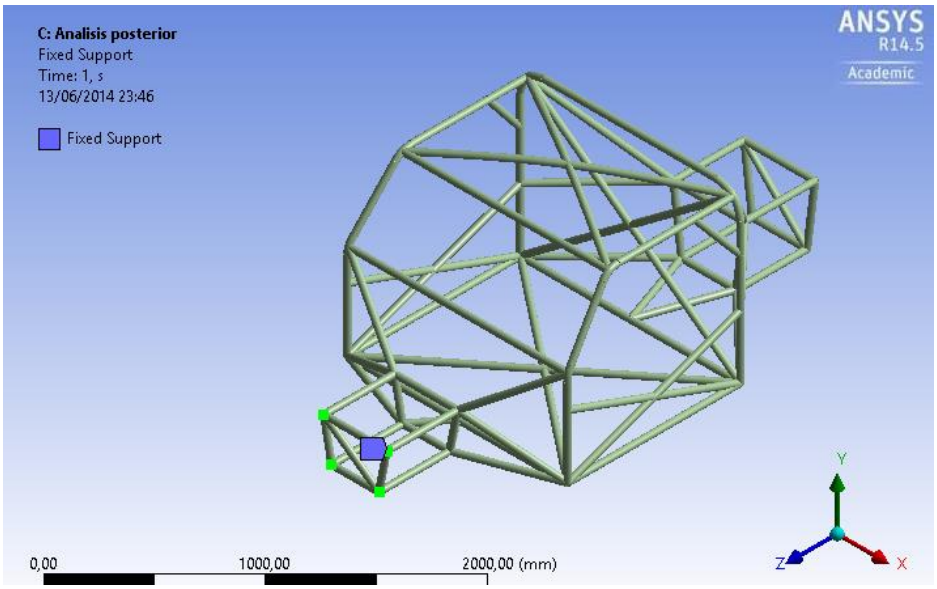


Figura 2.32 *Soportes fijos parte frontal propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

- **Máximo esfuerzo**

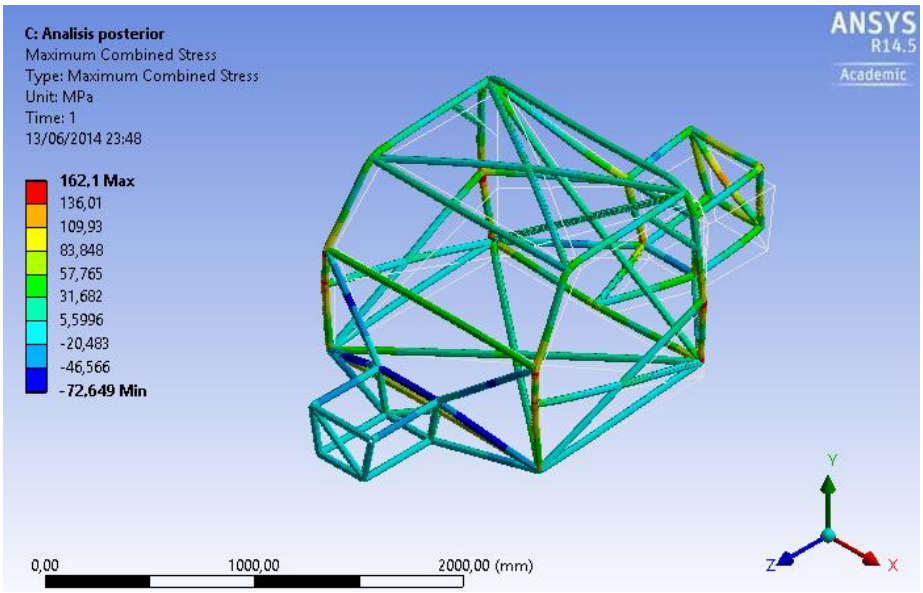


Figura 2.33 *Máximo esfuerzo con carga posterior propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

El esfuerzo máximo que soporta la estructura al someterle una carga en la parte posterior es de 162,1 MPa, valor que es inferior al esfuerzo de cedencia del material, que es de 317 MPa.

- **Deformación total**

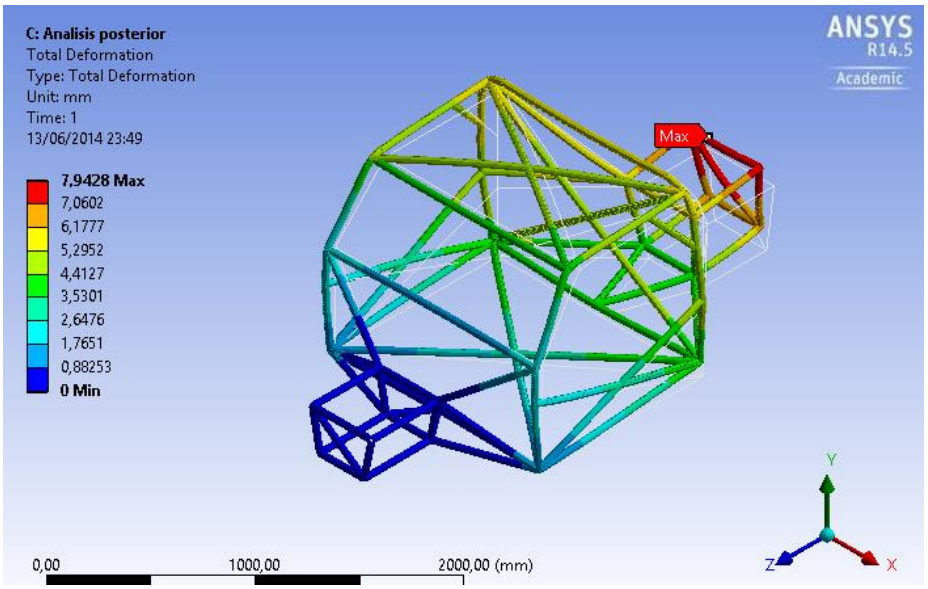


Figura 2.34 *Deformación parte posterior propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

La deformación de la estructura en la parte posterior de la misma es de 7,94 mm, valor que es inferior a los 100mm que establece el reglamento.

- **Factor de seguridad**

$$FS = \frac{Esfuerzo\ de\ cedencia}{Esfuerzo\ permisible}$$

$$FS = \frac{317}{162,1}$$

$$FS = 1,96$$

2.2.4.5 Análisis Vertical

2.2.4.5.1 Propuesta de diseño inicial

- **Aplicación de la carga y restricciones**

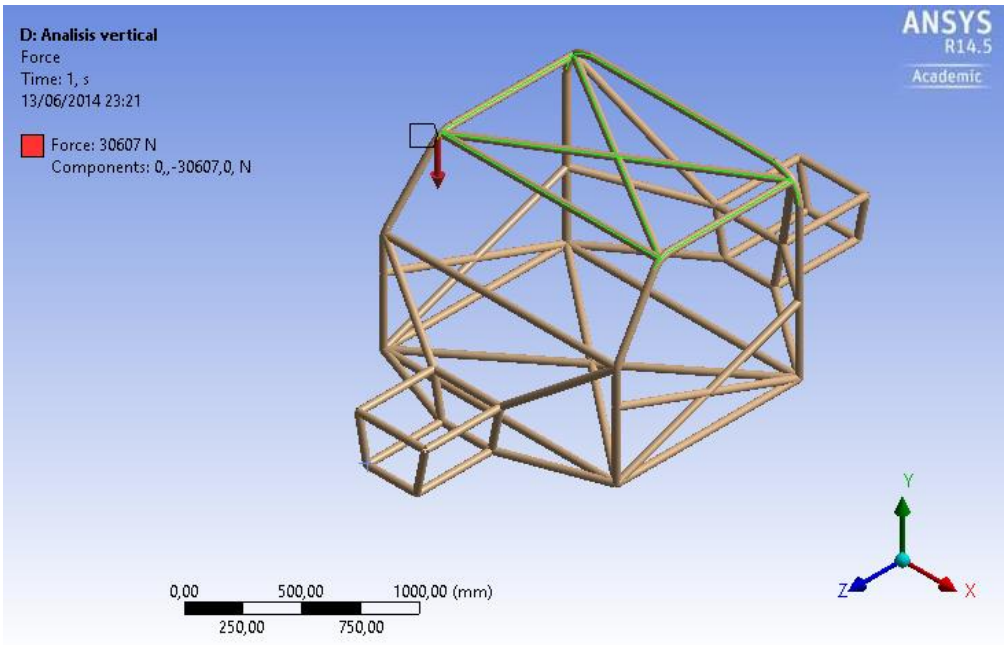


Figura 2.35 *Aplicación carga vertical propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

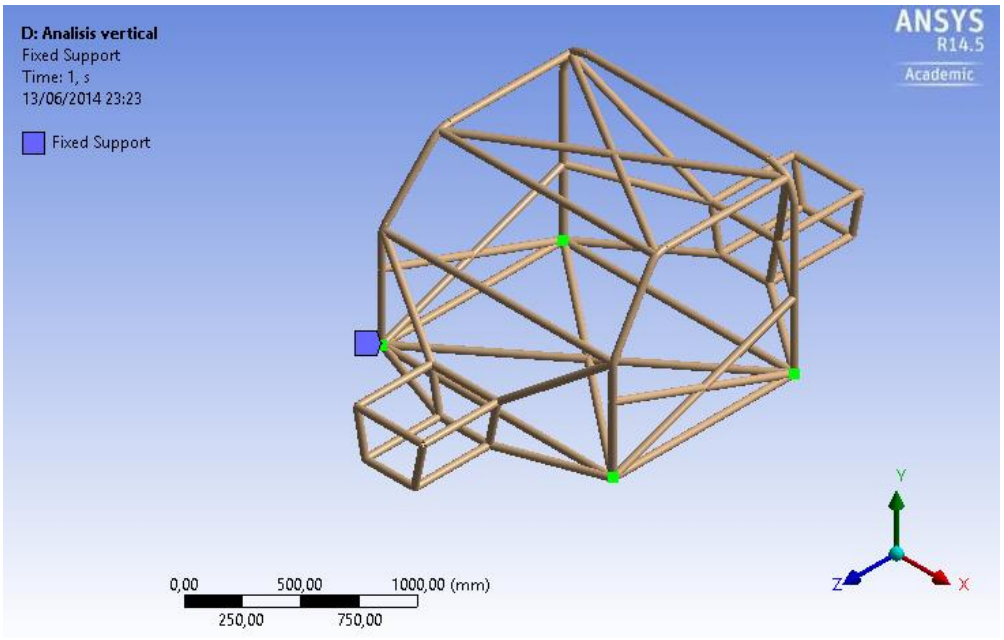


Figura 2.36 *Soportes fijos parte inferior propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

- **Máximo esfuerzo**

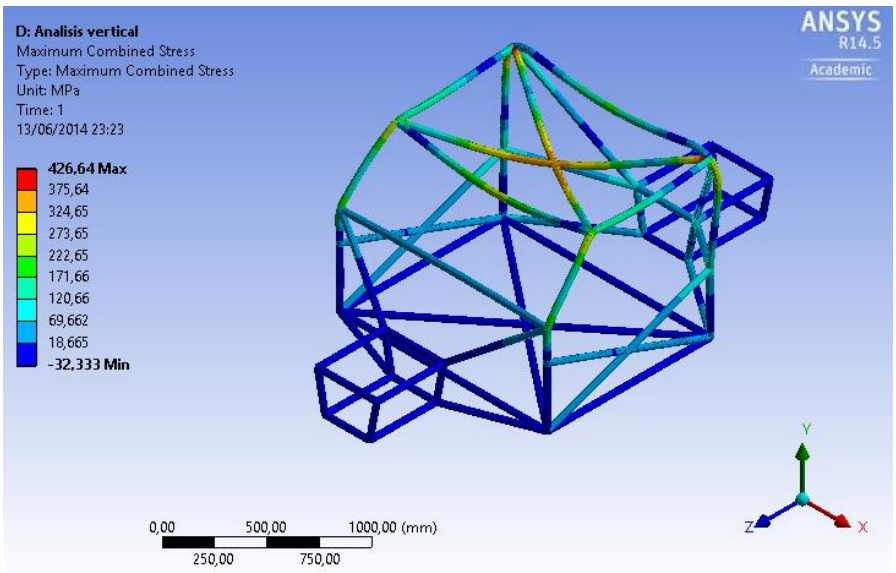


Figura 2.37 *Máximo esfuerzo con carga vertical propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

En la figura se observa la deformación que sufre la estructura en la parte superior debido a la carga vertical que se ha establecido. El esfuerzo obtenido es de 426,64 MPa, cuyo valor sobrepasa el esfuerzo de cedencia del

material. Debido a que excede el valor y por lo tanto no cumple la normativa, se procede a rediseñar la estructura, teniendo en cuenta los parámetros de diseño.

- **Deformación total**

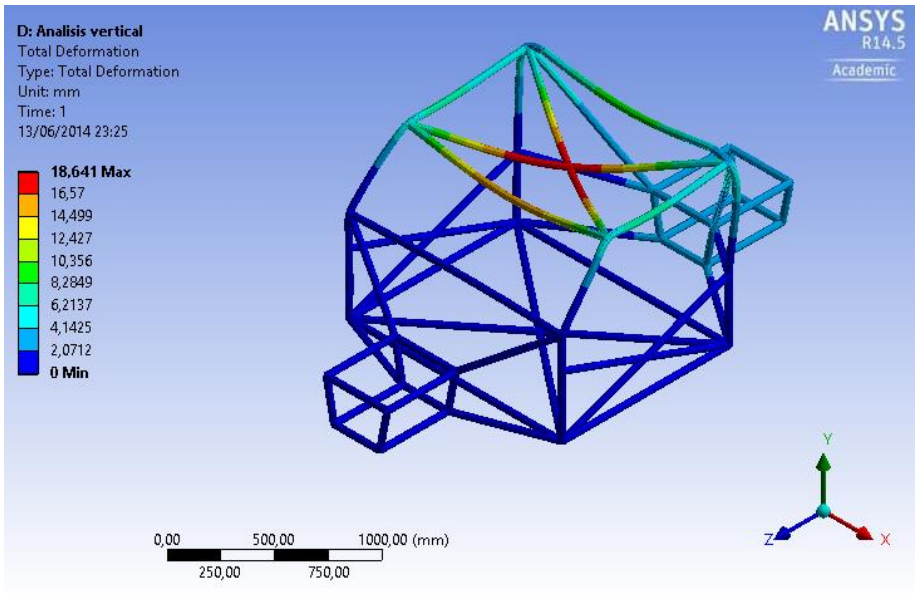


Figura 2.38 *Deformación parte superior propuesta inicial.*

Fuente: *Los autores.*

La deformación máxima en la parte superior de la estructura es de 18,64 mm, cuyo valor es inferior al establecido en el reglamento que es de 50 mm para el análisis vertical.

- **Factor de seguridad**

$$FS = \frac{Esfuerzo\ de\ cedencia}{Esfuerzo\ máximo}$$

$$FS = \frac{317}{426.64}$$

$$FS = 0{,}74$$

2.2.4.5.2 Propuesta de diseño final

Para el análisis, en la propuesta de diseño final se ha reforzado la estructura en la intersección de los arcos principal y secundario, de igual manera se ha optado por rolar los tubos de la X (equis) superior para tener una mejor distribución de los esfuerzos.

- **Aplicación de la carga y restricciones**

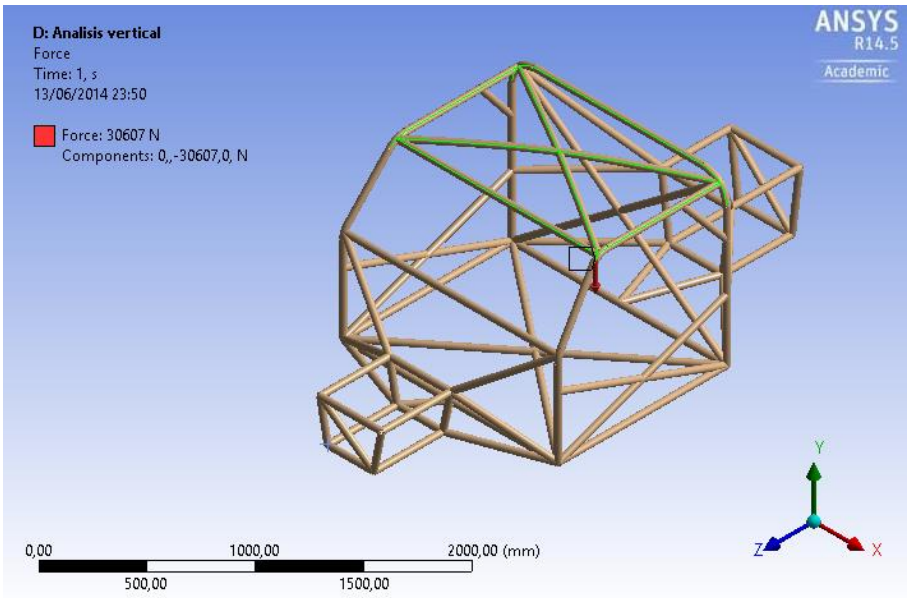


Figura 2.39 *Aplicación carga vertical propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

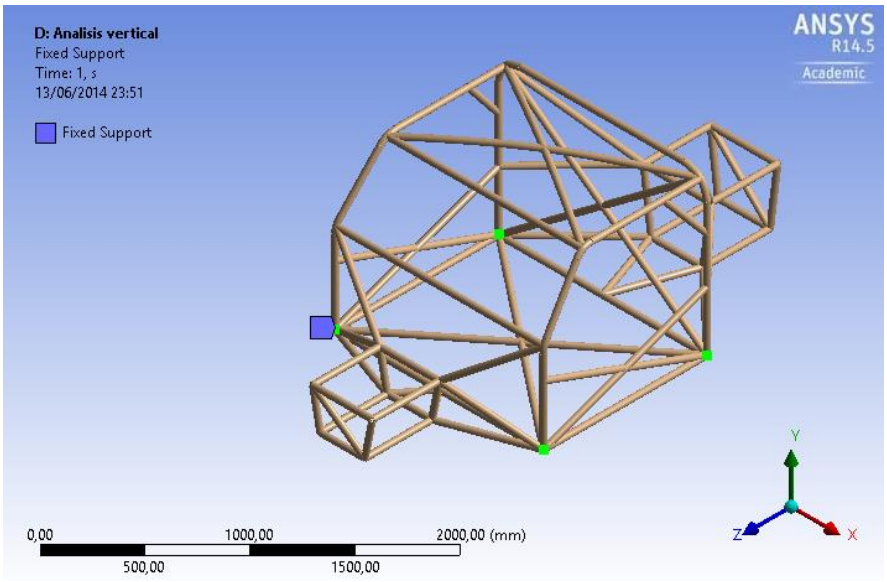


Figura 2.40 *Soportes fijos parte inferior propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

- **Máximo esfuerzo**

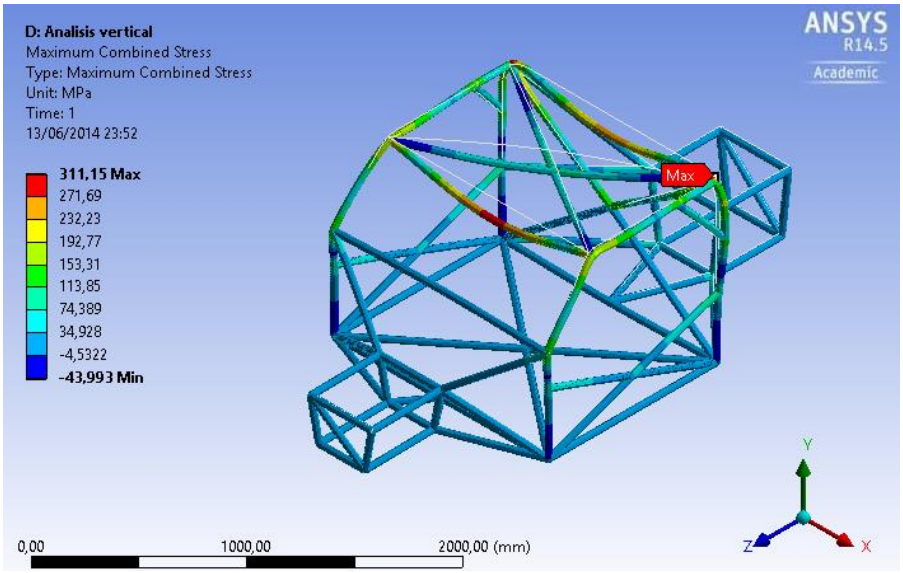


Figura 2.41 *Máximo esfuerzo con carga vertical propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

En la figura se observa que el esfuerzo máximo que sufre la estructura verticalmente es de 311,15 MPa, valor que es inferior al esfuerzo de cedencia del ASTM A500 que es de 317 MPa. Es importante indicar que este valor cumple los parámetros que establece la normativa.

- **Deformación total**

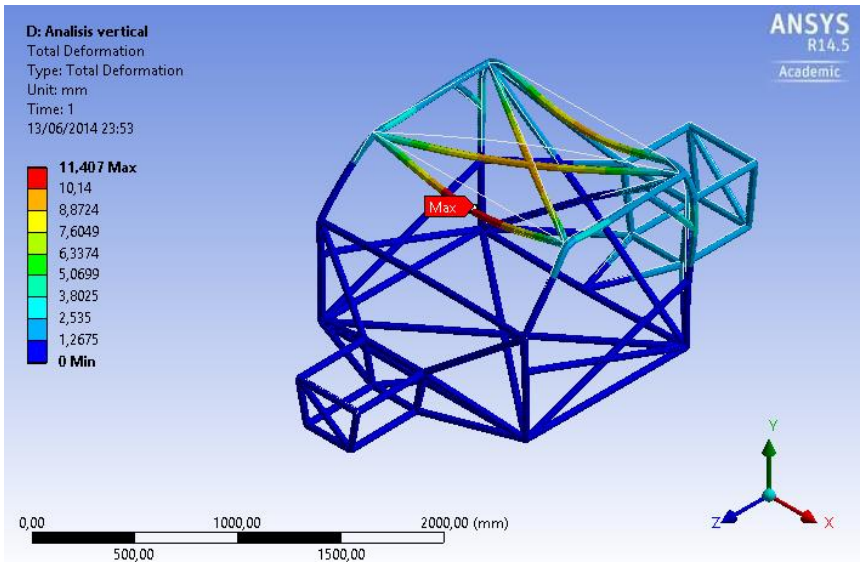


Figura 2.42 *Deformación parte superior propuesta final.*

Fuente: *Los autores.*

Se puede observar en la figura que el valor máximo de deformación en la parte superior es de 11.40 mm, cuyo valor es inferior a 50mm que establece la normativa, por lo que se puede decir si cumple el reglamento en cuanto a desplazamiento se refiere.

- **Factor de seguridad**

$$FS = \frac{Esfuerzo\ de\ cedencia}{Esfuerzo\ permisible}$$

$$FS = \frac{317}{311,15} = 1,02$$

2.2.4.6 Rigidez torsional

A partir de la propuesta de diseño final se ha procedido a determinar la resistencia a la torsión. La magnitud de la carga que se ha considerado es de 1500N en cada brazo, la cual simulará las condiciones de funcionamiento del vehículo al instante de entrar en una curva. A continuación se muestra en el gráfico la aplicación de las cargas y restricciones que permitirán determinar la rigidez torsional.

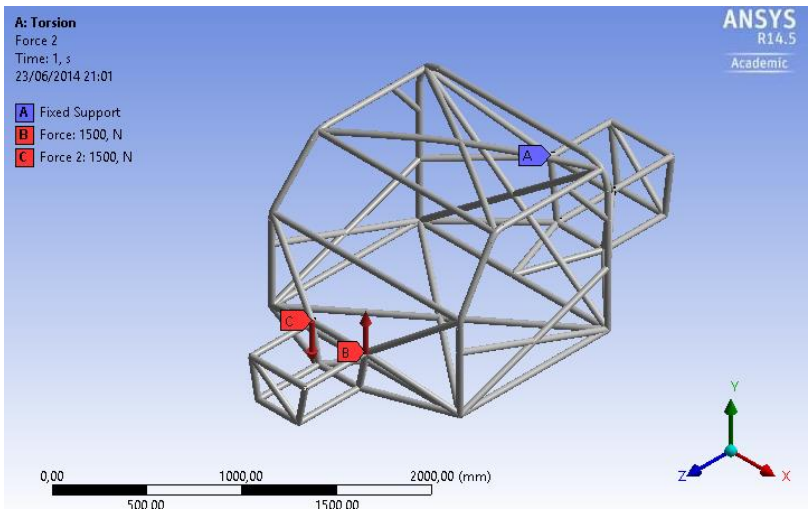


Figura 2.43 *Aplicación de cargas y restricciones para determinar la rigidez.*

Fuente: *Los autores.*

El desplazamiento que sufre la estructura en los puntos de aplicación de la carga se muestran en la Figura 2.44 Desplazamiento torsional de la estructura.), cuyos datos del análisis servirán para el cálculo del ángulo y la rigidez torsional.

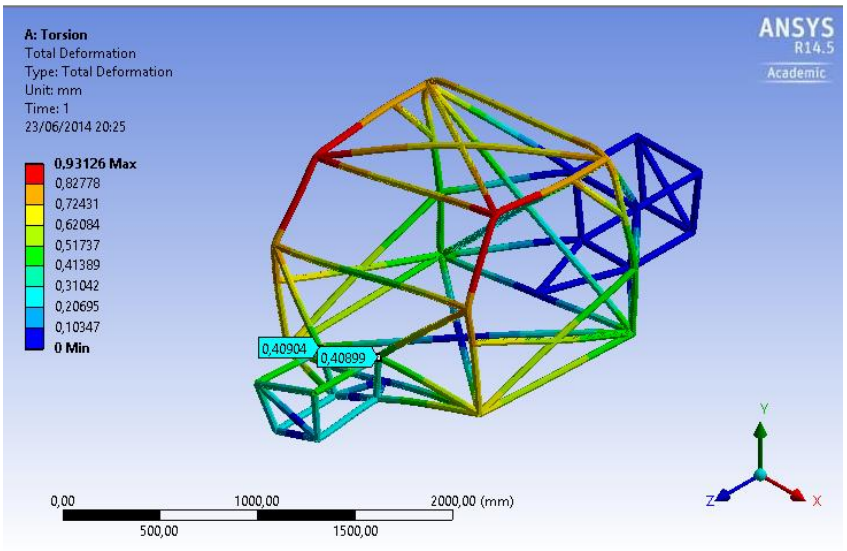


Figura 2.44 *Desplazamiento torsional de la estructura.*

Fuente: *Los autores.*

Ángulo de giro de la estructura:

$$\propto = \mathbf{sin^{-1}}(\mathbf{2}\frac{\boldsymbol{d}}{\boldsymbol{l}})$$

Donde:

$\propto =$ Ángulo de giro en grados

$d =$ Desplazamiento generado (m)

$l =$ Distancia entre cargas

$$\propto = \sin^{-1}(2\frac{0{,}409 * 10^{-3}}{0.40}) = \mathbf{0,117°}$$

Rigidez torsional:

$$\boldsymbol{Kt} = \frac{\boldsymbol{M}}{\propto}$$

$$\boldsymbol{Kt} = \frac{1500 * 0{,}40}{1{,}117°}$$

$$\boldsymbol{Kt} = \mathbf{5120{,}76}\ \boldsymbol{N.m/°}$$

El valor de rigidez torsional obtenido al aplicar una carga de 1500 N en cada brazo de suspensión es de $5120{,}76\ N.m/°$.

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS TUBULAR

3 CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS TUBULAR

3.1 Introducción

En la actualidad en Ecuador no existe ninguna norma o reglamento que nos indique los materiales a utilizar en la fabricación de carrocerías tubulares para prototipos, por eso tomaremos como referencia las diferentes normas internacionales que regulan la construcción de un chasis tubular para vehículos que son aplicables perfectamente en nuestro proyecto.

Para la construcción del chasis el material que se ha escogido es un acero estructural ASTM A500 basado en la norma NTE INEN 2415, tubos de acero al carbono con costura, para aplicaciones en el área automotriz y usos generales.

Algunas consideraciones que se ha tomado en cuenta son:

La fabricación será hecha con dos tipos de perfiles uno cuadrado y otro tubular, el perfil cuadrado ira a los pies del arco principal y los arcos laterales, mientras que el tubular conformará el resto de la estructura, cabe indicar que las dimensiones del perfil final de construcción estarán en función de los resultados del análisis estructural. Por lo tanto, el arco principal del chasis tendrá un diámetro de 2” (pulgadas) equivalente a 50.8mm y un espesor de 2.mm, los arcos secundarios y el resto del bastidor constará de un diámetro de 1,5” (pulgadas) equivalente a 38.1 mm y un espesor de 2mm.



Figura 3.1 *Acero estructural ASTM A500.*

Fuente: *Los autores.*

3.2 Planificación del proceso

Para realizar la construcción del chasis tubular, todo proceso tiene que ser organizado de tal forma que el material que se adquiera debe ser direccionado para el avance y desarrollo del mismo, el cual se ejecutará de acuerdo a los siguientes pasos:

a) Marcado y selección del tubo.
b) Corte del material (por acerrado y por disco).
c) Curvado en frio.
d) Preparación de los tubos antes de soldar (bocas de pescado).
e) Soldadura.
f) Armado del chasis.
g) Ensayo de líquidos penetrantes.

3.2.1 Marcado y selección del tubo

Para realizar este proceso se considerará las dimensiones de los planos obtenidos y a su vez una sobremedida adicional, debido a que habrá un desprendimiento del material al ejecutar el corte y dar el acabado final.

Para realizar las mediciones se hará uso de diferentes instrumentos de medición como lo son el flexómetro, las escuadras y el calibrador, en cuanto al marcado, haremos uso de un rayador.



Figura 3.2 *Medición y marcado del material.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.2 Corte del material (por aserrado y por disco)

Para que la construcción del chasis sea de buena calidad se hace los preparativos desde el corte del material hasta los acabados en los extremos con las bocas de pescado, ya sea por aserrado o por disco.

El mecanizado del material se realizó tomando en cuenta las intersecciones de los tubos y las geometrías que se quiere conseguir en el chasis, por lo que se tiene en consideración las diferentes formas y complejidades de la estructura para proceder al corte.



Figura 3.3 *Corte y unión del tubo.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.3 Curvado en frio

Es un proceso mediante la cual se da al tubo una forma cilíndrica, ya sea de forma total o parcial.

Este proceso se obtiene ejerciendo un esfuerzo cuya intensidad provoque una deformación permanente del tubo según el radio de curvatura requerido.

Los procesos de curvado que se ha tomado en cuenta para la construcción son:

a) Curvado en frio por presión hidráulica.
b) Curvado en frio por rodillos (rolado).

3.2.3.1 Curvado en frio por presión hidráulica

Este proceso consiste en colocar un perfil tubular entre dos rodillos fijos, el doblez se da cuando el rodillo central comienza aplicar presión por medio de un empujador hidráulico hacia los dos rodillos, una vez aplicado presión central el perfil se queda fijo permitiendo darse el doblez.

Para que el chasis tubular salga de forma correcta es de vital importancia el curvado de los tubos, ya que si no se curva de la manera adecuada, no se alcanzará las medidas diseñadas.



Figura 3.4 *Doblez de los tubos.*

Fuente: *Los autores.*

En el chasis tubular se utilizó matrices de doblado que estaban en función del diámetro, las cuales permitieron el doblez del tubo luego de copiar las curvaturas dadas en los planos.



Figura 3.5 *Curvado en frio del arco principal.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.3.2 Curvado en frio por rodillos (rolado)

Este tipo de trabajo consiste en introducir un perfil tubular entre tres rodillos móviles, para que se dé el curvado tenemos que pasar por toda su periferia hasta lograr la curva deseada. Las dimensiones de los rodillos son acordes a los tamaños de los perfiles tubulares a curvar, en la práctica el límite del radio de curvado es de aproximadamente, 5 veces el diámetro externo del tubo.



Figura 3.6 *Curvado por rodillos.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.4 Preparación de los tubos antes de soldar (bocas de pescado)

Antes de hacer cualquier tipo de soldadura es indispensable trabajar con las bocas de pescado, por el motivo que a futuro tendremos una mayor resistencia y mejor acabado con la soldadura.

Para realizar el trabajo de los tubos hay diferentes formas de hacerlas, en nuestro caso trabajamos con el desbastado de material por medio de esmeril y sierra.

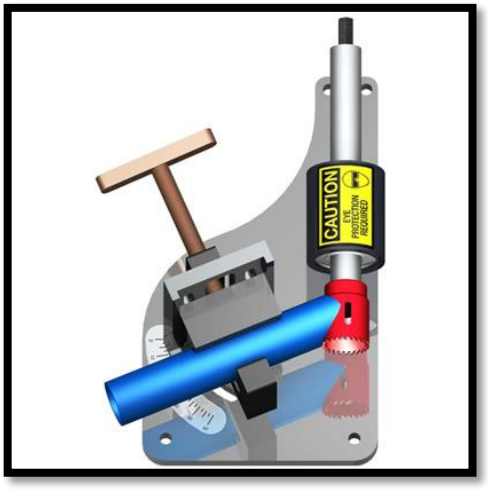


Figura 3.7 *Herramienta para hacer bocas de pescado.*
Fuente: *http://www.hechoxnosotrosmismos.com/t7551-consulta-para-hacer-cortes-de-boca-de-pescado-para-tubo*

3.2.5 Soldadura

La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas y pudiendo agregar un material de relleno fundido (metal o plástico), para conseguir un baño de material fundido (el baño de soldadura) que, al enfriarse, se convierte en una unión fija. [10]

[10] WIKIPEDIA, *soldadura*, http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura

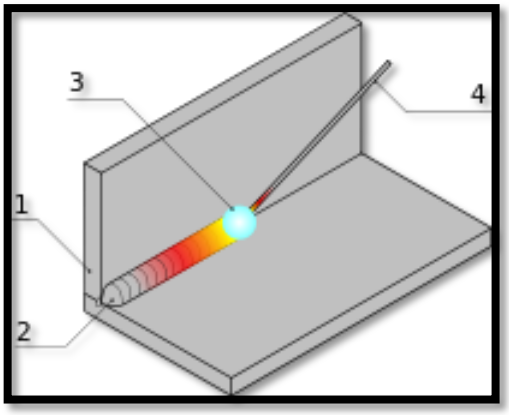


Figura 3.8 *Cordón de soldadura.*
Fuente: *http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura*

Principio general de la soldadura:

1.- Metal de base.

2.- Cordón de soldadura.

3.- Fuente de energía.

4. -Metal de aportación.

3.2.5.1 La soldadura MIG

Es un proceso de soldadura por arco eléctrico entre un electrodo metálico continuo (alambre) y la pieza de trabajo, donde la protección de arco se obtiene mediante un gas suministrado en forma externa.

El sistema MIG posee cualidades importantes al soldar aceros, entre las que sobresalen:

1. El arco siempre es visible para el operador.
2. La pistola y los cables de soldadura son ligeros, haciendo muy fácil su manipulación.
3. Es uno de los más versátiles entre todos los sistemas de soldadura.
4. Rapidez de deposición.
5. Alto rendimiento.

6. Posibilidad de automatización.[11]



Figura 3.9 *Máquina de soldadura utilizada.*

Fuente: *Los autores.*

Características de la máquina de soldar por arco metálico y gas (GMAW)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Marca Indura.	Modelo Amigo 263
TENSIÓN EN RED	V/Hz	230/400 V. 3 Fases, 50/60 Hz.
FUSIBLE		25/20 (Amps.)
FACTOR MARCHA		40 (%) 260 A
RANGO CORRIENTE	A	30 - 280 (Amps.)
DIMENSIONES	ANCHO X ALTO X LARGO	365 x 560 x 630 (Mm.)
PESO	Kg	75

Tabla 3.1 *Características técnicas de soldadora Indura.*

Fuente: *http://www.serviper.cl/CATALOGO2012/MAQUINARIAS/Catalogo%20Indura.pdf*

[11] INDURA, *Manual de sistemas y materiales de soldadura*, http://www.indura.com.ec/_file/file_2182_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf

3.2.5.1.1 Selección del electrodo y condiciones de soldado

Para la selección del electrodo es necesario considerar que el material de aporte tenga características iguales o mejores que las del material, base en este caso el acero estructural ASTM A500.

El material de aporte seleccionado para el proceso de soldadura es un alambre 70S-6, que es un electrodo de acero al carbono que ofrece excelente soldabilidad con una alta cantidad de elementos desoxidantes.

Este electrodo se usa principalmente con CO_2 (gas).

Algunas de las aplicaciones comunes para el uso de este electrodo son:

- Soldadura de cañerías.
- Fabricación de carrocerías, extinguidores, etc.
- Estructuras.

A continuación se muestra la tabla de propiedades del material de aporte:

<table>
<tr><td colspan="6"><u>Composición química del alambre:</u>

C 0,08%; Mn 1,44%; Si 0,86%; P 0,012%; S 0,014%; Cr 0,02%; Ni 0,04%; Mo 0,003%; V 0,005%; Cu 0,20%</td></tr>
<tr><td colspan="6"><u>Características típicas del material depositado (según norma AWS: A5.18/A5.18-05)</u></td></tr>
<tr><td colspan="2">Resultado de pruebas de tracción con probetas de material de aporte</td><td colspan="2">Requerimientos</td><td>Energía Absorbida Ch-v</td><td>Requerimientos</td></tr>
<tr><td colspan="2">Resistencia a la tracción: 530 MPa

Límite de fluencia: 415 MPa

Alargamiento en 50 mm: 31%</td><td colspan="2">480 MPa

400 MPa

22%</td><td>103J a -30° C</td><td>27J a -30° C</td></tr>
<tr><td colspan="6">Amperajes recomendados:</td></tr>
<tr><td>Diámetro

(mm)</td><td>Voltaje

(V)</td><td colspan="2">Amperaje

Min.</td><td>Max.</td><td>Flujo CO_2

Lts./ min</td></tr>
</table>

0,8	14-26	60	160	7-12
0,9	15-27	90	230	8-12
1,2	17-30	130	340	12-14

Tabla 3.2 *Propiedades electrodo 70S-6.*

Fuente:

http://www.indura.com.ec/_file/file_2182_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf

3.2.5.2 Posición y secuencia de soldadura

Para conseguir una estructura soldada correctamente, es de importancia seguir las siguientes secuencias de soldado.

1. En una sección tubular, la soldadura se debe realizar hacia abajo, girando la sección 360°.



Figura 3.10 *Soldadura circular a 360°.*

Fuente: *http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1331/1/65A00005.pdf*

2. En una soldadura vertical de 180°, la soldadura se realiza en la parte superior, luego se gira la sección 180° hasta completar con la sección.

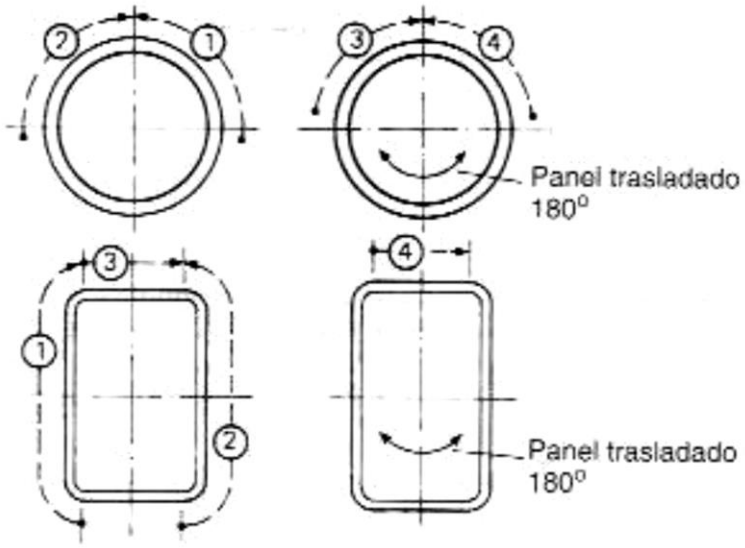


Figura 3.11 *Soldadura a 180°.*

Fuente: *http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1331/1/65A00005.pdf*

3. En la soldadura vertical ascendente, cuando no se puede girar los perfiles, se procede según como indica la figura siguiente:

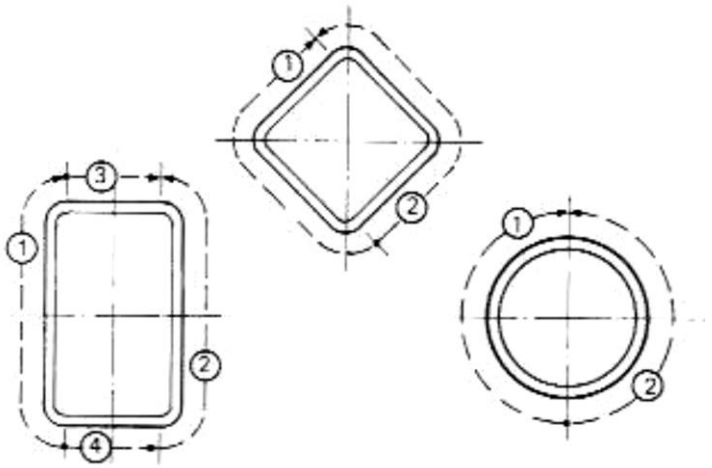


Figura 3.12 Soldadura vertical descendente.

Fuente: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1331/1/65A00005.pdf

4. Cuando los miembros estructurales se encuentran en posición horizontal y no se pueden mover, la soldadura se deben hacer en forma vertical, de igual manera, si las barras están en forma vertical, la soldadura debe realizarse de manera horizontal.

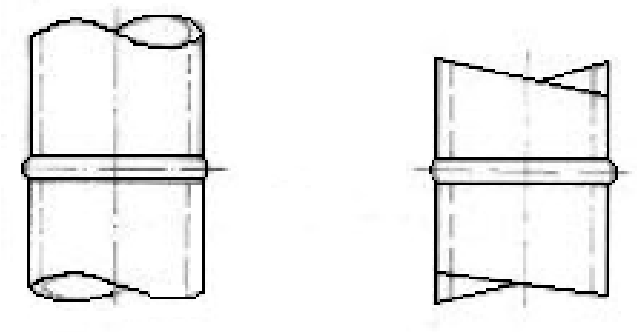


Figura 3.13 *Soldadura horizontal.*

Fuente: *http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1331/1/65A00005.pdf*

3.2.5.3 Punteado de la soldadura

El punteado de la soldadura es una soldadura corta hecha para la unión preliminar de las barras de perfil tubular de una estructura, obteniendo una sujeción temporal previa a la soldadura definitiva del montaje. El espesor de la garganta del punteado de soldadura tiene que estar de acuerdo con la posición de la raíz. Este debe garantizar una unión limpia en la raíz de la soldadura. Los extremos de los puntos de soldadura deben estar correctamente ejecutados para obtener una buena fusión en el cordón de la raíz.

Se tienen que llevar a cabo con mucho cuidado, puesto que los puntos de soldadura se convierten en parte de la soldadura definitiva. Por eso los soldadores precisan de una calificación especial para hacer trabajos de punteado de la soldadura.[12]

[12] ANDRADE, Alex y JARAMILLO, *Guido, Diseño y construcción del chasis para un vehículo tipo buggy de la Formula Automovilística Universitaria (FAU)*, Tesis E.S.P.O.C.H. Facultad de Mecánica, Riobamba, 2009.



Figura 3.14 *Punteo en miembros estructurales.*
Fuente: *Los autores.*

3.2.6 Armado del chasis

En la fabricación del bastidor hay que tener en cuenta las contracciones de la soldadura y considerar las deformaciones por distorsión para garantizar la precisión del tamaño y la forma correcta de los productos. El bastidor también se puede colocar fijo en una mesa plana, la cual suele constar de un armazón hecho con perfiles de acero dispuestos en posición horizontal. El montaje se hace montando encima de la mesa los elementos a fijar.

Para las celosías de perfiles tubulares, es primordial pensar de antemano el orden y la secuencia del montaje, en especial para nudos en los que intersecan más de dos barras de relleno, en los cuales hay que tener un cuidado especial con respecto al método de montaje. Se pueden aplicar diversos sistemas de montaje, por ejemplo el armazón con apoyos, la losa para el marcado y el entramado con rotación. Los apoyos sujetan las barras de la celosía en las posiciones adecuadas, unas con respecto a las otras.

Otro procedimiento, el de la "losa para el marcado", consiste simplemente en marcar en el suelo de hormigón del taller. Se aplica cuando no está justificada la construcción de armazones de montaje.

El equipamiento de un bastidor de rotación tiene como función sujetar las piezas estructurales en las posiciones correctas para soldarlas y permitir la rotación del conjunto de la pieza alrededor de la línea de giro. [13]



Figura 3.15 *Mesa de montaje.*
Fuente: *Los autores.*

3.2.6.1 Montaje y construcción del chasis

Para la construcción del chasis tipo supercrosscar, se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Se imprimen los planos a escala real, para así comprobar cada medida del tubo.
2. Se mide el material, en este caso el tubo, y dejamos una tolerancia ya calculada para luego cortar y hacer las bocas de pescado.
3. Los elementos o barras que contengan dobleces, se señala las medidas y los ángulos exactos en base a los planos impresos a medida real.
4. Una vez ya señalado procedemos con el doblado, la máquina que se utilizó para el proyecto tiene un tablero digital que marca el ángulo exacto, el cual facilita la comprobación de medidas y dobleces.

[13] ANDRADE, Alex y JARAMILLO, *Guido, Diseño y construcción del chasis para un vehículo tipo buggy de la Formula Automovilística Universitaria (FAU)*, Tesis E.S.P.O.C.H. Facultad de Mecánica, Riobamba, 2009.



Figura 3.16 *Doblado del tubo.*

Fuente: *Los autores.*

Para la ensambladura de los elementos estructurales nos hemos ayudado de una mesa de montaje, la cual presenta algunas ventajas al momento de la construcción del bastidor, como:

- Permite nivelar y escuadrar correctamente la base del chasis.
- Evita deformaciones al momento de soldar.
- Permite fijar los elementos, evitando malas uniones.



Figura 3.17 *Mesa guía para el chasis.*

Fuente: *Los autores.*

Una vez construida la mesa se procede al armado de la base del chasis tubular, para esto se corta el material, se ubica en la mesa guía y se lo prensa para evitar que se descuadre.

Ya ubicado en la posición adecuada se puntea el material.

El punteo se lo ha efectuado mediante soldadura MIG, la cual a través de puntos de suelda permite la unión temporal de los tubos. En las figuras siguientes se observa la base del habitáculo del chasis tubular montada sobre la mesa guía.



Figura 3.18 *Base de la estructura del chasis.*

Fuente: *Los autores.*

Una vez punteado se verifica que las medidas estén exactas y se procede a soldar en su totalidad. Adicionalmente se han colocado unos refuerzos ya calculados en el diseño como vemos en la imagen. Estos refuerzos son obligatorios dentro del reglamento, ya que el chasis tiene que soportar las diferentes cargas y esfuerzos.



Figura 3.19 *Refuerzos en las esquinas de las bases del chasis.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.6.1.1 Arco principal

Terminada la base del habitáculo, se marcará y se doblará el arco principal con el tubo de mayor diámetro (2 pulgadas), se ocupa este perfil de tubo debido a que el arco principal soportará elevados esfuerzos en el caso que la estructura sufra de un volcamiento.

Hay que indicar que durante el armado del chasis la estructura fue solamente punteada, esto con la finalidad de comprobar continuamente las medidas y la posición de cada miembro estructural según los planos, una vez que se terminó de armar se procedió a soldar el chasis en su totalidad.



Figura 3.20 *Arco principal y la carrocería.*
Fuente: *Los autores.*

3.2.6.1.2 Semiarcos laterales

Los semiarcos laterales unen el arco principal desde su parte superior hasta la base del habitáculo, en el proceso de construcción los semiarcos laterales forman parte de la estructura de seguridad.

Armado el arco principal junto con la base es mucho más fácil continuar con la construcción, ya que tenemos una guía y una simetría exacta.

Para continuar con la construcción medimos y marcamos dos tubos iguales para los laterales del chasis ya que tienen que ser exactos.

Una vez doblados los semiarcos laterales procedemos con el punteado y comprobación de acuerdo a los planos y a la carrocería.



Figura 3.21 *Semiarcos laterales.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.6.1.3 Refuerzos del habitáculo

Estos serán los encargados de brindar una mayor solidez y seguridad a la estructura.

Una vez colocados los semiarcos laterales continuamos con la construcción del chasis, siempre guiándonos en el diseño ya establecido, y comprobando con la carrocería.

Las siguientes figuras muestran los refuerzos añadidos tanto el arco principal como en los semiarcos laterales.



Figura 3.22 *Refuerzos de la estructura.*

Fuente: *Los autores.*

Como siguiente paso se realizó el rolado de los tubos que servirán como refuerzo en la parte superior de la estructura.



Figura 3.23 *Rolado de los tubos.*

Fuente: *Los autores.*

Una vez rolados los tubos de la parte superior del habitáculo, procedemos a ubicarlos tomando en cuenta los planos del diseño.



Figura 3.24 *Ubicación de los tubos rolados.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.6.1.4 Protección frontal del chasis

Terminado de armar la cámara de protección del piloto, se procede a construir la parte delantera de la estructura tubular. Para esto, se procede a construir un trapecio, siempre basándose en los planos del diseño. Esta protección une el habitáculo con el frente del chasis y va conectado por medio de varios refuerzos que salen de las

esquinas superiores del trapecio hasta las esquinas del habitáculo, y de las esquinas inferiores hasta las bases del chasis.



Figura 3.25 *Protección frontal.*
Fuente: *Los autores.*



Figura 3.26 *Unión del trapecio frontal con el habitáculo.*
Fuente: *Los autores.*

3.2.6.1.5 Protección posterior del chasis

Conectada la parte delantera con el habitáculo, se continúa con la parte posterior igualmente basándose en los planos del diseño, se construye un cubo y se lo conecta con refuerzos en la parte inferior y superior.



Figura 3.27 *Protección posterior de la estructura.*

Fuente: *Los autores.*

Ubicado el cubo en su posición según los planos del diseño, se lo sujeta sobre la mesa con prensas para evitar que se descuadre.

A continuación se posiciona los refuerzos y se coloca temporalmente el motor para verificar que las mediadas de los planos coincidan con las reales.



Figura 3.28 *Ubicación de refuerzos y verificación de medidas.*

Fuente: *Los autores.*

Una vez que se haya terminado de colocar todos los miembros estructurales del chasis, se procede con la soldadura del mismo, considerando que la soldadura se la hará seccionada ya que si se realiza una soldadura general y continua (en un mismo lugar) la estructura podría deformarse y por lo tanto no se tendría las medidas de diseño.



Figura 3.29 *Soldadura de las bases del arco principal.*
Fuente: *Los autores.*

Como se explicó las soldaduras se las hace por secciones se puede empezar con las bases y luego con las esquinas superiores, etc.



Figura 3.30 *Soldadura de refuerzos superiores.*
Fuente: *Los autores.*

Soldadas las partes de fácil acceso, procedemos a girar la estructura con la finalidad de completar los cordones de soldadura en los lugares que presentaron incomodidad.



Figura 3.31 *Soldadura de partes no accesibles.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.6.2 Peso de la estructura.

Cuanto menor sea el peso del chasis, respetando la resistencia (esfuerzos) y la rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor, tomando en cuenta que, por normativa, el peso mínimo del vehículo en ningún momento podrá ser inferior a 300 kg sin piloto, sin agua en el radiador y sin combustible.



Figura 3.32 *Chasis tubular tipo supercrosscar.*

Fuente: *Los autores.*

En el presente proyecto tenemos bien claro que a menos kilos, mejor desempeño y menor consumo de combustible, todo lo cual se traduce en disminución significativa de las emisiones contaminantes a la atmósfera.



Figura 3.33 *Peso actual del chasis tipo supercrosscar.*

Fuente: *Los autores.*

El peso es un parámetro importante, ya que este nos indica si está bien guiado el proyecto del chasis tubular tipo supercrosscar. El peso actual de la estructura es de 80 kg, el cual nos revela que el diseño y los materiales utilizados predecirán una buena relación peso potencia una vez terminado todo el vehículo.

3.2.6.3 Carrocería de fibra de vidrio

Para la cubierta del chasis tubular se ha utilizado como material base la fibra de vidrio, esto debido a la facilidad de construcción y al bajo peso que se adquiere con este tipo de carrocería.



Figura 3.34 *Carrocería para el chasis tubular.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.7 Inspección de soldaduras

Las soldaduras de estructuras tubulares se pueden comprobar mediante ensayos destructivos (solo en laboratorio) o no destructivos.

Los ensayos destructivos, que son los ensayos de tracción, de plegado, de resistencia frente al impacto, de dureza y de fatiga, se deben hacer antes de empezar la soldadura final de la estructura tubular. Estos ensayos también se hacen para comprobar la capacidad profesional de los soldadores.

En nuestro proyecto trabajamos con:

- Inspección visual
- Ensayo con líquidos penetrantes

3.2.7.1 Inspección visual

Es de suma importancia efectuar una detenida inspección visual del cordón de soldadura, así como la zona próxima a la soldadura, tanto antes como después de soldar. Por ese motivo se aconseja inspeccionar las separaciones de la raíz entre las partes que hay que soldar, el ángulo de inclinación entre los elementos estructurales, la uniformidad en la separación de los bordes de la soldadura, el ángulo de bisel, la distancia entre la alineación de las caras y la eliminación total de aceite, grasa etc.



Figura 3.35 *Inspección visual de la soldadura.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.7.2 Ensayo de Líquidos Penetrantes

El ensayo por líquidos penetrantes es un método de ensayo no destructivo que permite la detección de discontinuidades en materiales solidos no porosos y siempre que las discontinuidades se encuentren abiertas a la superficie.

En comparación con otros métodos de ensayo no destructivo (radiografía, ultrasonidos, corrientes inducidas…), la aplicación práctica del ensayo por líquidos penetrantes, en general, es menos compleja y no requiere el empleo de equipos complicados o costosos. Pero no hay que cometer el error de pensar por esto la ejecución se pueda realizar de forma menos cuidadosa. [14]



Figura 3.36 *Kit de spray de líquidos penetrantes.*
Fuente: *Los autores.*

El método de ensayo por líquidos penetrantes permite detectar los efectos abiertos a la superficie, que en ciertos casos, como piezas sometidas a esfuerzos, pueden ser las más peligrosas y llegar hacer causa de rotura.

3.2.7.2.1 Preparación de la Superficie

La superficie de examinación debe ser suave y uniforme, debe estar seca y libre de salpicaduras de soldadura, escoria, oxido, pintura, grasa, etc. Para la limpieza de la superficie se utiliza, lijas, esmeril y escobilla, etc. Posteriormente se debe hacer la limpieza recomendada con removedor (cleaner) del kit de tintes penetrantes.

[14] SANDOVAL, Juan Carlos, IDROVO, Carolina, *Ensayo no destructivo. Líquidos penetrantes*, Universidad técnica de Ambato, 2009.



Figura 3.37 *Preparación de la superficie.*

Fuente: *Los autores.*

Esta limpieza se hace abarcando 1 pulgada (2.54 mm) como mínimo adyacente al pie del cordón de soldadura a examinar. Es de suma importancia verificar que la superficie este seca luego de aplicar el removedor, antes de aplicar el penetrante.



Figura 3.38 *Aplicación del spray removedor.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.7.2.2 Aplicación del Penetrante

Una vez limpiada la superficie de examinación y verificando se encuentre completamente seca, se aplica el penetrante directamente al área de interés cubriéndola completamente. El área de interés corresponde al cordón de soldadura.



Figura 3.39 *Aplicación del spray penetrante.*

Fuente: *Los autores.*

El tiempo de permanencia del penetrante en la superficie de examinación será determinado en base a las condiciones de la prueba, (factor ambiente y de la tubería), sin embargo este no debe ser menor de 5 minutos y no mayor de lo especificado por el fabricante.

3.2.7.2.3 Remoción del Penetrante

Después del tiempo requerido de penetración, el exceso de penetración debe ser removido tanto como sea posible, con el uso de un trapo seco libre de pelusas. La operación debe ser varias veces repetida hasta que se compruebe que el penetrante haya sido removido completamente.



Figura 3.40 *Remoción del penetrante.*

Fuente: *Los autores.*

3.2.7.2.4 Aplicación del Revelador

Antes de la aplicación del revelador, el envase tiene que ser agitado para asegurar la adecuada dispersión de las partículas en suspensión.

Al aplicar el agente revelador directamente sobre la superficie de examinación es recomendable verificar la eficiencia del spray aplicándolo sobre otra superficie e ir regulando la cantidad adecuada para la aplicación, la cual no será menor a 12 pulgadas (30 centímetros), luego aplicar la sustancia reveladora perpendicularmente a la superficie de examinación.



Figura 3.41 *Aplicación del spray revelador.*

Fuente: *Los autores.*

Se debe aplicar la cantidad necesaria para cubrir completamente la superficie de prueba con una capa fina de revelador que asegure un adecuado contraste.

3.2.7.2.5 Examinación y Evaluación

Para examinación de la superficie hay que esperar aproximadamente 10 minutos como mínimo de la aplicación del revelador (tiempo de revelado). Una observación cercana de la formación de discontinuidades durante la aplicación del revelador podría ayudar en la caracterización y determinación de las extensiones de discontinuidades.



Figura 3.42 *Porosidad de la soldadura.*

Fuente: *Los autores.*

Por medio de la observación directa y una vez aplicado las tintas penetrantes en las superficies, se logró reconocer:

Antes de aplicarle los respectivos tintes, no se apreciaron grietas alrededor de las piezas soldadas, una vez aplicado el tinte revelador evidenciamos diminutas grietas en la soldadura, aunque el lugar de los defectos no es definido claramente. Se recomienda otro tipo de procedimiento.

Analizando el caso que se presentó en las soldaduras, pudimos llegar a la conclusión que las porosidades que se presentan en la estructura no generan grandes alteraciones en la estructura tubular, debido a que son mínimas.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se extraen las siguientes conclusiones:

- Los objetivos del trabajo de tesis fueron cumplidos satisfactoriamente, se diseñó y se construyó un chasis tubular para el vehículo de competición tipo supercrosscar.
- El diseño y construcción de chasis tubular fue desarrollado y analizado de acuerdo al reglamento técnico de la R.F.E.d.A., el cual brinda los parámetros y condiciones necesarias para que la estructura sea confiable y segura para los ocupantes del prototipo.
- El uso de elementos tipo viga para la simulación del chasis en el software Ansys 14.5 permite obtener una aproximación de los esfuerzos y deformaciones que se producen en la estructura al colocar diferentes cargas de impacto.
- La correcta aplicación de las cargas y restricciones simulan las condiciones reales de funcionamiento del vehículo, además que proporcionan información sobre las zonas más vulnerables, las cuales serán rediseñadas en el caso que sobrepasen el límite de cedencia del material.
- Con el modelado geométrico del chasis se puede verificar el criterio de espacio así como constatar las posibles correcciones que se podrían efectuar con la finalidad de disminuir el peso de la estructura.
- El análisis no destructivo con líquidos penetrantes permite evidenciar si las uniones por soldadura presentan fisuras, porosidades, pliegues, etc. Es una manera rápida y confiable de evidenciar las discontinuidades de la soldadura.

TRABAJOS FUTUROS

En cuanto a los posibles trabajos que se pueden generar a partir de este son:

- Realizar un estudio más completo, en donde se analice dinámicamente la estructura, así como también la fatiga, las vibraciones y la aerodinámica de la carrocería de fibra de vidrio.
- Analizar la estructura mediante elementos finitos tipo Shell, obteniendo así resultados más cercanos al comportamiento real que sufre el chasis.
- Deben realizarse pruebas experimentales que permitan comparar las simulaciones computacionales con situaciones reales, para constatar la deformación y las fallas de los miembros estructurales.
- Incorporar estudios de suspensión, dirección, tren de fuerza, etc., en donde se considere la deformación de la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- ALONSO P., José Manuel, *Técnicas del Automóvil. Chasis*, 8va Edición, Editorial Paraninfo, Navalcarnero - Madrid, 2008.

- BEER, Ferdinand, JOHNSTON, Russell y otros, *Mecánica de materiales*, 5ta Edición, Mc Graw Hill.

- REAL ACADEMIA ESPANOLA, "Carrocería", DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA, 20va Edición, 2010.

- ADAMS, H. *Chassis engineering.* The Penguin Group. 1992.

- LAWRENCE, Kent, *Ansys Workbench tutorial*, SDC publications.

- RODRIGEZ, Pedro, *Manual de soldadura* - 1 da. Edicion, Editorial Alsina, Buenos Aires – Argentina, 2001.

Documentos Institucionales:

- INDURA S.A, *Manual de sistemas y materiales de soldadura*, Cuenca – Ecuador, 2007.

Tesis, monografías o trabajos de investigación:

- JIMENEZ, Alberto, *Diseño y construcción de un chasis tipo carcross mediante el método de elementos finitos*, Tesis Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2010.

- MOLINA, Jorge, y TOVAR, José, *Diseño y construcción de un chasis tubular monoplaza tipo buggy para la participacion de la ESPE-L en la formula automovilistica universitaria*, Tesis E.S.P.E. Facultad de Ingenieria Mecanica Automotriz, Latacunga, Julio 2009.

- PAUTA, Patricio y VILLACIS, Juan Pablo, *Diseño y construcción de un vehículo biplaza de estructura tubular con motor monocilíndrico Yamaha YFM 200*, Tesis U.D.A. Facultad de Ciencia y Tecnología, Cuenca, 2012.

- ANDRADE, Alex y JARAMILLO, *Guido, Diseño y construcción del chasis para un vehículo tipo buggy de la Formula Automovilística Universitaria (FAU),* Tesis E.S.P.O.C.H. Facultad de Mecánica, Riobamba, 2009.

- SANDOVAL, Juan Carlos, IDROVO, Carolina, *Ensayo no destructivo. Líquidos penetrantes*, Universidad técnica de Ambato, 2009.

Citas electrónicas:

- ROCAR PROTOTIPOS, S.L., *Supercrosscar 2009*, http://www.supercrosscar.com/descargas/federacion_dossier_de_presentacion_scc.pdf (recuperado 23-08-2013/10H00)

- MUNDO MOTOR, *Rally: Una competencia con historia*, http://mundomotorlosangeles.es.tl/UNA-HISTORIA.htm (recuperado 15-09-2013/15H30)

- MECÁNICA Y MOTORES, *Tipos de chasis para autos*, http://www.mecanicaymotores.com/tipos-de-chasis-para-autos.html . (recuperado 21-10-2013/09H00)

- WIKIPEDIA, *tubular*, http://es.wikipedia.org/wiki/Carrocer%C3%ADa (recuperado 01-1-2013/14H35)

- WIKIPEDIA, *soldadura,* http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura (recuperado 15-01-2013/18H35)

- *Método de elementos finitos con solidwork simulation*, http://grupocarman.com/blog/solidworks-simulation/. (recuperado 06-01-2014/10H00)