

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Mecánico Automotriz*

**PROYECTO TÉCNICO:
“DISEÑO DE UN CHASIS MONOPLAZA TIPO AUTOCROSS
SEGÚN LA NORMATIVA FIA”**

AUTORES:

RICHARD EDUARDO ALVARADO RAMÓN
CHRISTIAN JOEL MONTALVÁN ROBLES

TUTOR:

ING. PAÚL MÉNDEZ TORRES, M.I.

CUENCA-ECUADOR

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Richard Eduardo Alvarado Ramón con documento de identificación N° 1104684095 y Christian Joel Montalván Robles con documento de identificación N° 1150022521, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN CHASIS MONOPLAZA TIPO AUTOCROSS SEGÚN LA NORMATIVA FIA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2019

Richard Eduardo Alvarado Ramón
C.I. 1104684095

Christian Joel Montalván Robles
C.I. 1150022521

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN CHASIS MONOPLAZA TIPO AUTOCROSS SEGÚN LA NORMATIVA FIA”**, realizado por Richard Eduardo Alvarado Ramón y Christian Joel Montalván Robles, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2019



Ing. Paúl Méndez Torres, M.I.

C.I. 0102455789

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Richard Eduardo Alvarado Ramón con documento de identificación N° 1104684095 y Christian Joel Montalván Robles con documento de identificación N° 1150022521, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN CHASIS MONOPLAZA TIPO AUTOCROSS SEGÚN LA NORMATIVA FIA”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, diciembre del 2019



Richard Eduardo Alvarado Ramón
C.I. 1104684095



Christian Joel Montalván Robles
C.I. 1150022521

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico en primera instancia a Dios quien me ayudado en todo momento, siendo de fortaleza en los momentos más fuertes para superarlos y alcanzar mis metas

De forma especial a mis padres quienes han sabido demostrar su amor a través de su apoyo y paciencia en esta aventura de ser ingeniero mecánico automotriz.

A mis abuelos quienes siempre han estado cuando los he necesitado y en especial por su sabiduría de vida que me la han sabido compartir.

A mis familiares en especial a los que han partido de este mundo, espero seguir contando con su afecto y apoyo del lugar en donde se encuentren.

A mis amigos que han dedicado su tiempo y su buena voluntad para aconsejar, reír y compartir sus conocimientos de manera sincera.

Richard Eduardo Alvarado

DEDICATORIA

Al haber finalizado este proyecto de investigación solo me queda dedicárselo de manera especial a Dios por haberme llenado de sabiduría y valentía durante este largo camino que recorrí.

A mis padres que han sido mi ejemplo a seguir, ellos me han demostrado lo que es la perseverancia y gracias a su incondicional apoyo pude superar todos los obstáculos para lograr cumplir mi objetivo.

A mis hermanos Mishell, Anmy y Anthony, por su cariño y apoyo incondicional en los buenos y malos momentos siempre dispuestos a brindarme su ayuda cuando la necesito.

A mis amigos, que siempre estuvieron cuando los necesitaba apoyándome incondicionalmente, por las experiencias únicas vividas y los momentos divertidos e inolvidables que me obsequiaron.

Christian Joel Montalvan Robles

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme terminar con esta meta desde llegar y conocer Cuenca hasta mi tiempo de estancia en esta ciudad, también por las bendiciones que me ha dado a lo largo de mi vida, la primera, por los maravillosos padres que he tenido, siempre he podido contar su apoyo pese a todos los problemas que se me han presentado también por su paciencia que ha sido infinita conjuntamente con su cariño, segundo por mis abuelos que siempre han sido una fuente de sabiduría espiritual para todo en mi vida, agradezco por sus consejos y regaños que me han permitido ser una mejor persona, la tercera, por mis hermanos que han sido mi inspiración y fortaleza para afrontar los más desafiantes retos, cuarto, al personal que conforman Construcciones Richard que sin ustedes nada de esto sería posible. Espero que se me sigas bendiciendo con su presencia por mucho tiempo y además bendíceme con sabiduría para luchar por muchos más desafíos.

Agradecido también con esta institución que me ha permitido superar una versión anterior de mí mismo, además agradezco a mis maestros y personal que han sido mis amigos por sus consejos, tiempo y conocimientos, que siempre han estado prestos en brindarme su ayuda.

A todos ustedes mis sinceros agradecimientos, y mis infinitas gracias.

Richard Eduardo Alvarado

AGRADECIMIENTO

Al llegar a este momento de mi vida solo me queda agradecerle a Dios por toda la fortaleza que me brindó para superarme durante este largo camino que eh recorrido, por ayudarme a actuar de manera correcta en las decisiones importantes de mi vida, también le quiero agradecer por los maravillosos padres y hermanos que me obsequio ya que son el pilar fundamental de mi vida mi apoyo incondicional que me empujan para cumplir con todos los objetivos que me propongo.

De igual forma quiero agradecerles a mis abuelitos Guillermina, Miguel y Carmen, sé que ellos siempre están cuidándome, vigilándome y llenándome de bendiciones para que siga un buen camino y sea una persona de bien, de manera muy especial quiero agradecerle a mi abuelito Antonio gracias a él puede empezar este camino que hoy estoy finalizando, él creyó en mí y le estoy demostrando que fui capaz de cumplir todo lo que le había prometido, espero Dios me permita algún día poder devolverles a mi abuelito y a mis padres todo lo bueno que han hecho por mí.

Finalmente quiero agradecerles a todos mis familiares y amigos que de alguna u otra forma me ayudaron cuando lo necesitaba, con pequeños o grandes detalles han sido una parte fundamental para la culminación de mis estudios y este proyecto de grado.

Christian Joel Montalvan Robles

RESUMEN

Este proyecto tiene por objetivo realizar el diseño y análisis de un chasis monoplaza tipo Autocross siguiendo la normativa vigente de la RFEDA/FIA.

En primera instancia, se realizó una investigación referente al diseño de un chasis de Autocross, con exigencias para competencia en la normativa vigente con el fin de entender los requisitos estructurales de un chasis de Autocross, los cuales fueron dimensiones totales, peso total, diámetro de tubos, material de los tubos, exigencias de seguridad, cilindraje de motor, accesorios del vehículo, entre otros.

Por consiguiente, se inició con el diseño de un modelo preliminar que cumpla las funciones, conceptos de geometría, dimensiones y parámetros ergonómicos de la normativa vigente con la asistencia del software de diseño 3D Solidworks, a partir de este diseño preliminar se fue haciendo mejoras y corrigiendo errores en este modelo hasta llegar a un diseño óptimo.

Finalmente, se analizó la seguridad del chasis realizando los respectivos cálculos con la ayuda del software de simulación FEM Ansys Workbench, los análisis que se le realizaron vienen determinados por la norma los cuales son: cargas para colisiones frontales, laterales y traseras, además un análisis de vuelco (carga vertical sobre el arco principal de la estructura), con el fin de determinar su buen desempeño se realizará el cálculo de rigidez torsional que permite comprender el comportamiento dinámico del vehículo.

ABSTRACT

This project aims to carry out the design and analysis of an Autocross single-seater chassis following the current RFEDA / FIA regulations.

In the first instance, an investigation was made regarding the design of an Autocross chassis, with requirements for competition in current regulations in order to understand the structural requirements of an Autocross chassis, which were total dimensions, total weight, diameter of tubes, tube material, safety requirements, engine displacement, vehicle accessories, among others.

Therefore, it began with the design of a preliminary model that meets the functions, concepts of geometry, dimensions and ergonomic parameters of current regulations with the assistance of 3D Solidworks design software, from this preliminary design improvements were made and correcting errors in this model until reaching an optimal design.

Finally, the safety of the chassis was analyzed by performing the respective calculations with the help of FEM Ansys Workbench simulation software, the analyzes that were performed are determined by the standard which are: loads for frontal, side and rear collisions, in addition to an analysis of tipping (vertical load on the main arc of the structure), in order to determine its good performance the calculation of torsional stiffness will be carried out that allows to understand the dynamic behavior of the vehicle.

INDICE DE CONTENIDOS

CESIÓN DE DERECHOS.....	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	IV
DEDICATORIA	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
AGRADECIMIENTO.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	2
2.1. IMPORTANCIA.....	2
2.2. DELIMITACIÓN	3
3. OBJETIVOS.....	3
3.1. OBJETIVO GENERAL	3
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
4. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	4
4.1. EL AUTOCROSS	4
4.1.1. Competencia.....	5
4.1.2. Divisiones o Categorías.....	6
4.1.3. Monoplaza Car Cross.....	6
4.2. EL CHASIS	7
4.2.1. Chasis tubular	8
4.2.2. Chasis monocasco.....	8
4.2.3. Tipos de chasis tubulares usados en Autocross.	9
Modelo Xtrem	9
Modelo TTX	10
Modelo Yacarcross.....	11
Modelo Demon Car	12
Modelo Casmat	13
Modelo Kincar	14
4.3. CONCEPTOS DE DISEÑO PARA CHASIS	15
4.3.1. Funcionalidad dimensiones.....	15
4.3.2. Peso y su distribución.....	15
4.3.3. Ancho de vía	16
4.4. ERGONOMÍA	17
4.4.1. Ergonomía del Piloto.	17
4.4.2. Asiento del piloto.....	18
4.4.3. Dimensiones de la cabina	19
4.5. RESISTENCIA Y RIGIDEZ.....	20

4.5.1.	<i>Principios de rigidez</i>	20
4.5.2.	<i>Rigidez a Flexión</i>	20
	Flexión Vertical	21
	Flexión Lateral	21
4.5.3.	<i>Rigidez a Torsión</i>	22
	Torsión Longitudinal	23
4.6.	ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS (FEM)	23
4.7.	NORMATIVA APLICABLE RFEDA/FIA	25
4.7.1.	<i>Reglamento Técnico</i>	25
	Características del Motor	25
	Batalla del vehículo	26
	Protecciones laterales	26
	Protección del piso a prueba de fuego	26
	Guardabarros	26
	Suspensión	26
	Depósito de combustible	27
	Peso máximo del vehículo	27
	Ruedas del vehículo	27
	Estructura de seguridad	28
	Dimensiones del Chasis	28
	Diseño del Car cross	28
5.	MODELADO DEL CHASIS	29
5.1.	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	29
5.2.	DISEÑO PRELIMINAR DEL CHASIS	30
5.2.1.	<i>Medidas iniciales del modelo</i>	30
5.2.2.	<i>Arco principal</i>	31
5.2.3.	<i>Arco frontal y barras de unión</i>	31
5.2.4.	<i>Semiarcos posteriores y barras de unión</i>	32
5.2.5.	<i>Barras laterales</i>	33
5.2.6.	<i>Refuerzo del arco principal y semiarco posterior</i>	34
5.2.7.	<i>Semiarco delantero</i>	34
5.2.8.	<i>Refuerzo protección lateral y parte inferior del chasis</i>	35
5.3.	DISEÑO INICIAL DEL CHASIS	36
6.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	37
6.1.	ANÁLISIS ESTABLECIDOS POR LA NORMA	37
6.1.1.	<i>Condiciones para ensayos de resistencia de materiales</i>	37
	Carga vertical	37
	Carga Longitudinal	38
	Carga Lateral	39
	Restricciones	39
	Dimensiones de tubos	40
	Cuadro de resumen	40
6.2.	APLICACIÓN DE MIEMBROS ESTRUCTURALES (SOLDADURA)	41
6.2.1.	<i>Uniones</i>	43
6.3.	SELECCIÓN DEL MATERIAL	44
6.4.	SIMULACIÓN POR MEDIO DE FEM	47
6.5.	REFINAMIENTO DEL MALLADO	48
6.6.	CÁLCULO DE LA RIGIDEZ TORSIONAL	51
	MODELO 1	52
	MODELO 2	55

6.7.	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS	57
6.7.1.	<i>Resultado análisis de carga vertical.....</i>	57
6.7.2.	<i>Resultados de Análisis de carga longitudinal</i>	59
	ANÁLISIS DELANTERO.....	59
	ANÁLISIS POSTERIOR.....	60
6.7.3.	<i>Resultados de Análisis de carga lateral</i>	62
7.	CONCLUSIONES.....	64
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	65
9.	ANEXOS	67

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1/CAMPEONATO DE AUTOCROSS DE ESPAÑA.	4
ILUSTRACIÓN 2/PISTA DE AUTOCROSS A CORUÑA ESPAÑA.....	5
ILUSTRACIÓN 3/DIVISIONES O CATEGORÍAS DEL CAMPEONATO DE AUTOCROSS.....	6
ILUSTRACIÓN 4/MONOPLAZA CAR CROSS.....	6
ILUSTRACIÓN 5/ CHASIS CAR CROSS.....	7
ILUSTRACIÓN 6/ CHASIS DE UN VEHÍCULO.	7
ILUSTRACIÓN 7/ CHASIS TUBULAR.....	8
ILUSTRACIÓN 8/ CHASIS MONOCASCO.....	8
ILUSTRACIÓN 9/ CAR CROSS MODELO XTREM.....	10
ILUSTRACIÓN 10/ CAR CROSS MODELO TTX.....	11
ILUSTRACIÓN 11/ CAR CROSS MODELO YACAR CROSS.....	12
ILUSTRACIÓN 12/CAR CROSS MODELO DEMON CAR.....	13
ILUSTRACIÓN 13/CAR CROSS MODELO CASMAT.....	14
ILUSTRACIÓN 14/ CAR CROSS MODELO KINCAR.....	15
ILUSTRACIÓN 15/EJE DE BALANCEO.	16
ILUSTRACIÓN 16/ANCHO DE VÍA DE UN VEHÍCULO.....	17
ILUSTRACIÓN 17/ TABLA DE MEDIDAS "PERCENTIL 95".....	17
ILUSTRACIÓN 18/ POSICIÓN Y MEDIDAS DEL PILOTO.....	18
ILUSTRACIÓN 19/MEDIDAS DEL ASIENTO BAQUET SPARCO CIRCUIT.....	19
ILUSTRACIÓN 20/FLEXIÓN VERTICAL.....	21
ILUSTRACIÓN 21/FLEXIÓN LATERAL.....	22
ILUSTRACIÓN 22/ ENSAYO DE TORSIÓN.....	22
ILUSTRACIÓN 23/ DEFORMACIÓN POR LA TORSIÓN LONGITUDINAL.....	23
ILUSTRACIÓN 24/ELEMENTO MALLADO.....	24
ILUSTRACIÓN 25/ MODELACIÓN POR MÉTODO MEF O FEM.....	25
ILUSTRACIÓN 26/DISEÑO MÍNIMO DE LA ESTRUCTURA DEL CAR CROSS.....	29
ILUSTRACIÓN 27/DIMENSIONES MÁXIMAS DEL DISEÑO.....	30
ILUSTRACIÓN 28/ MODELADO DEL ARCO PRINCIPAL.....	31
ILUSTRACIÓN 29/ MODELADO DEL ARCO FRONTAL.....	32
ILUSTRACIÓN 30/ MODELADO DE BARRAS LONGITUDINALES EN LA PARTE INFERIOR Y SUPERIOR.....	32
ILUSTRACIÓN 31/ MODELADO DEL SEMIARCO POSTERIOR Y BARRAS DE UNIÓN.....	33
ILUSTRACIÓN 32/ MODELADO DE BARRAS LATERALES.....	33
ILUSTRACIÓN 33/ MODELADO DE REFUERZOS EN ARCO PRINCIPAL Y SEMIARCO POSTERIOR.....	34
ILUSTRACIÓN 34/ MODELADO DE SEMIARCO DELANTERO.....	34
ILUSTRACIÓN 35/ REFUERZO DE PROTECCIÓN LATERAL.....	35
ILUSTRACIÓN 36/ REFUERZOS DE LA PARTE INFERIOR DEL CHASIS.....	35
ILUSTRACIÓN 37/ DISEÑO PRELIMINAR.....	36
ILUSTRACIÓN 38/ ENSAMBLAJE DE COMPONENTES Y PILOTO EN EL CHASIS.....	36
ILUSTRACIÓN 39/ZONA DE APLICACIÓN DE FUERZA VERTICAL.....	37
ILUSTRACIÓN 40/ZONA DE APLICACIÓN CARGA LONGITUDINAL (DELANTERA Y POSTERIOR).....	38
ILUSTRACIÓN 41/ZONA DE APLICACIÓN DE CARGAS.....	39
ILUSTRACIÓN 42/ PUNTOS DE FIJACIÓN DEL CHASIS (MARCAS VERDES).....	39
ILUSTRACIÓN 43/DISEÑO MÍNIMO DEL CHASIS.....	40
ILUSTRACIÓN 44/ COMANDO PIEZA SOLDADA.....	41
ILUSTRACIÓN 45/ COMANDO MIEMBRO ESTRUCTURAL.....	42

ILUSTRACIÓN 46/ APLICACIÓN DE PERFILES TUBULARES AL DISEÑO.....	42
ILUSTRACIÓN 47/ SELECCIÓN DE DIÁMETRO Y ESPESOR DEL PERFIL TUBULAR	43
ILUSTRACIÓN 48/ DISEÑO INICIAL CON MIEMBROS ESTRUCTURALES.	43
ILUSTRACIÓN 49/ UNIÓN DE TUBOS CON IMPERFECCIONES.....	44
ILUSTRACIÓN 50/ UNIÓN DE TUBOS RECORTADA	44
ILUSTRACIÓN 51/ CARGA APLICADA EN LA PARTE SUPERIOR CON ACERO A36.....	46
ILUSTRACIÓN 52/CARGA APLICADA EN LA PARTE SUPERIOR CON ACERO A500.....	47
ILUSTRACIÓN 53/CARGA APLICADA EN LA PARTE SUPERIOR CON ACERO ALEADO 25CrMo4.	47
ILUSTRACIÓN 54/ CALIDAD DE MALLA (GRUESA).....	48
ILUSTRACIÓN 55/ CALIDAD DE ELEMENTOS DE MALLA (GRUESA)	48
ILUSTRACIÓN 56/MALLADO DEL CHASIS (MALLA GRUESA)	49
ILUSTRACIÓN 57/ REFINAMIENTO DEL MALLADO DEL CHASIS.....	49
ILUSTRACIÓN 58/ MALLA FINA	49
ILUSTRACIÓN 59/ DETALLE DE NODOS Y ELEMENTOS DE LA MALLA	50
ILUSTRACIÓN 60/ CALIDAD DE MALLA DEL 83%	50
ILUSTRACIÓN 61/ CALIDAD DE ELEMENTOS DE MALLA FINA.....	51
ILUSTRACIÓN 62/ PUNTOS FIJOS PARTE POSTERIOR DEL CHASIS.....	51
ILUSTRACIÓN 63/ APLICACIÓN DE MOMENTO EN PUNTOS DE ANCLAJE DE SUSPENSIÓN.....	52
ILUSTRACIÓN 64/ DEFORMACIÓN EN ANÁLISIS DE TORSIÓN	53
ILUSTRACIÓN 65/ CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS EN ANÁLISIS DE TORSIÓN	53
ILUSTRACIÓN 66/ FACTOR DE SEGURIDAD EN ANÁLISIS DE RIGIDEZ	54
ILUSTRACIÓN 67/ DEFORMACIÓN EN ANÁLISIS DE TORSIÓN 2.....	55
ILUSTRACIÓN 68/ CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS EN ANÁLISIS DE TORSIÓN 2	56
ILUSTRACIÓN 69/ FACTOR DE SEGURIDAD EN ANÁLISIS DE RIGIDEZ 2.....	56
ILUSTRACIÓN 70/ DEFORMACIÓN MÁXIMA CARGA VERTICAL.....	58
ILUSTRACIÓN 71/ MÁXIMA CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS EN EL CHASIS.....	58
ILUSTRACIÓN 72/ FACTOR DE SEGURIDAD DEL CHASIS.....	59
ILUSTRACIÓN 73/ DEFORMACIÓN MÁXIMA ANÁLISIS LONGITUDINAL DELANTERO	59
ILUSTRACIÓN 74/ MÁXIMA CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS EN ANÁLISIS LONGITUDINAL DELANTERO	60
ILUSTRACIÓN 75/ FACTOR DE SEGURIDAD ANÁLISIS FRONTAL	60
ILUSTRACIÓN 76/ DEFORMACIÓN MÁXIMA EN ANÁLISIS POSTERIOR	61
ILUSTRACIÓN 77/ MAYOR CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS ANÁLISIS POSTERIOR.....	61
ILUSTRACIÓN 78/ FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO ANÁLISIS POSTERIOR.....	62
ILUSTRACIÓN 79/ DEFORMACIÓN MÁXIMA ANÁLISIS LATERAL.	62
ILUSTRACIÓN 80/ CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS ANÁLISIS LATERAL	63
ILUSTRACIÓN 81/ FACTOR DE SEGURIDAD EN ANÁLISIS LATERAL.....	63

INDICE DE TABLAS

TABLA 1/ CARACTERÍSTICAS CHASIS MODELO XTREM.	9
TABLA 2/ CARACTERÍSTICAS CHASIS MODELO TTX	10
TABLA 3/ CARACTERÍSTICAS CHASIS MODELO YACAR CROSS	11
TABLA 4/CARACTERÍSTICAS CHASIS MODELO DEMON CAR	12
TABLA 5/CARACTERÍSTICAS CHASIS MODELO CASMAT	13
TABLA 6/DATOS CHASIS MODELO KINCAR	14
TABLA 7/ PESOS MÁXIMOS DEL VEHÍCULO.	27
TABLA 8/ DIMENSIONES MÍNIMAS DE TUBOS.	40
TABLA 9/ RESUMEN DE CARGAS APLICABLES	41
TABLA 10/ PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN DE ACEROS.	45

1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos monoplasas tipo Autocross llegaron a América en los años 80's estos fueron trasladados desde Francia, los monoplasas son manufacturados por medio de perfiles tubulares que tienen el objetivo de participar en las competencias denominadas Car cross, los monoplasas cuentan con una excelente relación entre su rigidez torsional y su peso ya que cuenta con una estructura tubular que les permite tener un funcionamiento óptimo durante una competencia. (Fernández & Latorre, 2017)

El Autocross es una competencia que exige una gran habilidad y destreza al volante, debido a estas exigencias el chasis es el elemento más importante por la función de soportar diversos elementos del vehículo. Esta razón nos motivó a diseñar un chasis tubular para Autocross que cumpla con expectativas internacionales de la FIA/RFEDA.

En primera instancia, se realizará el estudio del estado del arte referente al diseño de un chasis de Autocross, basándose en revisiones bibliográficas, con el fin de entender la estructura de un chasis de Autocross.

Por consiguiente, se diseñará un modelo con la ayuda de un software CAD que cumpla las funciones y conceptos de geometría, dimensiones, parámetros ergonómicos con la reglamentación vigente de la FIA/RFEDA.

Finalmente, se analizará la seguridad del chasis sometiéndolo a diferentes pruebas en un software MEF, este análisis nos permitirá comprobar si el diseño modelado es seguro y que cumple con todos los parámetros determinados por el reglamento.

2. PROBLEMA

Debido al gran número de competencias automovilísticas que se han creado en los últimos años los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de todas las universidades han optado por realizar una investigación a fondo de los varios tipos de vehículos monoplazas que existen, con el fin de desarrollar sus capacidades en lo que respecta al diseño para poder manufacturar estos monoplazas y participar en las competencias nacionales e internacionales existentes. (Andino & Zuñiga, 2012)

El chasis es la parte más importante del vehículo monoplaza, este debe estar diseñado de tal manera que todos los componentes que debe poseer sean capaces de adaptarse a él sin ningún problema y brindar la máxima seguridad al piloto. Es indispensable que el diseño del chasis sea excelente debido a que si este no cumple con todas sus funciones de manera óptima el vehículo no tendrá un buen desempeño y en caso de accidentes el piloto correrá riesgo, el reglamento es muy exigente en lo que respecta al diseño ya que este debe brindar una seguridad muy alta debido a esto se debe seleccionar el material adecuado para la estructura. (Corral, y otros, 2015)

Actualmente no existe una competencia en el país adecuada para vehículos de Autocross, debido a esto los pocos diseños que se han realizado no se rigen en normas técnicas, estos son realizados de forma empírica basados en la experiencia de las personas que practican este deporte por recreación o hobby, por lo que se vio la necesidad de realizar un diseño de un chasis destinado al Autocross respetando parámetros de diseño, normativas y análisis estructurales.

2.1. Importancia

Nuestro proyecto se enfoca en diseñar un chasis monoplaza tipo Autocross, este monoplaza será de gran importancia para la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz en el ámbito investigativo, así como también para la motivación de innovación de los estudiantes de la carrera, el objetivo es diseñar un chasis que tenga el mejor desempeño

en pista, con un peso mínimo y que cumpla las necesidades que se requieren en una competencia de este tipo.

2.2. Delimitación

La delimitación de este proyecto de titulación es el análisis que se realizará al chasis, ya que está enfocado específicamente en determinar el comportamiento que este tendrá frente a una colisión frontal, los resultados que se obtendrán de esta prueba nos servirán para poder ir corrigiendo el diseño mejorando sus puntos débiles con el fin de obtener un chasis el cual pueda absorber la fuerza de impacto y garantice la seguridad del piloto.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Diseñar un chasis monoplace tipo Autocross según la normativa FIA.

3.2. Objetivos Específicos

- Estudiar el diseño de chasis monoplace tipo Autocross mediante el estado del arte para la aplicación de la reglamentación FIA.
- Diseñar un modelo de chasis monoplace tipo Autocross, mediante la asistencia de un software CAD, para evaluar la resistencia estructural.
- Analizar el chasis monoplace tipo Autocross mediante pruebas en un software MEF, para determinar su seguridad.

4. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

Este capítulo resume pautas importantes sobre el desarrollo de chasis tubular. Por lo cual se debe conocer de modo preciso el propósito de un vehículo de Autocross, con sus respectivas exigencias establecidas en el reglamento. A continuación, se realiza un estudio sobre los vehículos monoplazas de competencia con parámetros de la RFEDA/FIA.

4.1. El Autocross

Es una modalidad automovilística la cual consta de diversas categorías, en España estas competencias están regladas bajo la RFEDA y la FIA. Existen diferentes campeonatos dentro del Autocross para cada una de sus categorías. (Esain, Amurrio, & Sábada, 2014)



Ilustración 1/Campeonato de Autocross de España.

Fuente: <https://ceax-autocross.com/galeria/>

Esta categoría se la realiza en pistas de lastre que tienen varios kilómetros de recorrido con extensiones entre 12 y 16 metros, antes de iniciar la competencia los vehículos de las diferentes categorías tienen que pasar por varias comprobaciones con el propósito de verificar que cumplan con el reglamento técnico de la RFEDA. (Rodríguez, 2018)



Ilustración 2/Pista de Autocross A Coruña España.

Fuente: <http://www.todoautocross.com/circuitos-cto-espana/>

4.1.1. Competencia

Los campeonatos constan de una sesión de calificación la cual está dividida en 3 mangas clasificatorias y tres finales dependiendo del número de clasificados. La organización de este campeonato determina si se realizan entrenamientos libres los días viernes y sábados por la mañana, cada división de este campeonato realiza sus sesiones independientes. (RFEDA, REGLAMENTO DEPORTIVO, 2019)

A continuación, se presentan las actividades que se cumplen en el desarrollo de la competencia:

- Entrenamientos oficiales
- Clasificatorias
- Final

Los entrenamientos oficiales son obligatorios para todos los inscritos en el campeonato, estos entrenamientos serán cronometrados que tendrán una duración de 10 minutos. Las carreras clasificatorias serán cronometradas que nos dará el tiempo total de la carrera, esta carrera terminará en el momento que se cumplan 3 minutos después de que haya pasado el primer participante. (RFEDA, REGLAMENTO DEPORTIVO, 2019)

Existen 3 tipos de finales cada una de estas tiene sus distancias reglamentadas, en caso de que sea una final C la distancia que deberán recorrer es de 6 a 8 Km, una final B tiene un recorrido similar al de la C de 6 a 8 Km y si es una final A la distancia será de 8 a 12 Km.

4.1.2. Divisiones o Categorías

El campeonato de Autocross cuenta con diversas divisiones reglamentadas por la RFEDA/FIA, en la ilustración 6 se puede observar todas las divisiones que existen en este campeonato con sus respectivos grupos, de las 7 divisiones existentes este proyecto se enfoca en la división denominada Car Cross debido a que el diseño de chasis que se realizará pertenece a este tipo de vehículos monoplace.

DIVISIÓN	GRUPO	ABREVIATURA	REGLAMENTO
I	World Rally Car (WRC)	WRC	Art. 255/255A - Anexo J + RFEA
	Kit Car	KC	Art. 255 - Anexo J + RFEA
	A	A	Art. 255 - Anexo J + RFEA
	N	N	Art. 254 - Anexo J + RFEA
	Prototipo E1 Nacional	E1N	RFEA
	Prototipo E2 Nacional	E2N	RFEA
II	II	II	Art. 254 - Anexo J + RFEA
Off Road Series	Off Road Series	ORS	Art. 254 - Anexo J + RFEA
III	Super Buggy	SB	Art. 279A - Anexo J
Car Cross	Car Cross	CC	RFEA
Car Cross Promoción	Car Cross Promoción	CC Promo	RFEA
Junior Car Cross	Junior Car Cross	Jr CC	RFEA

Ilustración 3/Divisiones o categorías del campeonato de Autocross.

Fuente: (RFEDA, Reglamento tecnico de Autocross, 2019)

4.1.3. Monoplaza Car Cross

El Autocross o monoplaza Car Cross como los denomina la RFEDA son pequeños monoplazas fabricados para carreteras de tierra, pero debido a las variaciones de sus diseños originales y las mejoras que se realizaron progresivamente se utilizan en diferentes competencias automovilísticas. Son vehículos rápidos, de bajo peso y gran potencia que pueden alcanzar grandes velocidades.



Ilustración 4/Monoplaza car cross

Fuente: <http://www.mvracingcarmacross.com/>

En Francia se los conoce como Crosscar, los vehículos que entran en esta descripción son los que tienen la suspensión de tal manera que cada neumático trabaje sin afectar al resto, debe tener una jaula de protección y cinturones tipo arnés, los karts no entran en la categoría car cross debido a la configuración de sus sistemas. (Rodríguez, 2018)



Ilustración 5/ Chasis car cross

Fuente: <http://www.mvracingcarmacross.com>

4.2. El chasis

El chasis es un elemento estructural de gran importancia, el cual está encargado de múltiples parámetros entre ellos proporcionar seguridad al ocupante o los ocupantes y además de alojar a los diversos elementos y sistemas adicionales que forman el conjunto llamado vehículo. Un factor de diseño sustancial es precautelar la integridad de los ocupantes en la poca probable circunstancia de colisión, dado este caso la estructura tiene que deformarse progresivamente con el fin de disipar la mayor cantidad de energía. Este componente fundamental permite el soporte a diversos elementos del vehículo en estado dinámico como aceleración, frenado o transferencias de masas, por lo cual debe tener una resistencia a la deformación.

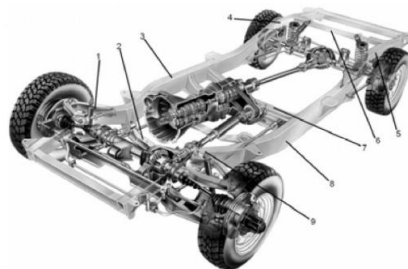


Ilustración 6/ Chasis de un vehículo.

Fuente: (Pérez J. A., 2010)

4.2.1. Chasis tubular

Es el más usado por diversas fórmulas de distintas competencias con materiales como aluminio, acero, aleaciones de titanio, magnesio, cuya estructura está compuesta por distintos miembros de perfilaría redonda, que al colocarlos en una adecuada triangulación brindan una mayor resistencia con una estructura liviana. La desventaja de este tipo radica en la dificultad durante su fabricación.

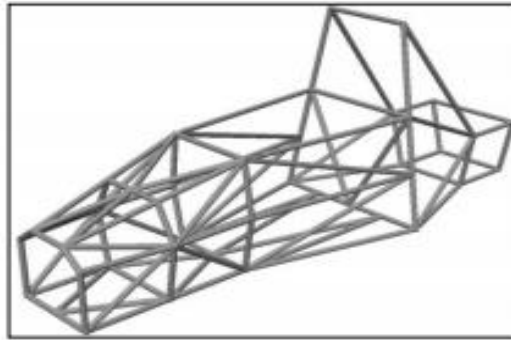


Ilustración 7/ Chasis tubular

Fuente: (Terán & Rivadeneira, 2013)

4.2.2. Chasis monocasco

Dentro de las ventajas de este tipo, en primer lugar, es la característica de reducir restricciones de diseño como también de construcción el cual consta de dos secciones una que es el monocasco para el conductor compuesto principalmente por fibras que brinda una alta resistencia como la de carbón, honeycomb y kevlar. Como complemento una estructura tubular para otros implementos del vehículo como el motor, tren motriz y suspensión.



Ilustración 8/ Chasis Monocasco

Fuente: (Terán & Rivadeneira, 2013)

4.2.3. Tipos de chasis tubulares usados en Autocross.

Se realizó una investigación sobre las empresas fabricantes de chasis monoplasas para Autocross con el objetivo de recopilar datos que nos ayuden a realizar un buen diseño, en caso de que estos tengan algún error se lo podría corregir y mejorar nuestro diseño. .

Los primeros fabricantes que se investigaron fueron Industrias Lahoz que se especializan en el diseño y construcción de autos de carrera para Autocross, esta empresa fabrica los prototipos Xtrem y TTX para la categoría car cross estos modelos han sido muy exitosos demostrándolo con el gran número de campeonatos obtenidos durante sus años de competencia, esta empresa compite bajo el nombre de SPEEDCAR, a continuación, se presentan los datos de los modelos Xtrem y TTX.

Modelo Xtrem

Tabla 1/ Características chasis modelo XTREM.

Fuente: <http://www.speed-car.com/xtrm.html>

CARÁCTERÍSTICAS	
Chasis	Perfil tubular de acero con diámetro de Φ 40 x 2 mm de espesor.
Armazón	Fibra de vidrio.
Largo/Ancho/Alto	2600 / 1500 / 1100 mm
Dirección	Una vuelta y cuarto de extremo a extremo
Peso	312 Kg



Ilustración 9/ Car cross modelo XTREM

Fuente: <http://www.speed-car.com/xtrm.html>

Modelo TTX

Tabla 2/ Características chasis modelo TTX

Fuente: <http://www.speed-car.com/ttx.html>

CARÁCTERÍSTICAS	
Estructura Principal	Multitubular, tubo de acero Cromo Molibdeno Φ 50 x 2 mm, Φ 40 x 2 mm y Φ 30 x 2 mm
Carrocería	Fibra de vidrio.
Largo/Ancho/Alto	3100 / 1860 / 1300 mm
Dirección	Asistida regulable, una vuelta y cuarto de extremo a extremo
Peso	480 Kg



Ilustración 10/ Car cross modelo TTX

Fuente: <http://www.speed-car.com/ttx.html>

Modelo Yacarcross

Otra empresa fabricante de chasis para Car cross que se investigó es Yacarcross, esta empresa fue recientemente creada, fundada por Perfecto Calviño Campeón de España en la categoría Car cross, debido a su experiencia y amplio conocimiento en el Car cross su monoplaza tiene un diseño idóneo que les ha permitido obtener un gran número de victorias en los diferentes campeonatos de Autocross. A continuación, se presentan los datos del modelo Yacarcross.

Tabla 3/ Características chasis modelo YACAR CROSS

Fuente: <https://www.yacarcross.es/vehiculos/kartcross>

CARÁCTERÍSTICAS	
Estructura Principal	Estructura tubular fabricada en acero con aleación cromo-molibdeno
Carrocería	Fibra de vidrio
Largo/Ancho/Alto	2600 / 1600 /1200 mm
Dirección	Rápida con una vuelta de tope a tope
Peso	320 Kg



Ilustración 11/ Car cross modelo YACAR CROSS

Fuente: <https://www.yacarcross.es/vehiculos/kartcross>

Modelo Demon Car

La empresa OSONA PERFIL se especializa en el diseño y fabricación de vehículos de competición para Car cross bajo el nombre de DEMON CAR, estos modelos de Car cross son considerados los mejores debido al gran equilibrio que posee el vehículo entre tracción y dirección. A continuación, se indican las características que posee esta marca de vehículos.

Tabla 4/Características chasis modelo DEMON CAR

Fuente: <http://www.demoncar.es/car-cross/>

CARÁCTERÍSTICAS	
Estructura Principal	Tubular con tubo Cromo Molibdeno Φ 40 x 2 mm sin soldadura
Carrocería	Fibra de vidrio.
Largo/Ancho/Alto	2600 / 1500 / 1100 mm
Dirección	Rápida tres cuartos
Peso	315 Kg



Ilustración 12/Car cross modelo DEMON CAR

Fuente: <http://www.demoncar.es/car-cross/>.

Modelo Casmat

Continuando con la investigación está la empresa Casmat Engineer S.L. Motorsport fundada en 2007 esta empresa realiza varios proyectos entre los que tenemos: preparaciones, modificaciones, estudios, diseño, restauraciones y reparación de vehículos para competencia, debido a toda esta experiencia que poseen su monoplaza car cross cuenta con toda la tecnología y un diseño idóneo para competencias de Autocross

Tabla 5/Características chasis modelo CASMAT

Fuente: <https://www.casmatmotor.com/>

CARÁCTERÍSTICAS	
Estructura Principal	Perfil tubular de acero no aleado, estirado al frío, sin soldadura.
Carrocería	Fibra de vidrio, duraluminio
Largo/Ancho/Alto	2600 / 1500 / 1100 mm
Dirección	Una vuelta y cuarto de extremo a extremo
Peso	315 Kg



Ilustración 13/Car cross modelo CASMAT

Fuente: <https://www.casmatmotor.com/>

Modelo Kincar

Finalmente, está la empresa KINCAR especializada en monoplazas car cross, esta empresa cumple con los más altos estándares de fabricación teniendo un especial cuidado al momento de seleccionar materiales y componentes, el diseño de su car cross es impresionante debido a lo fácil que es adaptarse a él, lo bien que trabajan sus sistemas y la seguridad que posee.

Tabla 6/Datos chasis modelo KINCAR

Fuente: <https://www.kincar.es/>

CARÁCTERÍSTICAS	
Estructura Principal	Estructura de perfil tubular de acero al carbono con diámetros de Φ 40 y 30 mm
Carrocería	Fibra en 3 piezas
Largo/Ancho/Alto	2600 / 1600 / 1100 mm
Dirección	Dirección rápida con carcasa de aluminio forjado de diseño exclusivo
Peso	360 Kg



Ilustración 14/ Car cross modelo KINCAR

Fuente: <https://www.kincar.es/>

4.3. Conceptos de diseño para chasis

4.3.1. Funcionalidad dimensiones

Para el diseño de nuestro chasis debemos determinar las dimensiones de longitud, altura y ancho, que nos permitan una correcta conducción, estabilidad y una fácil instalación de los componentes mecánicos que nos proporcionen un buen funcionamiento del monoplaça.

Se realizó un análisis del reglamento técnico de la RFEDA/FIA, que hace referencia a las dimensiones del chasis (como se indica en el punto 4.8) que debe poseer un Car cross para participar en los diferentes campeonatos existentes.

4.3.2. Peso y su distribución

El piloto y el motor son los que determinan el reparto de pesos en los monoplaças, por el diseño que tienen estos vehículos las dimensiones que posee para los componentes suelen ser pequeñas lo que dificulta adaptar los componentes del vehículo al chasis, en especial en la parte posterior del vehículo dónde se ubican los elementos que le dan tracción, debido a esto este modelo será diseñado de tal forma que permita la fácil adaptación de

los componentes sin tener que modificar la posición del piloto. (Fernández & Latorre, 2017)

Un factor sumamente importante es el balanceo que se produce en el vehículo cuando toma una curva, cuando el vehículo gira alrededor de un eje se lo conoce como eje de balanceo. Encontrar el centro de balanceo cuando el vehículo está estacionado es fácil ya que solo se debe realizar cálculos geométricos, el problema se encuentra cuando el vehículo se encuentra en movimiento debido a que el centro de balanceo cambia constantemente este cambio se da por fuerzas de inercia que afectan el centro de gravedad, el centro de gravedad de estar cerca del centro de balanceo debido a que si aumenta la distancia del centro de gravedad aumenta distancia del centro de balanceo. (Esain, Amurrio, & Sábada, 2014)

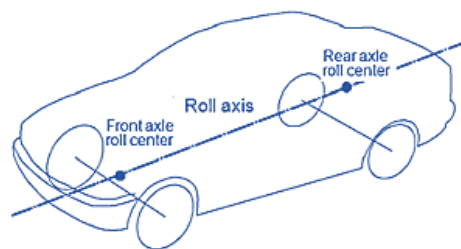


Ilustración 15/Eje de balanceo.

Fuente: <https://decarreteres.com/2015/12/04/centro-de-balanceo-roll-center/>

Es muy importante para realizar el diseño que el centro de gravedad este lo más cercano al piso ya que de esa forma este tendrá una mayor estabilidad, se debe tener en cuenta los pesos de los componentes del vehículo ya que estos alteran la ubicación del centro de gravedad, debido a que el monoplaza no alcanzará grandes velocidades se tratará de ubicar el centro de gravedad en la parte central del vehículo y su barra propulsora con esto se podrá aumentar el empuje del monoplaza.

4.3.3. Ancho de vía

Es la longitud que existe entre el eje de la rueda derecha hacia el eje de la rueda izquierda. No es necesario que coincida el ancho de vía delantero con el posterior, un mayor ancho

de vía proporciona una mayor estabilidad al monoplaza, sin embargo, un mayor ancho de vía aumenta el trabajo y la rigidez que soporta el chasis. (Fernández & Latorre, 2017)



Ilustración 16/Ancho de vía de un vehículo

Fuente: <http://homologacionitv.es>

4.4. Ergonomía

4.4.1. Ergonomía del Piloto.

(Fernández & Latorre, 2017) señalan que las medidas que se distribuyen en la cabina son basadas en el modelo “Percentil 95”, este modelo establece un promedio de medidas que el 95% de la gente posee o son menores a estos valores establecidos. En la ilustración 17 se establece la longitud, altura, inclinación y ángulos que debe poseer el piloto según el “Percentil 95”.

Nombre	Valor
Longitud del pie.	30cm
Angulo del pie con la pierna.	90°
Longitud de la pierna.	53cm
Longitud del muslo.	51cm
Altura del piso a la cadera.	20cm
Longitud del torso.	55cm
Inclinación del torso respecto a la vertical.	15°
Longitud del antebrazo.	35cm
Inclinación del antebrazo con respecto a la vertical.	10°
Longitud del brazo.	30cm
Diámetro del casco.	35cm

Ilustración 17/Tabla de medidas "Percentil 95"

Fuente: (Fernández & Latorre, 2017)

Se deben tener en cuenta para el diseño del chasis otros aspectos importantes como la posición del piloto ya que debe estar correctamente sentado con los cinturones tipo arnés enganchados de tal manera que en esta posición sea capaz de controlar los mandos ubicados frente a él que sirven para realizar cortes de corriente y parar el motor. Se debe tener en cuenta las medidas establecidas en la ilustración 17 ya que con las dimensiones, ángulos y longitudes del cuerpo se selecciona el asiento del vehículo. (Fernández & Latorre, 2017)

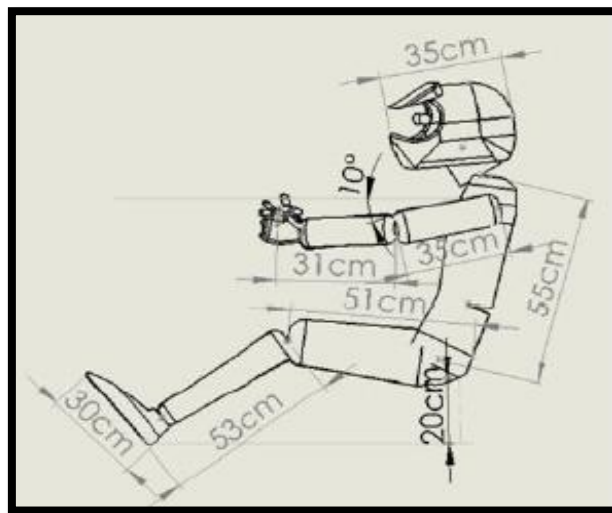


Ilustración 18/ Posición y medidas del piloto

Fuente: (Fernández & Latorre, 2017)

Dentro de los aspectos más importantes está la seguridad del piloto, este deberá poder salir del vehículo con facilidad, contar con cinturones y un asiento los cuales deben ser homologados por normativa FIA.

4.4.2. Asiento del piloto

Para comenzar a diseñar hay que basarse en las medidas promedio del cuerpo de los pilotos con una altura de 170 centímetros, con lo cual podemos obtener el asiento necesario para esta altura, la normativa nos impone que el asiento debe ser homologado por lo que al momento de revisar la norma de homologación se determinó que uno de los asientos más utilizados es el Baquet Sparco ADV-ELITE Carbono.

Este asiento cuenta con la homologación FIA 8862-2009, tiene una armazón de fibra de carbono con refuerzo en “X” en la parte trasera y protección contra impactos laterales, tiene un peso de 7,8 kg y posee fijaciones laterales homologadas con soportes 004988.

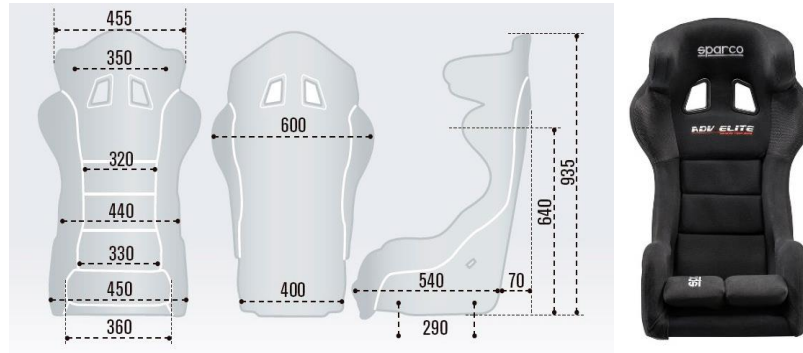


Ilustración 19/Medidas del asiento Baquet Sparco CIRCUIT

Fuente <http://www.baquetscompeticion.com/>

4.4.3. Dimensiones de la cabina

(FIA, Appendix J 2019 - Article 279A, 2019) nos señala que el ancho de la cabina debe ser inferior a 60 cm, la cabina por ningún motivo debe tener partes afiladas o puntiaguda esto con el fin de evitar cualquier daño al conductor, las barras antivuelco de protección deben tener la altura apropiada estas deben pasar al menos 5cm por la parte de arriba del casco del conductor en condiciones de carrera.

Para aumentar la protección del piloto el reglamento establece que el vehículo debe tener un panel de techo rígido, este debe estar compuesto por una lámina de acero con un espesor mínimo de 1,5mm, o de aleación de aluminio o material compuesto con espesor mínimo de 3mm la unión de este panel con los tubos debe ser por medio de pernos M6.

Para evitar las fracturas de manos o brazos es obligatorio instalar protecciones laterales a los costados del chasis donde queda descubierta la cabina, estas protecciones pueden realizarse de la siguiente manera:

- Se puede utilizar una red con una malla de 6x6cm compuesta por cordones con diámetro no menos a 3mm, o con una malla de 10x10 mm y 25x25mm, esta debe poseer un diámetro de 1mm.

- También se puede utilizar una rejilla de alambre con una malla de 6x6cm con un diámetro mínimo de 2mm, o con una malla de 10x10 mm y 25x25mm el diámetro mínimo de los cables que forman esta malla debe ser de 1mm
- Esta rejilla debe estar unida por dos bisagras en la parte superior y tener un dispositivo externo de liberación rápida en la parte inferior, también accesible desde el interior del automóvil permitiendo que la rejilla se balancee hacia arriba a una posición vertical.

4.5. Resistencia y rigidez

4.5.1. Principios de rigidez

La rigidez es la disposición que tiene la estructura para resistir grandes fuerzas sin que se produzcan grandes alteraciones en la estructura. Para determinar las formas de rigidez que puede sufrir la estructura nos basamos en la siguiente expresión: (Rodríguez, 2018)

$$K = \frac{F}{\delta}$$

F, Fuerza en MPA

δ , Desplazamiento en mm

4.5.2. Rigidez a Flexión

Este principio le permite a un elemento soportar un determinado esfuerzo a un material sin llegar a alterarse, el chasis tenderá a deformarse debido a los diferentes componentes que se encuentran acoplados y que se distribuyen a lo largo de este. (Rodríguez, 2018)

$$K_{flex,y} = \frac{M_y}{\theta_y} = \frac{E \cdot I_y}{L}$$

$$K_{flex,z} = \frac{M_z}{\theta_z} = \frac{E \cdot I_z}{L}$$

Flexión Vertical

El peso de los distintos componentes como el motor, tren de transmisión, sistema de refrigeración, accesorios y otras partes, además del conductor producen un efecto sobre el chasis llamado pandeo el cual llega a doblar el chasis como una viga por lo que la mayor deformación se presenta en el centro de gravedad y las cuatro ruedas son los apoyos que producen reacciones verticales hacia arriba de los ejes. Las fuerzas dinámicas tanto de aceleración o desaceleración pueden aumentar o disminuir la magnitud de estas tensiones. (Singh, 2010)

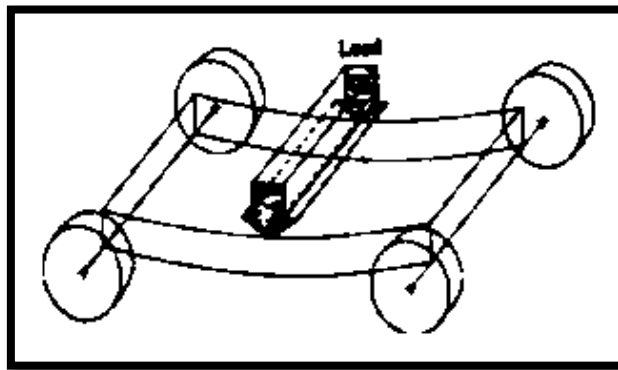


Ilustración 20/Flexión Vertical.

Fuente: (Singh, 2010)

Flexión Lateral

La flexión lateral ocurre debido a varias razones, una de estas es la fuerza centrífuga causada durante las curvas, otra razón es fuerza lateral que ejerce el viento. Estas fuerzas actúan a lo largo de la estructura misma que generan las reacciones resistidas por los ejes y a su vez por los neumáticos, la mayor deformación se genera en la parte central del chasis. (Singh, 2010)

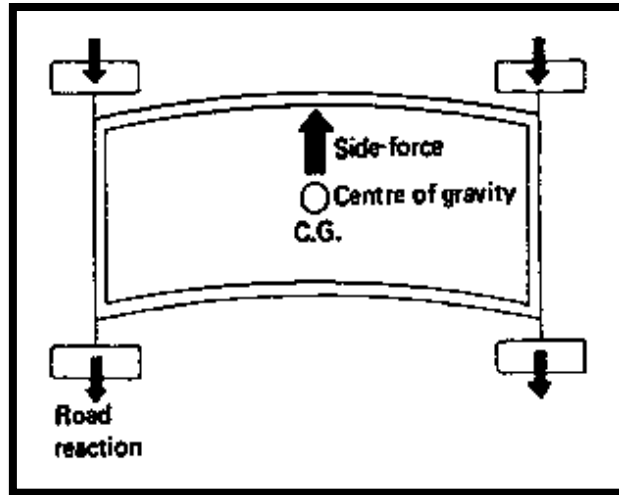


Ilustración 21/Flexión lateral.

Fuente: (Costales, 2011)

4.5.3. Rigidez a Torsión

La rigidez torsional se da cuando se somete un elemento a un momento torsor en un punto fijando su extremo contrario y el ángulo provocado se lo determina por la ecuación:

$$K_{tors} = \tau_{tors} = \frac{M_x}{\theta_x}$$

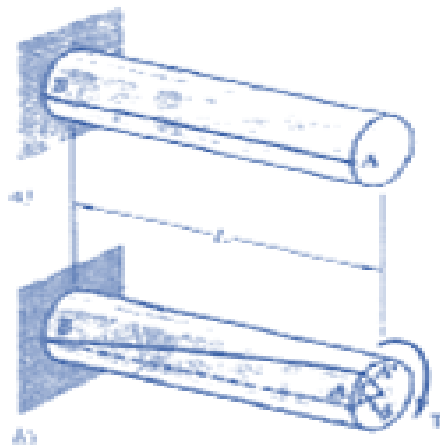


Ilustración 22/ Ensayo de torsión.

Fuente: (Esain, Amurrio, & Sábada, 2014)

Torsión Longitudinal

En el chasis de un vehículo las fuerzas tanto iguales como opuestas de un eje tienden a rotar el cuerpo sobre el mismo eje es por eso que los extremos donde actúan las cargas de la suspensión, carga torsional y la deformación influyen de manera directa en el diseño del chasis debido a las cargas presentes en la estructura que afectan el rendimiento y control, esto se puede evidenciar en los vehículos mientras se desplazan con diferentes magnitudes de fuerzas que actúan en dos esquinas opuestas. El valor de la rigidez torsional es expresado en unidades de $\frac{N.m}{grado}$ (Singh, 2010)

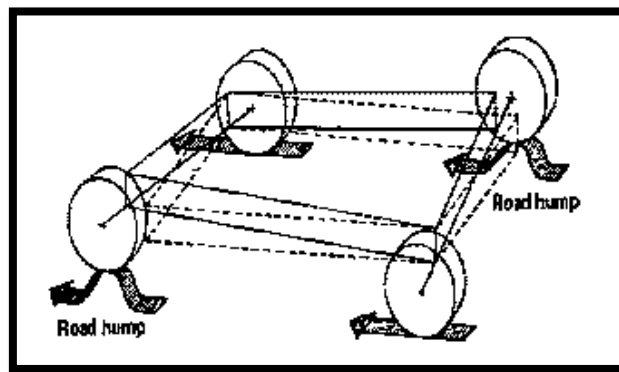


Ilustración 23/ Deformación por la torsión longitudinal.

Fuente: (Singh, 2010)

Con la investigación que se realizó sobre los criterios de rigidez se puede determinar que mientras una estructura tubular tenga un alto valor de rigidez torsional y el peso de este sea bajo obtendrá un buen desarrollo dinámico en una competencia, teniendo en cuenta estos parámetros se determinó que para nuestro diseño se tratará de obtener una rigidez torsional de $3500 \frac{(Newton)(metro)}{grado}$ con un peso aproximado de 50 Kg debido a una investigación que se realizó sobre diseño y análisis de monoplazas donde se concluyó que trabajan en torno a estos valores.

4.6. Análisis por elementos finitos (FEM)

Este método es muy útil para ingenieros y científicos ya que permite resolver rápidamente cálculos complejos, el método consiste en sustituir a la pieza que está siendo analizada en

muchos elementos finitos conectados entre sí para conformar un sistema completo con ecuaciones de equilibrio y poder llegar a una solución. (Costales, 2011)

El método posee 3 pasos que se deben realizar para poder llegar a solución de una estructura tubular. El primer paso del método FEM es realizar el mallado o discretización de la pieza, es decir, fraccionar la pieza que se va a analizar en elementos finitos, mientras se tengan más elementos y sean más pequeños la calidad de la malla va a ir aumentando debido a que los nodos que se forman estarán cercanos el uno con el otro y no existirá pérdida de información.

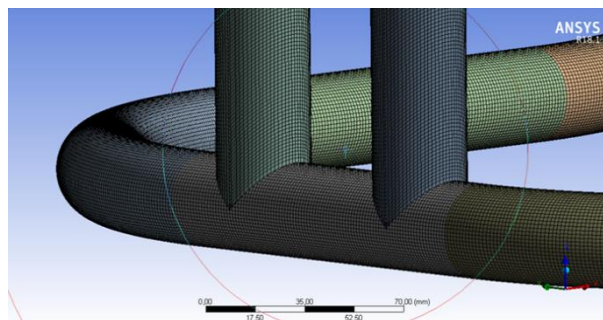


Ilustración 24/Elemento Mallado.

Fuente: Autores

La conformación de ecuaciones de equilibrio en el sistema es el segundo paso del método FEM, para esto se necesitan complejos procedimientos matemáticos denominados formulaciones, la formulación más conocida es la conformación de ecuaciones de equilibrio y la formulación basada en desplazamientos, nosotros nos centramos en el método de los desplazamientos ya que este método no solo aplica a barras y vigas, se puede aplicar a diferentes elementos estructurales por lo que tiene un amplio campo de problemas que se pueden solucionar con este método. (Costales, 2011)

Para explicar mejor el método FEM en su formulación basada en desplazamientos tiene por objetivo formar y resolver un sistema de ecuaciones del diseño a analizar, para lograr resolver el sistema de ecuaciones debe crear una matriz de rigidez global de toda la estructura la cual se basa en el principio de los desplazamientos virtuales conjuntamente con las teorías de cálculo de ingeniería y los polinomios de aproximación de los desplazamientos asumidos, lo primero que realiza este método es determinar la rigidez

elementales de todos los elementos finitos de la estructura y con los datos ingresados de fuerzas externas puede encontrar el vector incógnita que en este caso sería el desplazamiento llegando a la solución del sistema. (Costales, 2011)

A continuación, en la ilustración 25 se presenta el proceso de modelación del método MEF o FEM resumido en todas sus etapas.

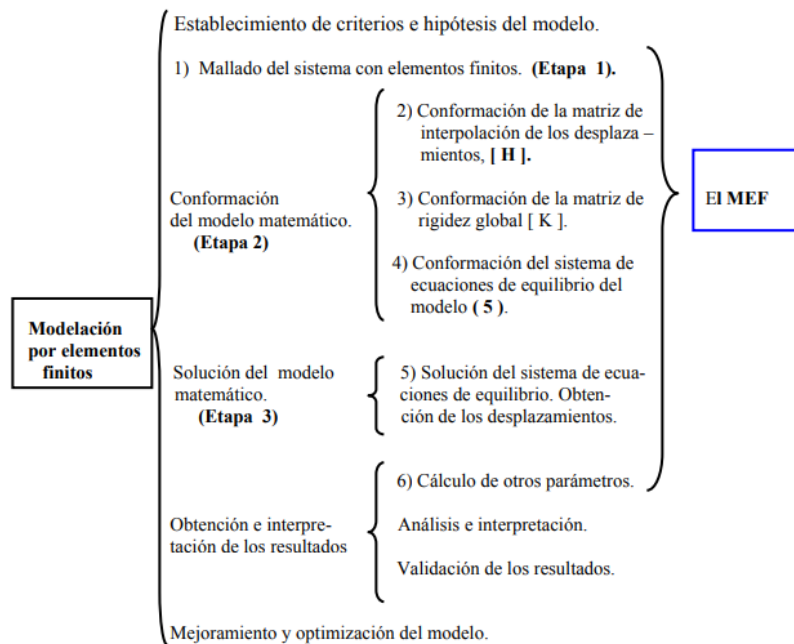


Ilustración 25/ Modelación por Método MEF o FEM.

Fuente: (Costales, 2011)

4.7. Normativa Aplicable RFEDA/FIA

A continuación, se presenta un resumen de las especificaciones que debe poseer el monoplaça car cross según RFEDA/FIA.

4.7.1. Reglamento Técnico

Características del Motor

El reglamento establece que la capacidad máxima del motor debe ser de 600cm^3 , nos indica que el motor debe poseer un aro protector si está ubicado en la parte trasera y el

aro debe proteger al escape. El tubo para este aro protector debe contar con un grosor de 1,5 mm y puede estar conectado en la parte inferior del vehículo o arco principal de la estructura.

Batalla del vehículo

Siempre respetando las dimensiones máximas establecidas anteriormente la batalla del vehículo es libre.

Protecciones laterales

Las estructuras laterales de protección deben ser de tubos de acero unidos sólidamente a cada lado del vehículo, en el apéndice J de la normativa nos indican las especificaciones del material para dichas protecciones, el reglamento nos indica que la parte más externa de la protección debe estar ubicada al nivel del centro de las ruedas, la longitud mínima que pueden poseer las protecciones debe ser el 60% de la batalla del vehículo.

Protección del piso a prueba de fuego

La protección del piso de estar fija en el automóvil esta debe ser a prueba de fuego y hermética a líquidos, el reglamento establece que debe estar a 50cm del piso su borde superior y debe ser completamente cerrada.

Guardabarros

El guardabarros debe estar fijos sobresaliendo sobre las ruedas, deben proteger al menos un tercio de la rueda y cubrir todo el ancho de la rueda, no pueden poseer perforaciones ni ángulos agudos, se los puede reforzar con varilla de hierro de 10 mm de diámetro o con tubos de diámetro máximo de 20 mm.

Suspensión

- El uso de suspensión activa está prohibido.
- Debe tener una configuración independiente.

Depósito de combustible

Según la norma debe ubicarse detrás del asiento, el lugar donde se ubique debe contar con la suficiente protección y debe estar sujeto firmemente al chasis. El depósito debe estar ubicado a 40cm de distancia del sistema de escape, solo en el caso de que el depósito este aislado del motor y el escape por una protección de fugas no inflamable a prueba de fugas puede estar a una distancia menor.

Peso máximo del vehículo

Con el piloto dentro del vehículo usando la indumentaria de carrera completa, durante la competencia este debe ser:

Tabla 7/ Pesos máximos del vehículo.

Fuente: (FIA, CROSS CAR CONCEP TECHNICAL REGULATIONS GUIDELINES, 2019)

XC – Car Cross	400 Kg
XC – Jr. – Car Cross Junior	385 Kg

Cuando el conductor use su indumentaria de carrera completa a bordo y con los fluidos correspondientes en el vehículo debe tener un peso máximo de 320 kg.

Ruedas del vehículo

La rueda completa (rin + neumático inflado) siempre debe caber dentro de un medidor en forma de U el cual debe poseer la medida 260 mm de extremo a extremo, la medición debe realizarse en una parte descargada del neumático.

- Se prohíbe cualquier modificación (tratamiento mecánico o químico).
- Se prohíbe cualquier medio de calentar los neumáticos: mantas, hornos, sistemas de rodillos, etc.

Estructura de seguridad

El reglamento impone el montaje de jaula de seguridad. Esta estructura puede ser Homologado o certificado por una ASN.

Dimensiones del Chasis

El reglamento establece que las dimensiones máximas que debe poseer el car cross son las siguientes:

- Ancho: 1600 mm (excluyendo guardabarros)
- Longitud: 2600 mm
- Altura: 1400mm (excluyendo la toma de aire del radiador de agua del motor)

El reglamento hace referencia a la estructura de seguridad del car cross donde se establecerán diferentes puntos que restringirán el diseño del chasis como:

- Diseño
- Dimensiones de tubos
- Materiales

Diseño del Car cross

El reglamento de homologación nos da un diseño mínimo que sirve de base para reforzar la estructura como se puede observar en la ilustración 26, basándose en este diseño se pueden realizar modificaciones a la estructura para darle mayor rigidez y aumentar la seguridad del piloto.

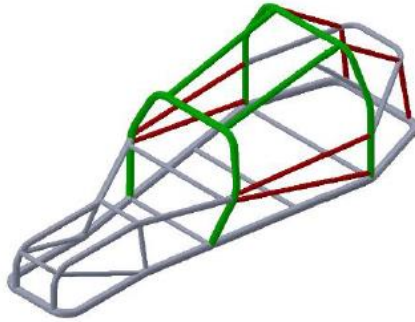


Ilustración 26/Diseño mínimo de la estructura del car cross

Fuente: (RFEDA, Reglamento tecnico de Autocross, 2019)

5. MODELADO DEL CHASIS

5.1. Características de diseño

El chasis es el componente más significativo del automóvil ya que da fortaleza y estabilidad al vehículo, además sujeta todos los componentes mecánicos del vehículo, por lo que debe tener ciertas características que le permitan al Car cross obtener un óptimo desempeño durante su funcionamiento. El diseño debe cumplir con diferentes parámetros para poder empezar a realizar el modelado, los cuales se enlistan a continuación:

- Distancia del centro de gravedad al piso: baja
- Ancho de vía delantero: 1350mm
- Ancho de vía trasero: 1450mm
- Batalla: 2000mm
- Componentes: motor, frenos, piloto, electro ventilador, transmisión, pedalera y controles del vehículo.
- Dirección: Por cremallera
- Geometría de la suspensión: Doble trapecio
- Capacidad límite del chasis: 50 kg
- Capacidad límite del monoplaza (Carente de conductor): 320kg

5.2. Diseño preliminar del chasis

En esta sección del proyecto se procederá a realizar el modelado del chasis, se explicará cómo se fue diseñando cada uno de sus elementos en base a parámetros ya establecidos, la estructura será realizada con un perfil tubular específico, el reglamento nos indica el diámetro de los tubos que se puede utilizar, tomando en cuenta la seguridad del piloto en caso de accidentes se procede modelar la estructura con un perfil tubular de diámetro 40 mm x 2mm de espesor.

5.2.1. Medidas iniciales del modelo

Se realizará el diseño inicial de la estructura con la ayuda del software solidworks, en primer lugar, se establece las medidas del car cross como se observa en la ilustración 27, esto se lo realiza con el fin de que el chasis que se va a diseñar no sobrepase las medidas establecidas.

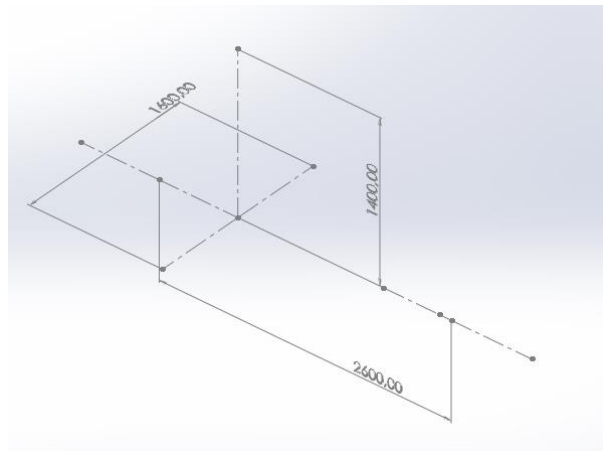


Ilustración 27/Dimensiones máximas del diseño.

Se seleccionó un plano 3D y mediante el comando línea constructiva se procedió a establecer las medidas máximas que debe poseer el chasis del car cross, estas líneas nos servirán de referencia para empezar el diseño.

5.2.2. Arco principal

Teniendo ya establecidas las medidas máximas del chasis, se procede a diseñar el arco principal el cual debe pasar 5cm por encima del casco del conductor una vez que este sentado normalmente en el automóvil con su arnés y casco abrochado, se debe tener en cuenta los espacios necesarios para la instalación del motor, la transmisión, el asiento y la altura del piloto, este arco no debe superar la altura máxima del chasis (1400mm).

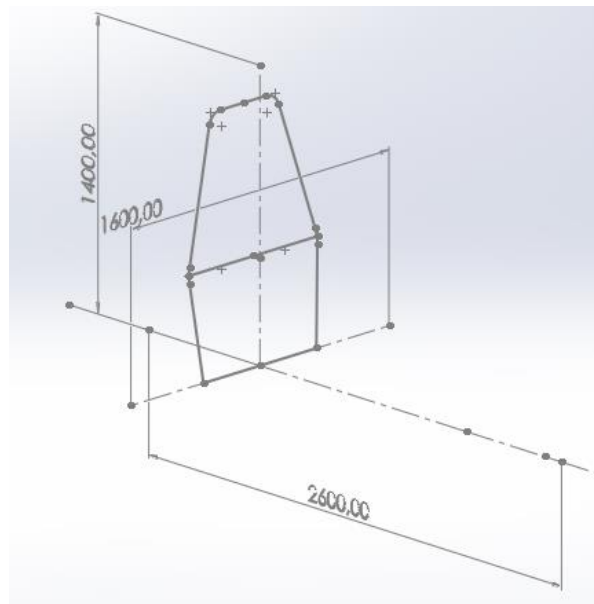


Ilustración 28/ Modelado del arco principal

5.2.3. Arco frontal y barras de unión

Antes de empezar a diseñar el arco frontal del chasis se debe analizar los espacios que debe tener el arco principal y el frontal, debe existir el espacio suficiente para las piernas del piloto, en caso de un accidente nos debe permitir la rápida evacuación del piloto, debe existir el espacio suficiente para la instalación del asiento y un aspecto muy importante de este arco es que no debe interferir en el campo de visión del piloto.

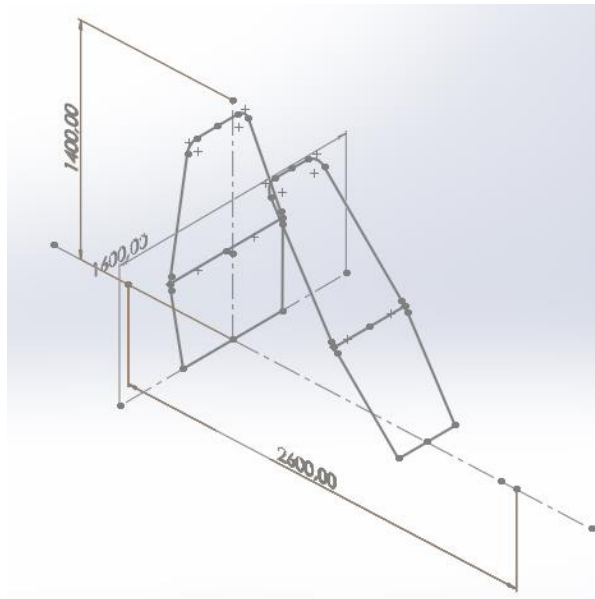


Ilustración 29/ Modelado del arco frontal

Teniendo diseñado el arco frontal y el principal se procede a diseñar la unión de estos por medio de barras longitudinales como se observa en la siguiente ilustración.

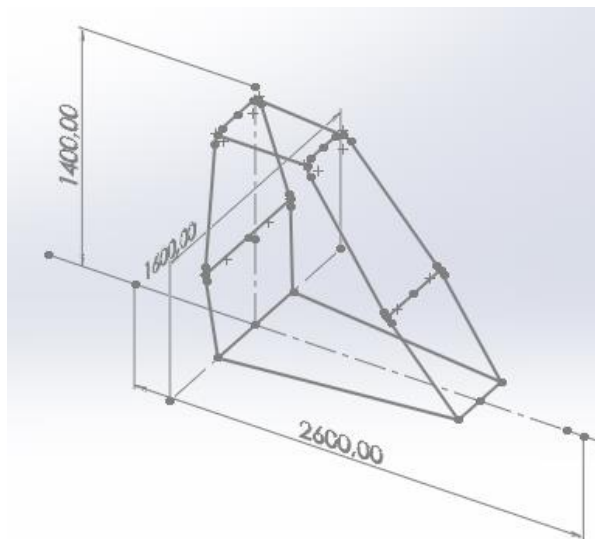


Ilustración 30/ Modelado de barras longitudinales en la parte inferior y superior

5.2.4. Semiarcos posteriores y barras de unión.

Se procederá a realizar el diseño del semiarco posterior del chasis que se encuentra unido al arco principal por barras longitudinales inferiores y superiores, en este semiarco se debe tener en cuenta las dimensiones del motor, depósito de combustible, electro

ventilador y transmisión, ya que este semiarco es el encargado de alojar estos componentes y a su vez los protege de golpes laterales y traseros.

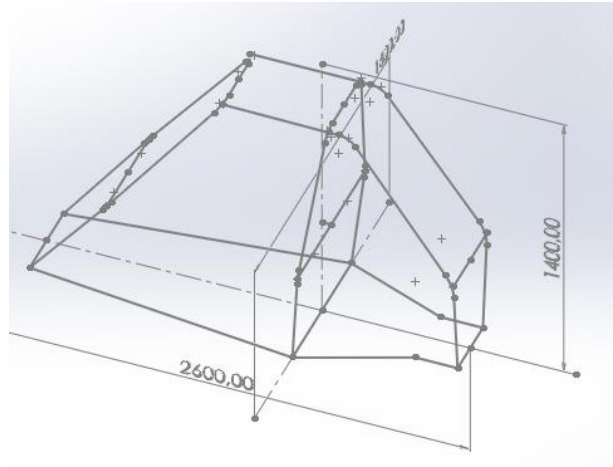


Ilustración 31/ Modelado del semiarco posterior y barras de unión

5.2.5. Barras laterales

Una vez terminado el diseño del semiarco posterior se procede a diseñar las barras laterales las cuales tienen por objetivo aumentar la rigidez de la estructura, aumentar la protección del piloto y la de los elementos que se ubicarán en la parte posterior en caso de que el vehículo sufra un impacto lateral.

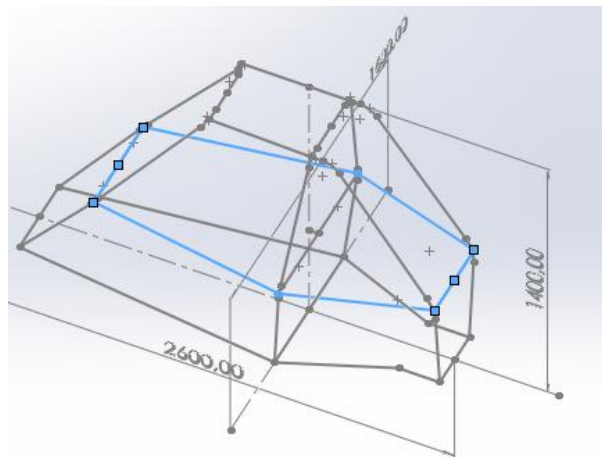


Ilustración 32/ Modelado de barras laterales

5.2.6. Refuerzo del arco principal y semiarco posterior.

Con el objetivo de dar mayor rigidez a la estructura y reducir deformaciones en caso de accidentes se proceder a diseñar barras en el arco principal y en el semiarco posterior, la barra instalada en la parte inferior del semiarco posterior tienen la meta de brindar mayor seguridad a los componentes del vehículo como el motor y la transmisión debido a que en las competencias los vehículos siempre sufren impactos posteriores.

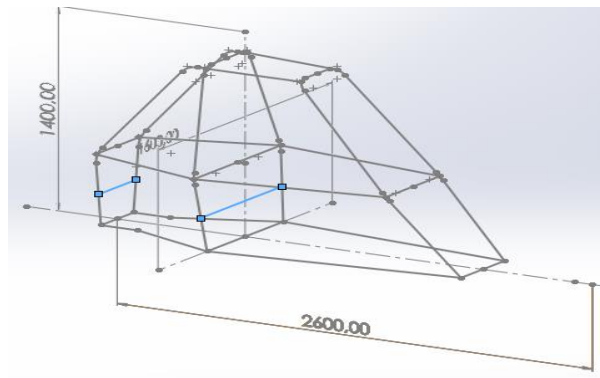


Ilustración 33/ Modelado de refuerzos en arco principal y semiarco posterior

5.2.7. Semiarco delantero

La parte frontal del vehículo debe ser completamente rígida para que soporte un choque frontal ya que ahí es donde se ubican los pies del piloto. A continuación, se realiza el diseño de la parte delantera del vehículo teniendo en cuenta la rigidez necesaria y posteriormente se diseñarán refuerzos laterales e inferiores que aportarán una mayor rigidez al diseño.

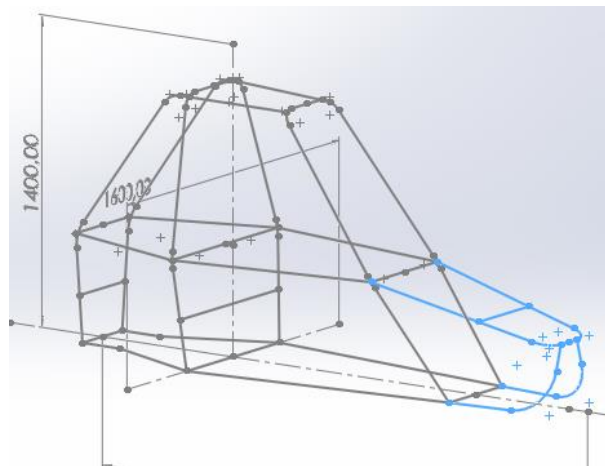


Ilustración 34/ Modelado de semiarco delantero

5.2.8. Refuerzo protección lateral y parte inferior del chasis.

Debido al alto riesgo que corre el piloto por accidentes que pueden suceder en cualquier momento se procede a reforzar la parte lateral del chasis, se colocan barras diagonales a cada lado entre el semiarco principal y el delantero que reforzaran la estructura, también se colocan barras diagonales superiores entre el arco principal y semiarco trasero, de igual manera para aportar mayor rigidez en la parte frontal de la estructura se colocan barras diagonales que triangulan la estructura con el fin de aumentar la resistencia de la estructura ante cualquier impacto que pueda sufrir.

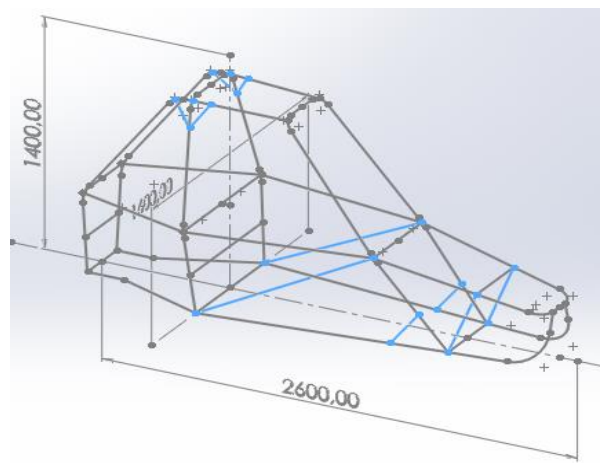


Ilustración 35/ Refuerzo de protección lateral

Finalmente se procede a reforzar la parte inferior del chasis colocando barras de manera transversal.

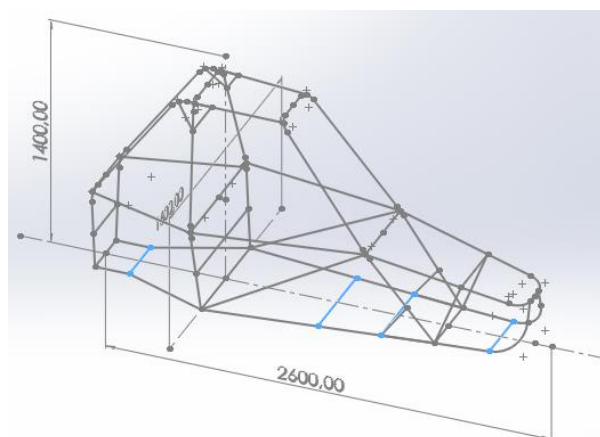


Ilustración 36/ Refuerzos de la parte inferior del chasis

5.3. Diseño inicial del chasis

Una vez terminado el diseño con todos los refuerzos apropiados para garantizar la seguridad obtenemos un diseño preliminar del chasis el cual cumple con todos los puntos establecidos por la norma, este modelo nos servirá para realizar los análisis estructurales establecidos y con los resultados obtenidos de dichos análisis se irá modificando la estructura como: corregir errores, triangulizar el chasis, modificar el tipo de material; Hasta conseguir un diseño optimizado que garantice la seguridad del piloto, cumpla con los análisis establecidos y sea posible de fabricar.

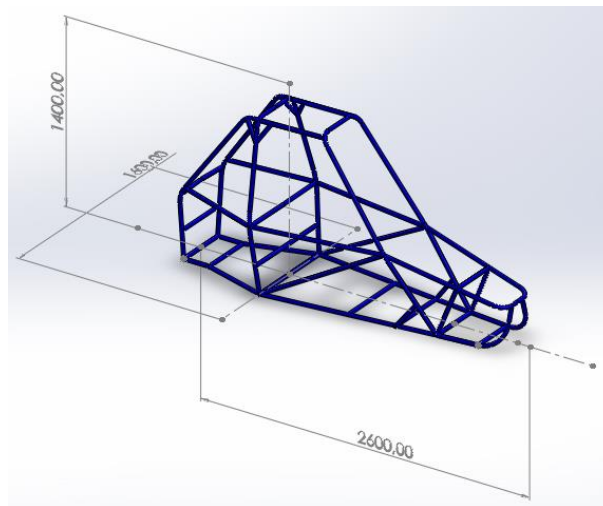


Ilustración 37/ Diseño preliminar

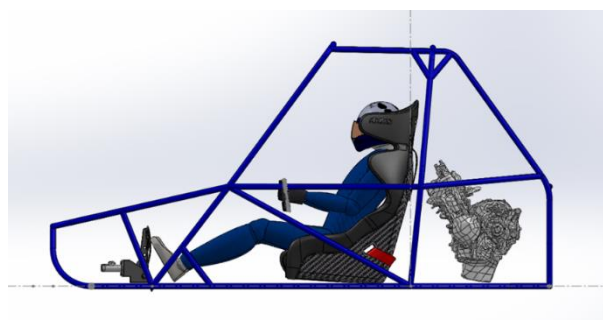


Ilustración 38/ Ensamblaje de componentes y piloto en el chasis

6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1. Análisis establecidos por la norma

6.1.1. Condiciones para ensayos de resistencia de materiales

Esta sección del reglamento nos establece las condiciones necesarias para realizar los ensayos de resistencia de materiales, en primer lugar, el valor de la fuerza se calcula con la masa total del vehículo es decir con el piloto a bordo del vehículo con toda su indumentaria, a esta masa la norma la denomina con la letra “P” la cual se debe multiplicar por un coeficiente que varía con cada ensayo que se realiza.

Para que el car cross cumpla con el reglamento de homologación se deben realiza tres ensayos los cuales son: carga vertical, carga longitudinal y carga lateral. A continuación, se explica los valores que se deben aplicar por cada ensayo y a que parte del chasis se le aplica.

Carga vertical

Para este ensayo la fuerza que se debe aplicar se calcula con la siguiente ecuación:

$$Fv_{(Fuerza\ Vertical)} = 7,5 \times P_{(Peso\ del\ chasis)} [daN]$$

Esta carga es aplicada uniformemente sobre la barra ubicada en la parte superior del arco central. (Ver ilustración 39).

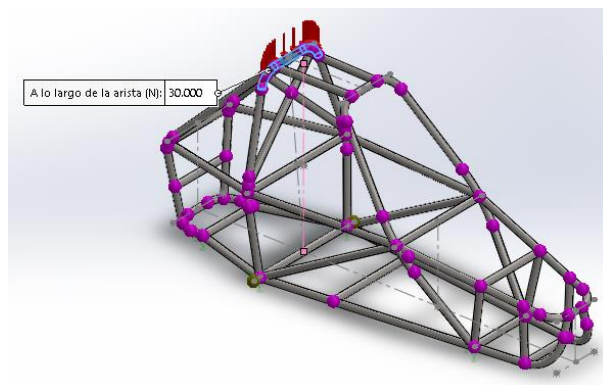


Ilustración 39/Zona de aplicación de fuerza vertical

Carga Longitudinal.

La fuerza que se aplica en este ensayo viene dada por la ecuación:

$$Flo_{(Fuerza\ longitudinal)} = 6 \times P_{(Peso\ del\ chasis)} [daN]$$

Esta carga se aplica sobre la parte delantera y posterior de la estructura, debe estar distribuida uniformemente. En la ilustración 40 y 41 se aprecia en color azul la zona donde se aplica la carga.

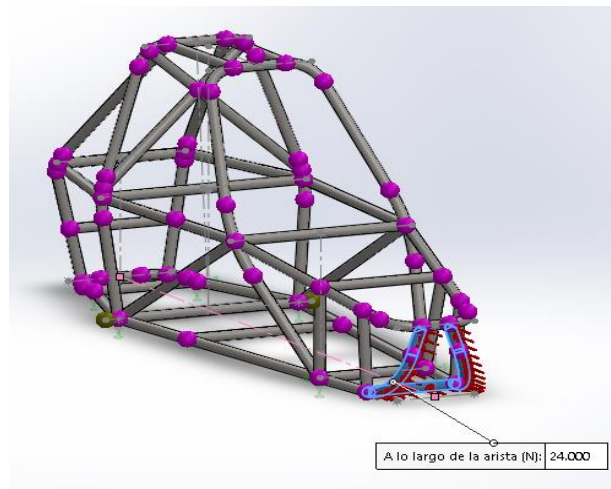


Ilustración 40/Zona de aplicación carga longitudinal delantera.

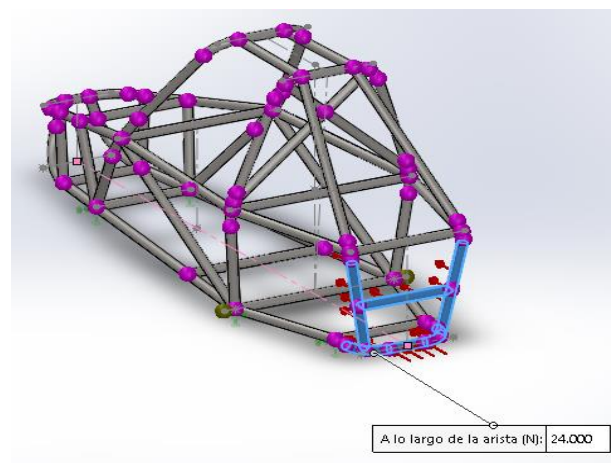


Ilustración 41/Zona de aplicación carga longitudinal posterior.

Carga Lateral

La carga debe estar uniformemente distribuida sobre zona de aplicación (ver ilustración 42), esta carga se aplica en las barras laterales de la estructura la fuerza es calculada con la siguiente ecuación:

$$Fla_{(Fuerza\ lateral)} = 3,5 \times P_{(Peso\ del\ chasis)} [daN]$$

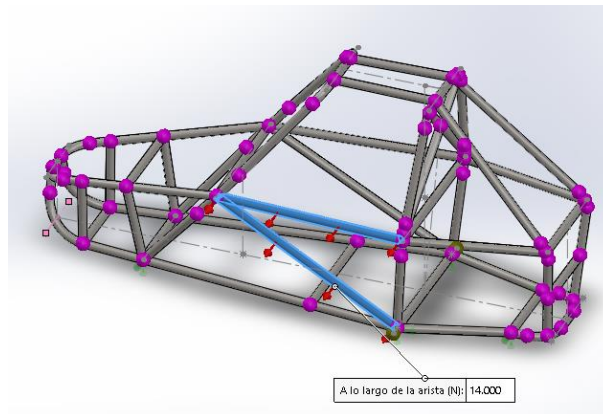


Ilustración 42/Zona de aplicación de cargas.

Restricciones

Una vez que se obtenga el modelo preliminar debemos definir las condiciones de contorno establecidas por el reglamento de homologación, el reglamento nos indica que para el análisis del chasis se debe restringir el movimiento, es decir, no debe haber desplazamiento y rotación del chasis, se establece por el reglamento que la restricción se debe hacer en seis puntos del chasis (ver ilustración 43).

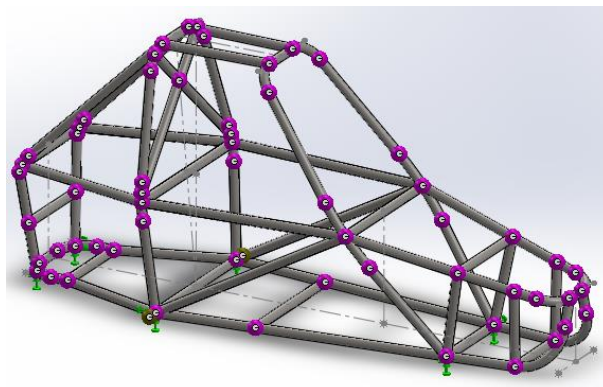


Ilustración 43/ Puntos de fijación del chasis (Marcas verdes)

Dimensiones de tubos

El reglamento también nos proporciona los diámetros de los perfiles tubulares que se necesitan para conformar el chasis del car cross, basándose en la ilustración 44 se presenta una tabla con las dimensiones especificadas por color de tubos.

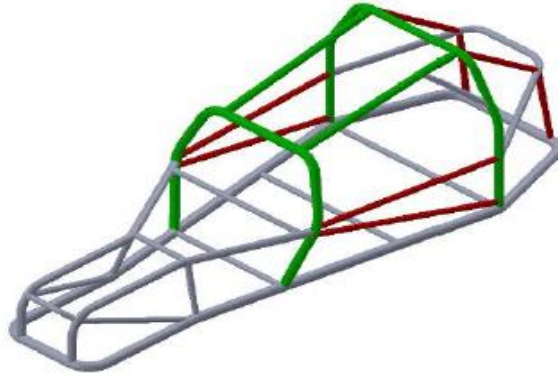


Ilustración 44/Diseño mínimo del chasis

Fuente: (RFEDA, 2019)

Tabla 8/ Dimensiones mínimas de tubos.

Fuente: (RFEDA,2019)

Perfiles	Dimensiones perfil tubular
Perfil tubular verde	Ø 40 x 2 mm
Perfil tubular rojo	Ø 35 x 1,5 mm
Otros perfiles tubulares	Ø 35 x 1,5 mm

Cuadro de resumen

En el siguiente cuadro de resumen se detallan los ensayos con las cargas que se deben colocar a la estructura para análisis mediante FEM.

Tabla 9/ Resumen de cargas aplicables

Fuente: Autores

Categoría	Cargas (daN)			
	P(Kg)	Vertical	Longitudinal	Lateral
Car cross	400	7,5 x P	6 X P	3,5 X P

Según el reglamento estudiado para que la estructura sea homologable en ninguno de los 3 ensayos que se le deben aplicar al car cross la deformación de la estructura debe ser superior a 50mm.

6.2. Aplicación de miembros estructurales (Soldadura)

El programa SOLIDWORKS nos permite considerar la soldadura en la estructura con el comando pieza soldada como se observa en la ilustración 45, está función nos permite diseñar una estructura de piezas soldadas como una única pieza, el croquis 3D que se realizó en el punto 5 sirve para definir la estructura básica.

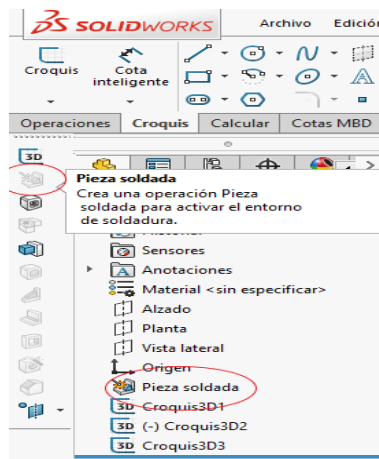


Ilustración 45/ Comando pieza soldada

Para activar la función pieza soldada se deben crear miembros estructurales en el diseño predefinido en 3D, se selecciona el comando “Miembro estructural” (ver ilustración 46) que nos ayuda a crear automáticamente perfiles tubulares alrededor de las líneas previamente diseñadas (ver ilustración 47).

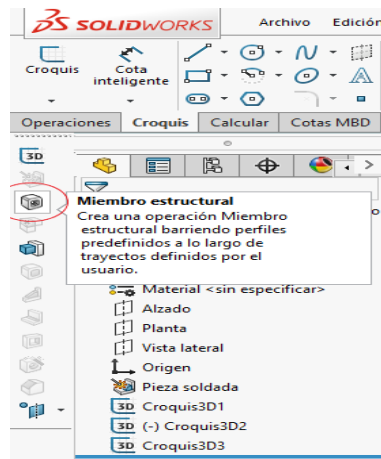


Ilustración 46/ Comando miembro estructural

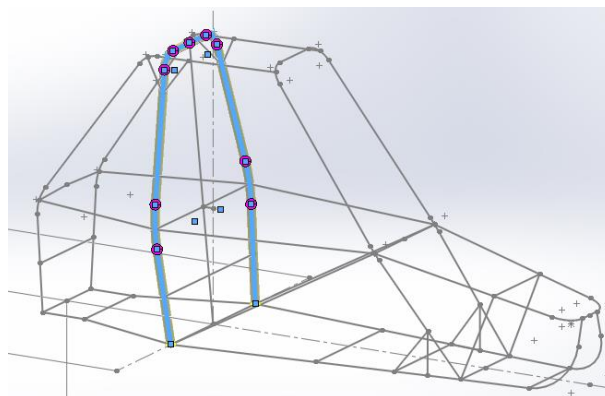


Ilustración 47/ Aplicación de perfiles tubulares al diseño.

Como se mencionó anteriormente se debe tener en cuenta ciertos criterios de diseño en este caso se optará por utilizar perfiles tubulares con el mismo diámetro y espesor en toda la estructura, como lo indica la norma el perfil tubular que se utilizará tendrá las medidas $\varnothing 40 \times 2\text{mm}$ (ver ilustración 48), en la ilustración 48 se puede observar la aplicación de los perfiles tubulares a toda la estructura.

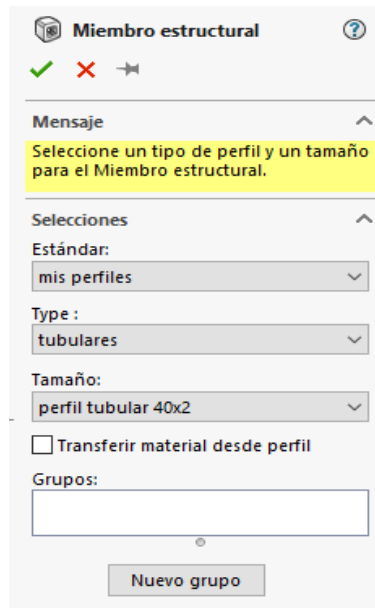


Ilustración 48/ Selección de diámetro y espesor del perfil tubular

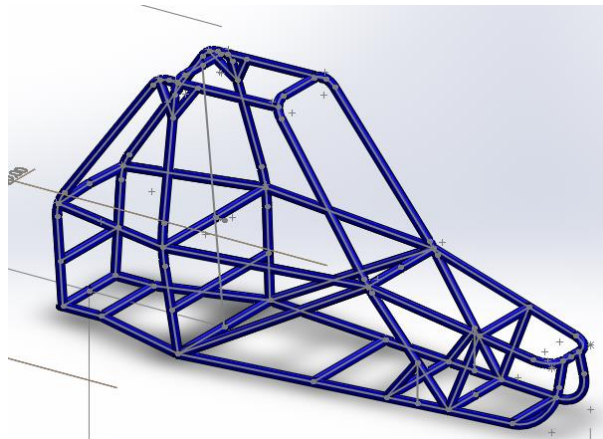


Ilustración 49/ Diseño inicial con miembros estructurales.

6.2.1. Uniones

Terminado el barrido de miembros estructurales la estructura presenta puntos de conflicto debido a la cantidad de perfiles tubulares que posee, estos puntos de conflicto son los nodos donde se unen los miembros estructurales (ver ilustración 50), esto presenta un problema debido a que al momento de realizar los análisis la malla tendrá errores por estos nodos y los resultados no serán precisos.



Ilustración 50/ Unión de tubos con imperfecciones

Estas correcciones se realizan con la herramienta (recorte/extender), al momento de elegir esta herramienta se selecciona el perfil tubular que desea recortar con su respectivo límite, se debe tener cuidado con los recortes de manera que queden perfectas las uniones entre tubos con esto se conseguirá al momento del análisis un correcto mallado que nos proporcionará resultados reales.

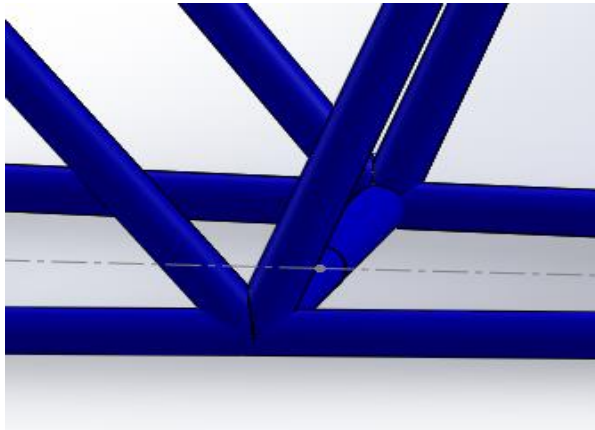


Ilustración 51/ Unión de tubos recortada

6.3. Selección del material

La selección de materiales correctos dentro de un proceso de diseño del chasis es importante, ya que permite la certeza de cumplir con requerimientos y restricciones marcadas por un reglamento.

El reglamento nos indica los tipos de materiales que se deben utilizar para la fabricación del chasis y las características que deben poseer. A continuación, se presentan los aceros que se pueden utilizar:

- Aceros aleados para manufacturación mecánica.
- Acero no aleado, los cuales pueden tener 0,3% de carbono como límite.
- Los aceros en cualquier caso deben ser conformados mediante estirado en frío y carecer de soldadura.
- El límite de tracción de los aceros de ser mayor o igual 355MPa
- Debido a las propiedades mecánicas los aceros al carbono deben ser ST52/355 como mínimo.

Establecidos los parámetros para selección de materiales se procede a realizar una investigación para obtener la composición química, propiedades mecánicas y propiedades físicas que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10/ Propiedades y composición de aceros.

Fuente: (Total Materia, 2019)

TIPOS DE ACERO				
CRITERIOS	UNIDADES	ALEADO 25CrMo4	ASTM-A500	ASTM-A36
CARBÓN (C)	%	0,220	0,270	0,290
MANGANESO (Mn)	%	1,350	1,030	0,900
FÓSFORO (P)	%	0,025	0,036	0,040
AZUFRE (S)	%	0,035	0,040	0,050
COEFICIENTE DE POISSON		0,300	0,280	0,260
DENSIDAD	$\frac{Kg}{m^3}$	7800	7870	7900
LÍMITE DE TRACCIÓN	MPa	720	427	400
ELONGACIÓN	%	10	16	21
LÍMITE ELÁSTICO	MPa	585	344	250

Como se puede observar en la tabla 11 se realizó una comparación entre acero aleado y acero estructural con el fin de determinar una opción más económica en nuestro país para nuestro diseño, el acero ASTM-A36 es descartado debido a su baja resistencia a la tracción, su bajo límite elástico y posee el más alto porcentaje de carbón en comparación con los otros materiales lo que ocasionaría que sea más difícil de soldar, el acero ASTM-A500 presenta valores relativamente buenos en cuanto al límite de tracción y el límite elástico pero al igual que el anterior acero tiene un elevado contenido de carbono en comparación al 25CrMo4.

Finalmente se analiza el acero aleado 25CrMo4, este acero se utiliza principalmente en aplicaciones estructurales, posee una gran resistencia a la tracción y límite elástico en comparación a los dos anteriores y presenta un bajo contenido de carbón lo que lo haría ideal para la construcción de esta estructura tubular ya que proporcionaría una buena resistencia y debido a las propiedades de este material no se altera con el tiempo lo que nos daría una mayor seguridad y fiabilidad.

Para seleccionar el material además de los puntos antes mencionados se realizó un análisis de la estructura con los tres tipos de aceros para verificar el comportamiento cuando se les aplica una carga, es decir, se comprobará con cuál de los tres aceros se tiene una menor deformación del chasis.

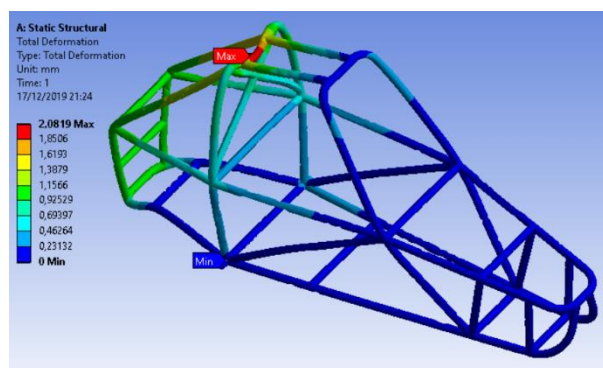


Ilustración 52/ Carga aplicada en la parte superior con acero A36

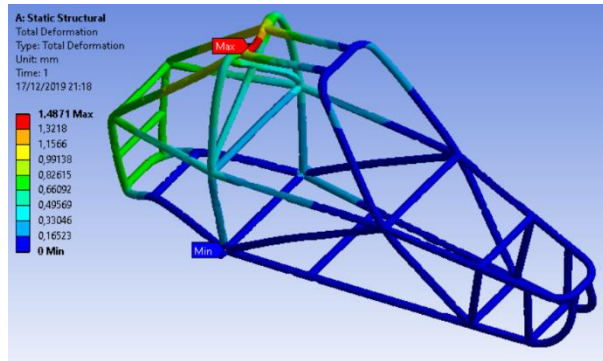


Ilustración 53/Carga aplicada en la parte superior con acero A500

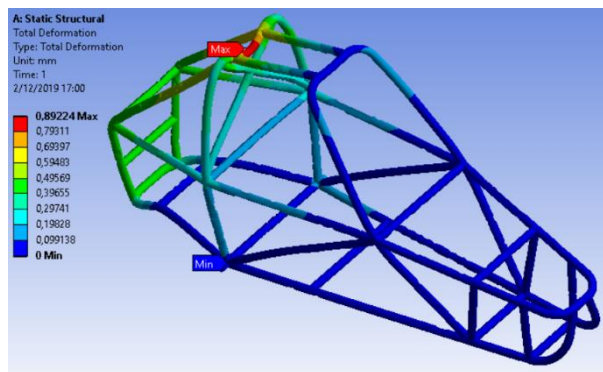


Ilustración 54/Carga aplicada en la parte superior con acero aleado 25CrMo4.

Una vez realizado el análisis se obtuvo los valores de deformación en la parte superior del chasis con los tres aceros aplicando la misma carga, para el acero A36 se obtuvo una deformación de 2,0819mm (ver ilustración 52), con el acero A500 nos dio una deformación de 1,4871mm (ver ilustración 53) y finalmente con el acero aleado 25CrMo4 se obtuvo una deformación de 0,8922mm (ver ilustración 54), concluido el análisis y con los puntos antes mencionados se selecciona el acero aleado 25CrMo4 debido a la buena resistencia mecánica que posee lo que nos brindaría mayor seguridad.

6.4. Simulación por medio de FEM

En esta sección del proyecto se procede a realizar un análisis estructural del chasis por el método FEM, este método es tipo CAE (Computer Aided Engineering) que permite simular cómo reacciona la estructura ante las diversas fuerzas que afectan al chasis en el

momento que está en carrera así se puede determinar si el chasis se rompe, se desgaste o está funcionando correctamente sin tener que realizar ensayos destructivos.

6.5. Refinamiento del mallado

Para iniciar con el análisis estructural del chasis se procede al realizar el mallado de la estructura, la calidad de la malla es muy importante en nuestro diseño ya que mientras más fina sea esta nos proporciona estabilidad y exactitud en los cálculos numéricos. Al iniciar el mallado se obtiene una malla gruesa con una calidad baja del 29% (ver ilustración 55), esta malla gruesa nos dará resultados inciertos, pero nos sirve para aplicar un control sobre las restricciones del mallado y así poder afinar el tamaño de la misma para obtener una mayor precisión en los resultados.

Details of "Mesh"	
+ Sizing	
- Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	6,5987e-004
<input type="checkbox"/> Max	0,89573
<input checked="" type="checkbox"/> Average	0,29613
<input type="checkbox"/> Standard Deviat...	0,19041

Ilustración 55/ Calidad de malla (gruesa)

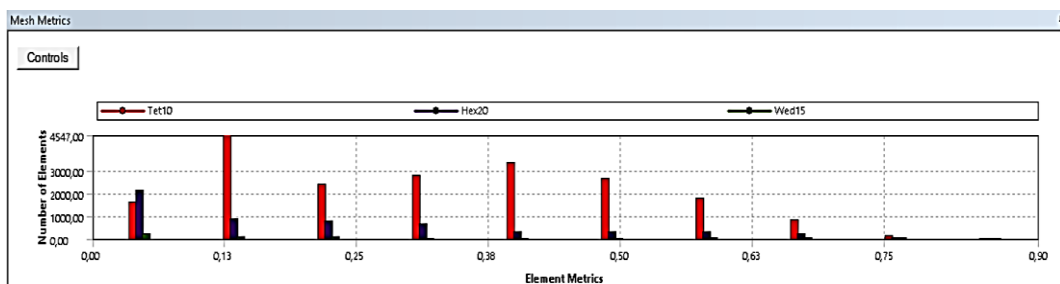


Ilustración 56/ Calidad de elementos de malla (gruesa)

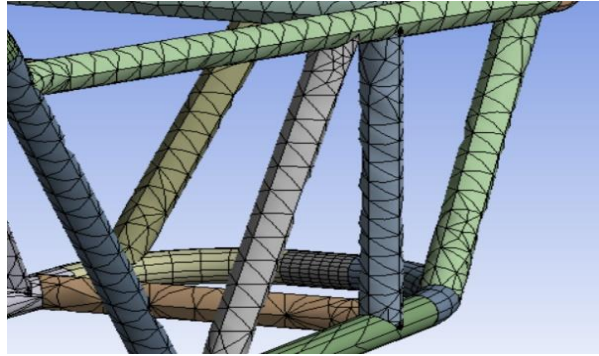


Ilustración 57/Mallado del chasis (malla gruesa)

Una vez que se obtienen los resultados con la malla gruesa se procede a refinar esta donde se utilizará una malla con proximidad y curvatura para poder reducir el tamaño de los elementos (ver ilustración 58), para realizar este proceso se requiere de mayor tiempo ya que el diseño cuenta con aproximadamente 69 cuerpos y los elementos de la malla cada vez van a ser más pequeños para obtener un mejor resultado como se observa en la ilustración 59.



Ilustración 58/ Refinamiento del mallado del chasis

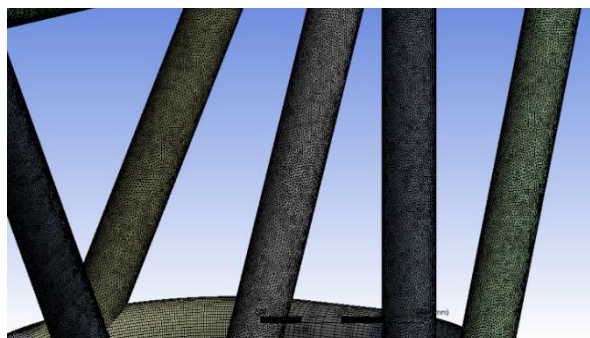


Ilustración 59/ Malla Fina

Conforme se fue refinando la malla se determinó que existía una menor variación de las soluciones en la sexta malla, se realizaron diferentes mallados al chasis dónde se obtenía una mayor calidad de la malla, por la gran variación que existía con los recursos computacionales el programa fallaba, debido a esto se seleccionó la malla que posee 28652314 nodos y 15969854 elementos (ver ilustración 60) con esta malla se obtiene una calidad del 83% (ver ilustración 61) con la cual se podrán obtener resultados reales de los análisis a realizar.

Details of "Mesh"	
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Opti...	No
Advanced	
Number of CPUs for...	Program Controlled
Straight Sided Elem...	No
Number of Retries	0
Rigid Body Behavior	Dimensionally Redu...
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Me...	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Default (1,35750 mm)
Generate Pinch on ...	No
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	28652314
<input type="checkbox"/> Elements	15969854

Ilustración 60/ Detalle de nodos y elementos de la malla

Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,850)
Automatic Mesh Bas...	On
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (0,754190 mm)
Minimum Edge Len...	6,6935e-002 mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0,050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	1,6306e-002
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	0,83357
<input type="checkbox"/> Standard Deviat...	0,10595

Ilustración 61/ Calidad de malla del 83%

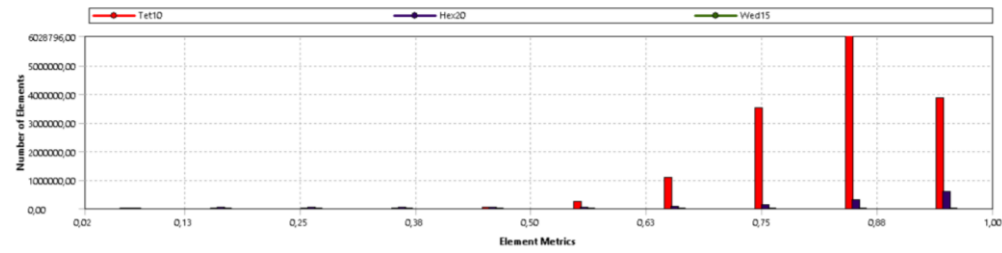


Ilustración 62/ Calidad de elementos de malla fina

6.6. Cálculo de la rigidez torsional

El cálculo de la rigidez torsional no está establecido en la norma, se decidió realizar este cálculo debido a que es un aspecto muy importante para diseñar un chasis, si el chasis posee buena rigidez y una carga baja tendrá un excelente desempeño y una buena dinámica en competencias.

Se realizó una investigación en diferentes proyectos de diseño de chasis para Autocross, con la ayuda de estos se determinó el método para calcular la rigidez torsional y las condiciones de contorno que se deben aplicar al chasis, este análisis se realizará con la ayuda del software ANSYS WORKBENCH.

Este análisis consta en la aplicación de un par torsor en los nodos donde se conecta la suspensión con el chasis, para iniciar el análisis la condición inicial es fijar la parte posterior del chasis donde se ubican los anclajes de la suspensión posterior para restringir el desplazamiento como se observa en la ilustración 63.

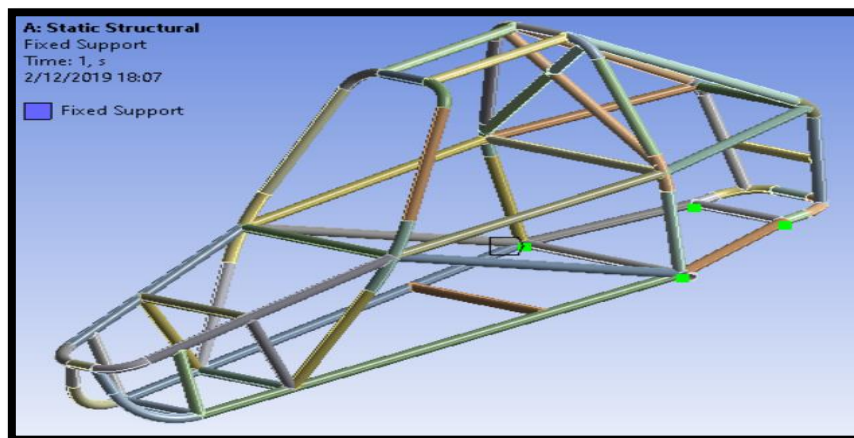


Ilustración 63/ Puntos fijos parte posterior del chasis

De la investigación realizada se determinó que el valor del par torsor varía entre 1000 – 2000 N.m, este valor no puede ser muy elevado debido a que se puede exceder el límite elástico del material y este tendería a romperse, en la ilustración 64 se observa la aplicación del par torsor en los nodos de conexión de la suspensión donde el programa distribuirá equitativamente los valores en dichos puntos.

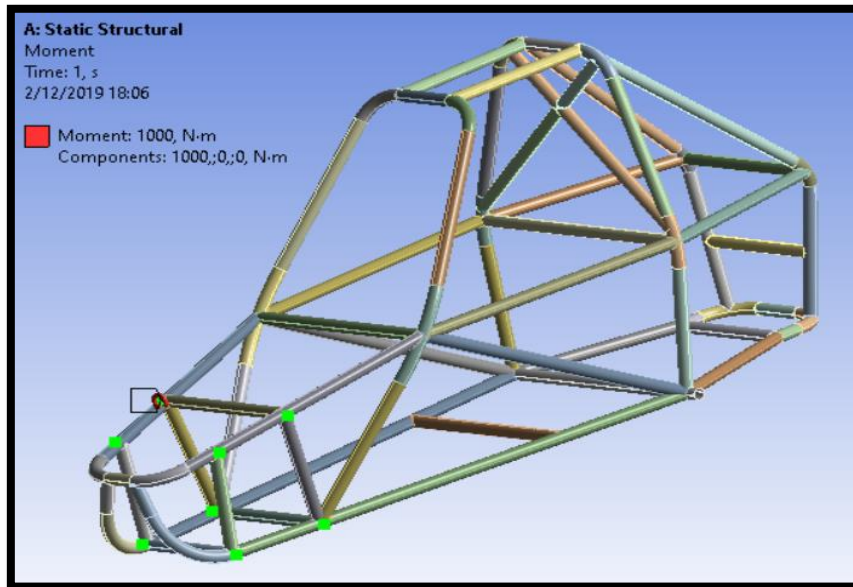


Ilustración 64/ Aplicación de momento en puntos de anclaje de suspensión.

MODELO 1.

Una vez finalizado el análisis estructural obtenemos una deformación máxima de 1.0648 mm en los nodos de conexión inferiores de la suspensión delantera (ver ilustración 65), la conglomeración mayor de esfuerzos se la puede observar en la parte delantera de la estructura en el nodo de unión de los refuerzos delanteros del chasis con un valor de 513.58MPa (ver ilustración 66), se obtuvo un factor de seguridad mínimo con el valor de 1,2656 (ver ilustración 67)

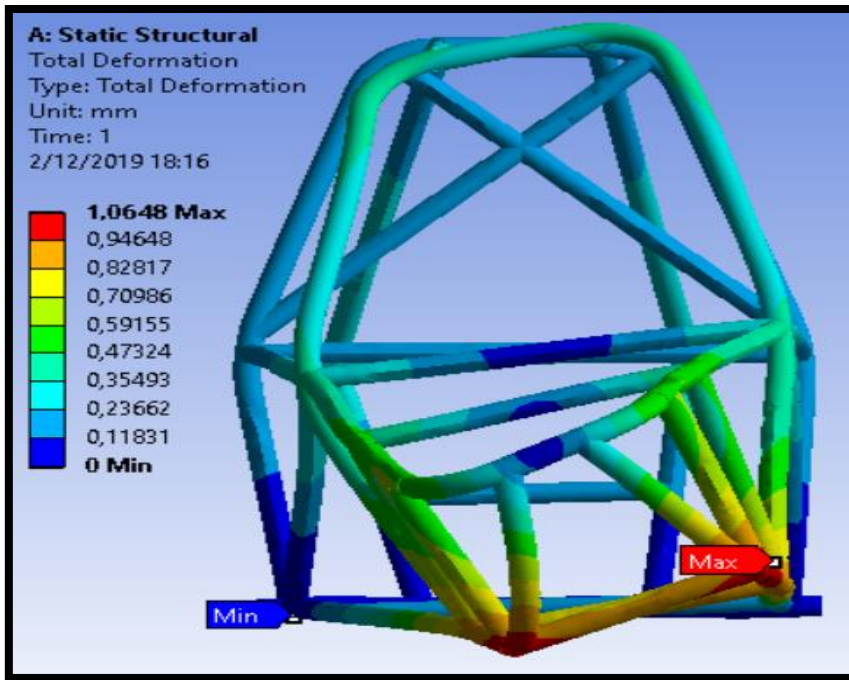


Ilustración 65/ Deformación en análisis de torsión

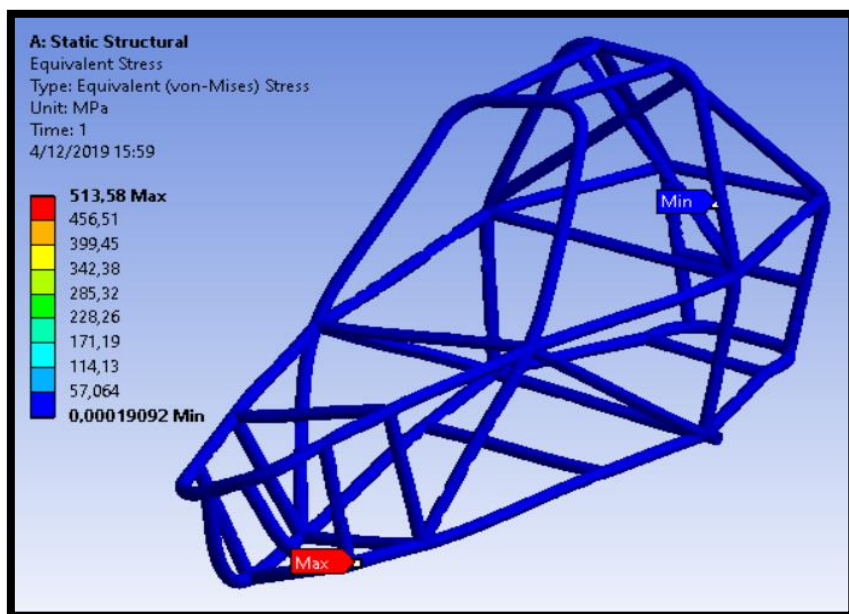


Ilustración 66/ Concentración de esfuerzos en análisis de torsión

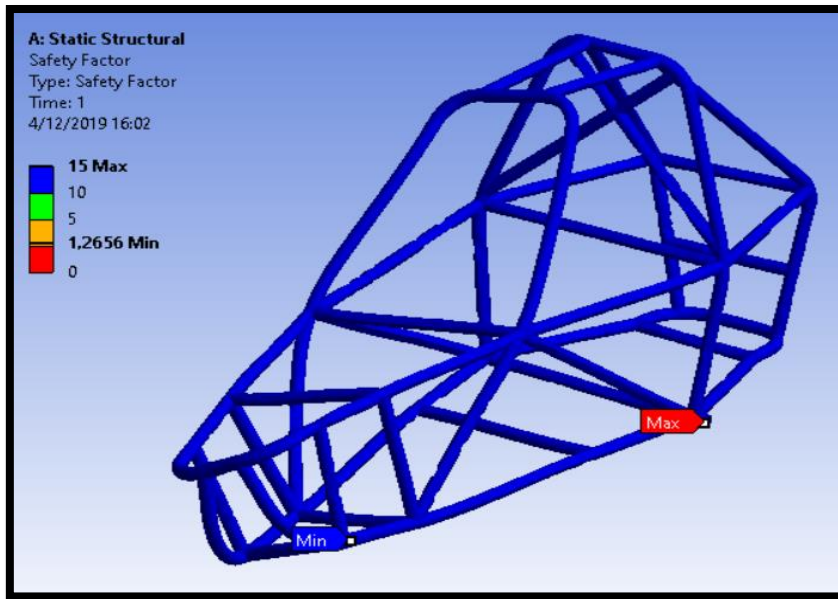


Ilustración 67/ Factor de seguridad en análisis de rigidez

Con todos los datos que se obtuvieron en el análisis estructural del chasis se puede calcular la rigidez torsional de la estructura, para realizar este cálculo nos basamos en la siguiente ecuación:

$$K = \frac{T}{\theta}$$

Para poder calcular la rigidez torsional se necesita el ángulo el cual se lo determinara con la siguiente ecuación:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Y_{max}}{\frac{d}{2}} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1.0648mm}{\frac{342,7, mm}{2}} \right)$$

$$\theta = 0,356 \text{ grados}$$

$$K = \frac{2000 \text{ N.m}}{0,356 \text{ grados}}$$

$$K = 5555,56 \frac{N.m}{grado}$$

Se realizará una comparación entre dos diferentes diseños del chasis por lo que someteremos al mismo calculo dichos modelos para elegir el mejor entre estos, los datos que nos permitirán conocer cuál es el mejor diseño serán el peso y el valor de la rigidez torsional.

MODELO 2

El proceso es el mismo que se indicó anteriormente por lo que a continuación se observarán los datos recopilados del análisis estructural al segundo modelo, este presenta con un desplazamiento de 0.97208 mm (ver ilustración 68) en los nodos de conexión superiores de la suspensión delantera, la conglomeración máxima de esfuerzos se la puede observar la parte delantera del chasis con un valor demasiado elevado que supera el límite elástico del material (ver ilustración 69), se obtuvo un factor de seguridad mínimo con el valor de 0,031145(ver ilustración 70)

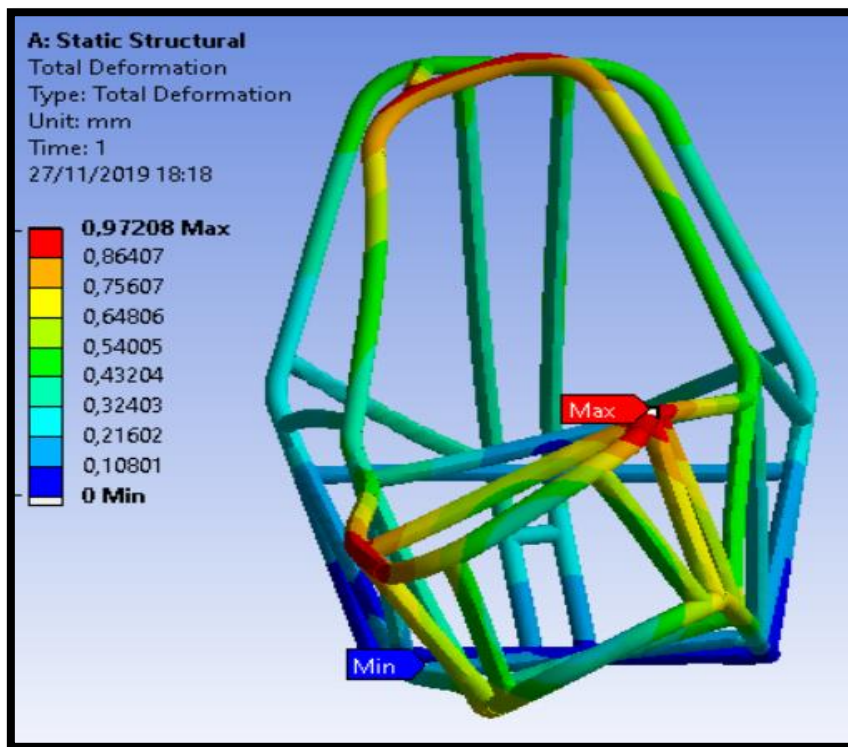


Ilustración 68/ Deformación en análisis de torsión 2

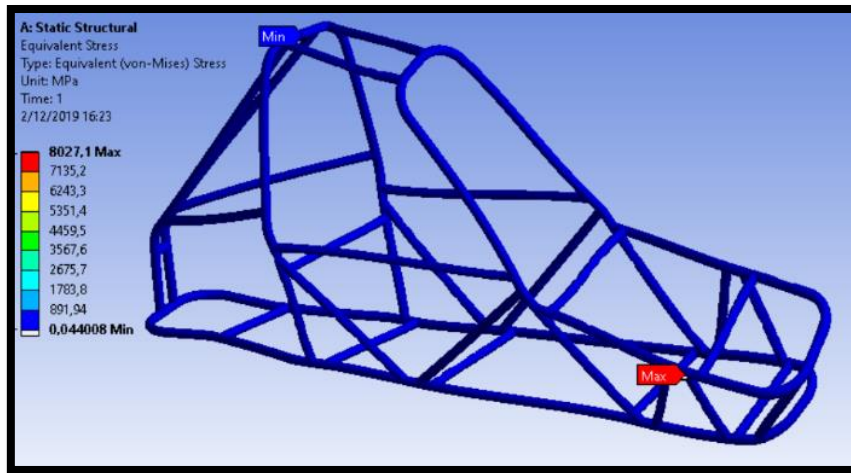


Ilustración 69/ Concentración de esfuerzos en análisis de torsión 2

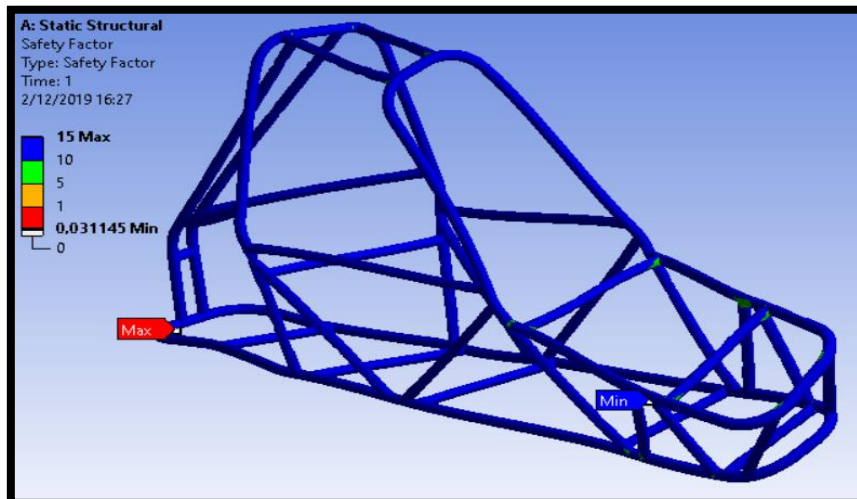


Ilustración 70/ Factor de seguridad en análisis de rigidez 2.

Con los resultados alcanzados del análisis estructural se puede calcular la rigidez torsional del chasis con la ayuda de las siguientes ecuaciones.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Y_{max}}{\frac{d}{2}} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0,97208 \text{ mm}}{\frac{300 \text{ mm}}{2}} \right)$$

$$\theta = 0,3713 \text{ grados}$$

$$K = \frac{1000 \text{ N.m}}{0,3713 \text{ grados}}$$

$$K = 2693,23 \frac{\text{N.m}}{\text{grado}}$$

6.7. Resultados de los análisis

Se realizaron 16 diseños diferentes del chasis tubular de los cuales los dos antes mencionados presentaron valores superiores a lo que nos habíamos establecido, teniendo en cuenta la rigidez torsional y el peso de los chasis se seleccionó el modelo 1 como el mejor debido a su alto valor de rigidez torsional y su bajo peso.

A continuación, se presenta los ensayos realizados al modelo 1 para determinar si cumple con lo establecido por el reglamento.

6.7.1. Resultado análisis de carga vertical

En este análisis se somete al chasis a una carga vertical de 30000N repartida uniformemente sobre la parte superior del arco principal, como resultado se obtuvo un desplazamiento de 0.892 mm, esta deformación máxima se la observa en región media del arco principal como se observa en la ilustración 71. La mayor conglomeración de esfuerzos se presenta en la junta del arco principal con la barra tubular inferior de refuerzo del chasis y el refuerzo lateral como se observa en la ilustración 72.

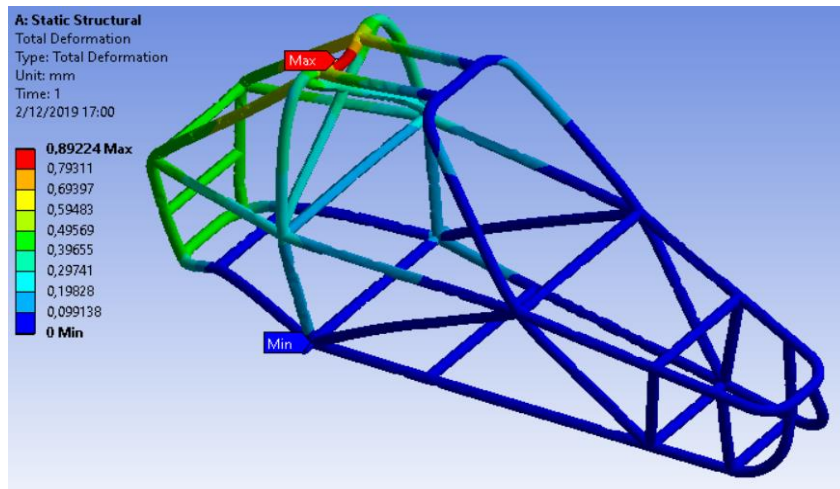


Ilustración 71/ Deformación máxima carga vertical.

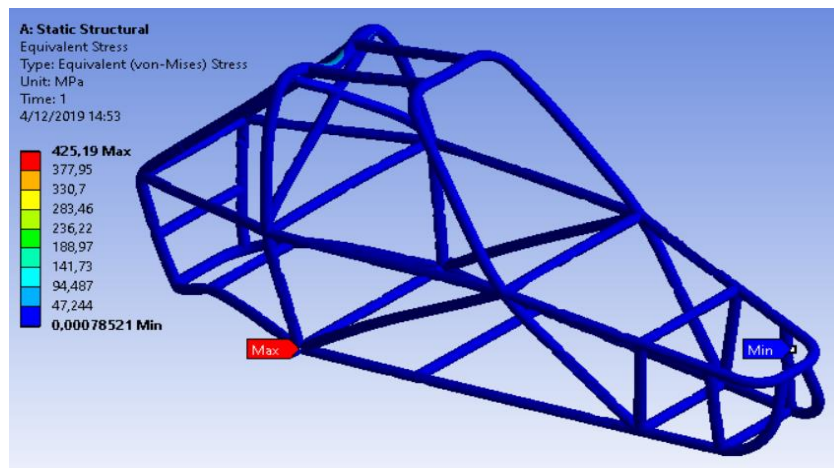


Ilustración 72/ Máxima concentración de esfuerzos en el chasis

Adicionalmente se realizó un análisis para determinar el factor de seguridad del chasis, como resultado de este análisis nos da un factor mínimo de seguridad de 1.1759 como se observa en la ilustración 73.

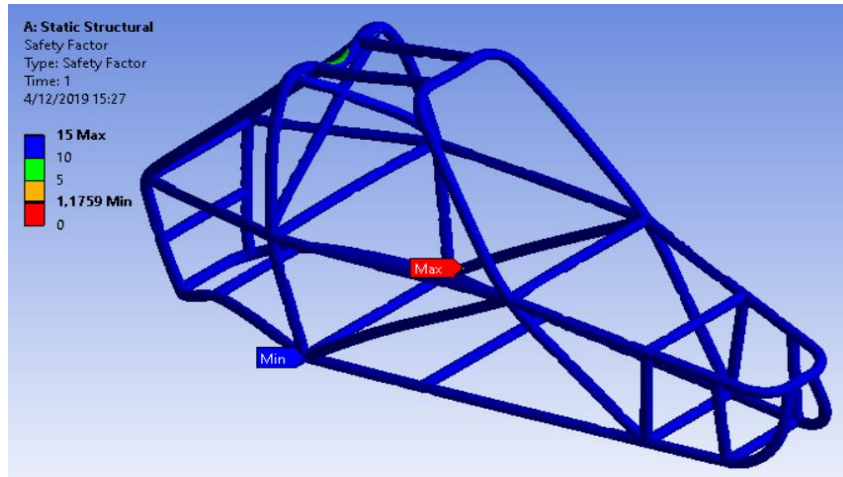


Ilustración 73/ Factor de seguridad del chasis

6.7.2. Resultados de Análisis de carga longitudinal

ANÁLISIS DELANTERO

En este análisis se somete el chasis a una carga longitudinal de 24000N repartida uniformemente en los 3 refuerzos inferiores de la parte delantera, como resultado se obtuvo una deformación máxima de 0.409mm esta se produce en la zona media de los tubos que refuerzan la parte delantera del chasis como se observa en la ilustración 74, se produce la mayor conglomeración de fuerzas en la junta de los refuerzos delanteros del chasis con el arco delantero como se observa en la ilustración 75.

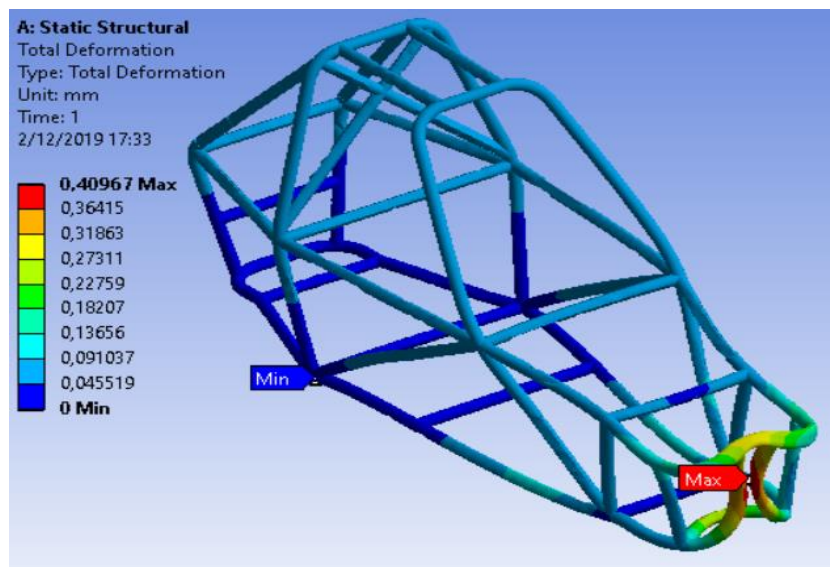


Ilustración 74/ Deformación máxima análisis longitudinal delantero

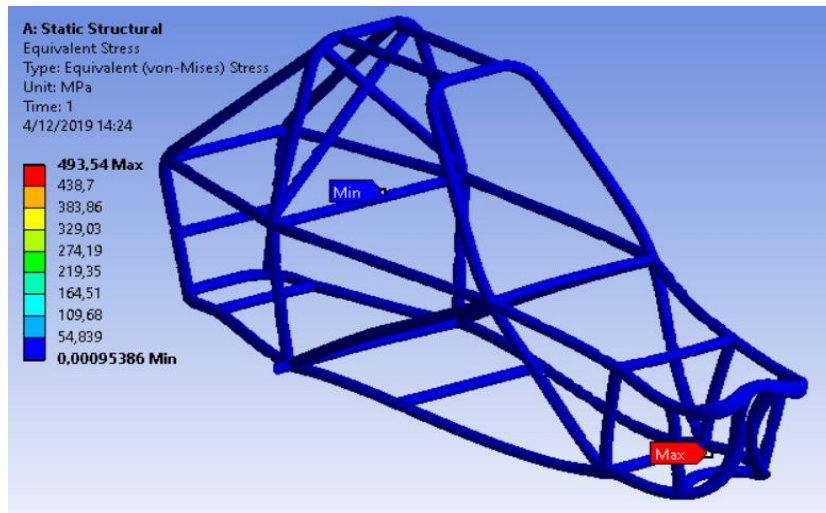


Ilustración 75/ Máxima concentración de esfuerzos en análisis longitudinal delantero

Una vez realizado el análisis se procede a determinar el factor de seguridad por lo que se procede a realizar otro análisis el cual nos da como resultado un valor mínimo de 1,2157 como se observa en la ilustración 76.

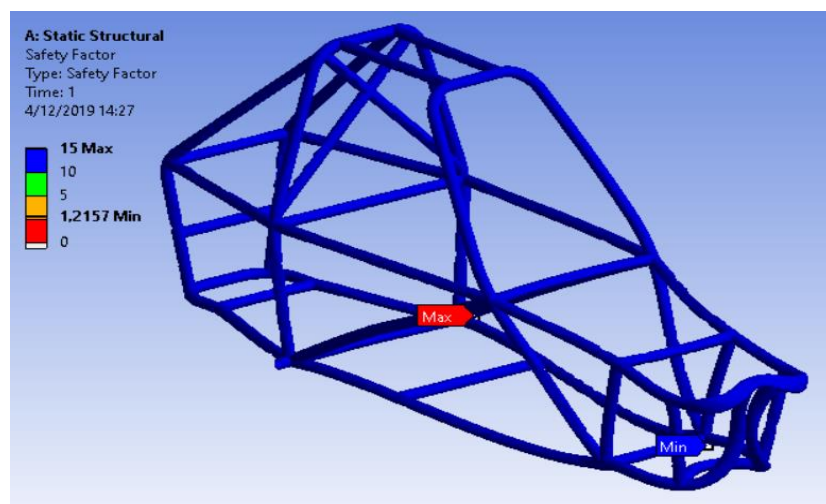


Ilustración 76/ factor de seguridad análisis frontal

ANÁLISIS POSTERIOR

En el siguiente análisis se somete al chasis a una carga longitudinal de 24000N repartida uniformemente en los refuerzos inferiores de la parte trasera, como resultado se obtuvo una deformación máxima de 0.933mm como se observa en la ilustración 77, la mayor

conglomeración de fuerzas se produce en la junta del soporte trasero de la suspensión posterior con el chasis con un valor de 396,75 como se observa en la ilustración 78.

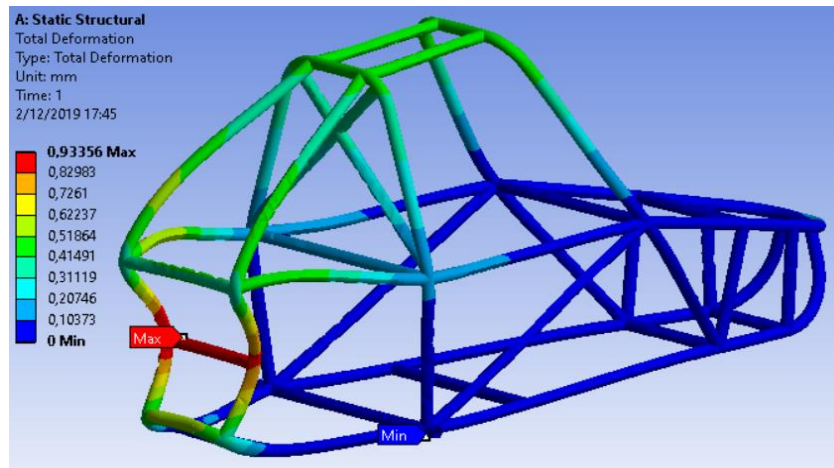


Ilustración 77/ Deformación máxima en análisis posterior

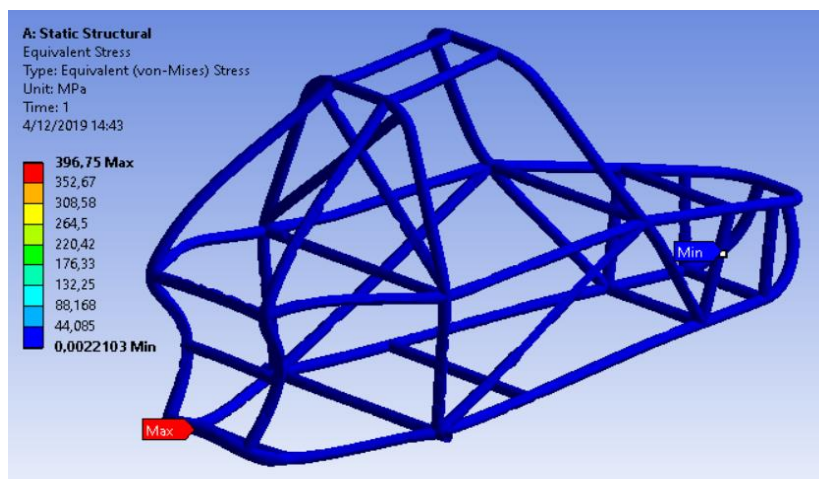


Ilustración 78/ Mayor concentración de esfuerzos análisis posterior

Ya finalizado el análisis establecido por la norma se procede a realizar un análisis adicional para calcular el factor de seguridad, una vez realizado esto nos da como un resultado un valor de 1,2602 que sería el factor de seguridad mínimo (ver ilustración 79).

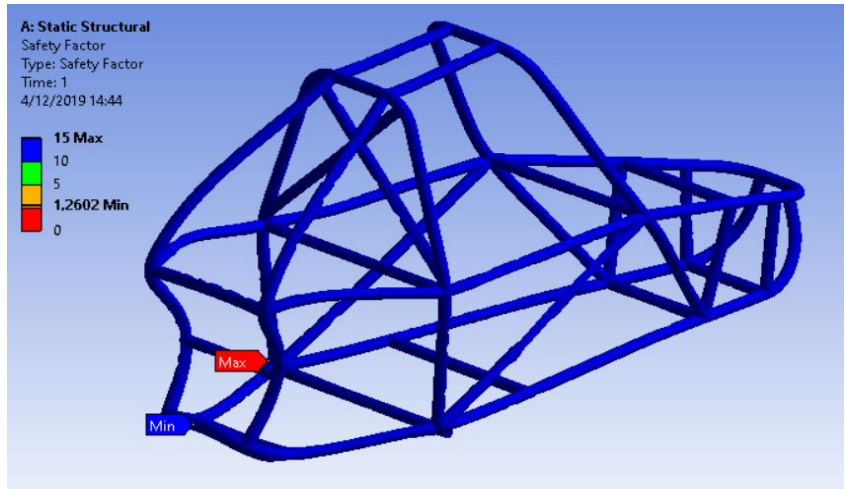


Ilustración 79/ Factor de seguridad mínimo análisis posterior.

6.7.3. Resultados de Análisis de carga lateral

En este análisis se somete al chasis a una carga lateral de 14000N repartida uniformemente en los 2 refuerzos de la cabina del piloto, como resultado se obtuvo una deformación máxima de 7.024mm como se observa en la ilustración 80. En este análisis la mayor conglomeración de fuerzas se da en la junta del soporte posterior de la suspensión con el chasis como se observa en la ilustración 81.

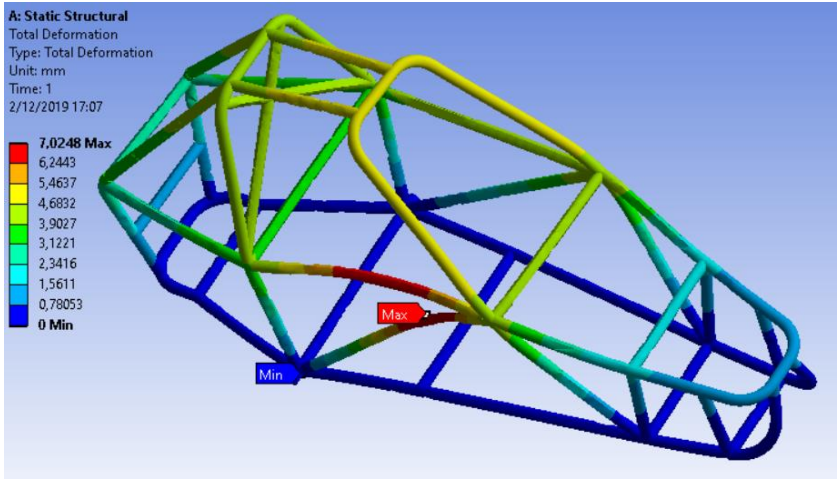


Ilustración 80/ Deformación máxima análisis lateral.

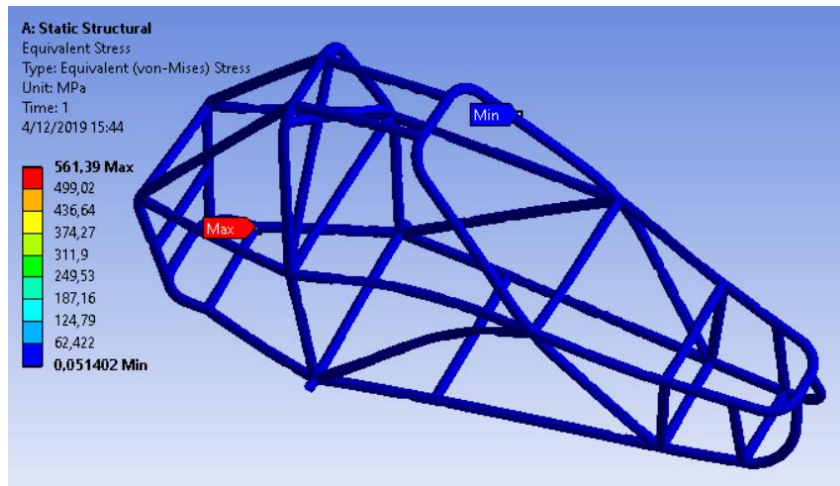


Ilustración 81/ Concentración de esfuerzos análisis lateral

Ahora se procede a realizar un análisis adicional del factor de seguridad, una vez realizado nos da como resultado un valor de 1,1578 que sería el factor de seguridad mínimo.

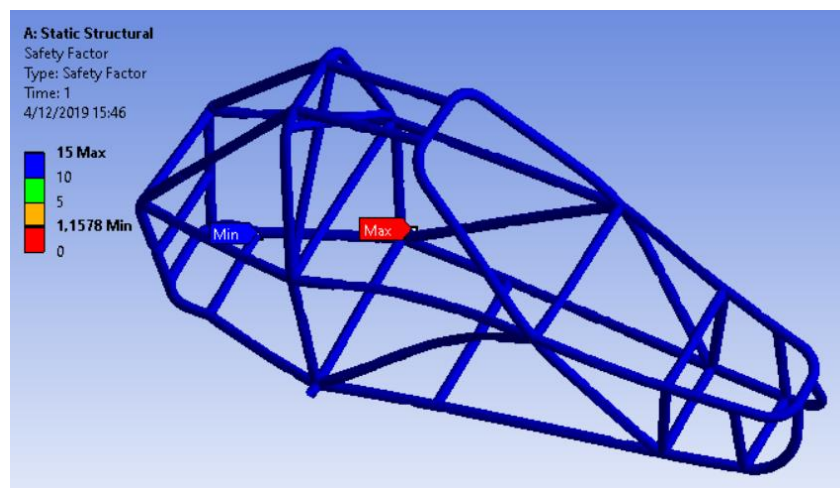


Ilustración 82/ Factor de seguridad en análisis lateral

7. CONCLUSIONES

- La investigación que se realizó sobre la normativa FIA/RFEDA y el análisis de los diseños existentes de grandes empresas que manufacturan estos monoplazas fue fundamental para desarrollar este proyecto con esta información recopilada se pudo despejar todas las interrogantes que se fueron presentando conforme se realizaba el diseño y se pudo cumplir con éxito las limitaciones que imponía la normativa.
- El software Solid Works fue una herramienta fundamental para el diseño de este chasis tubular, este software nos permitió dimensionar correctamente las diferentes partes que componen el chasis, se pudieron realizar diferentes diseños a los cuales se les fue cambiando la triangulación y al mismo tiempo nos permitía analizarlos para obtener un chasis rígido y con bajo peso que cumpla con las restricciones de la normativa.
- Para estas geometrías complejas la calidad del mallado es de suma importancia, una malla fina nos proporciona estabilidad y exactitud en los cálculos numéricos por lo que se modificó diferentes parámetros del mallado con el fin de refinar la malla y obtener una calidad superior al 80%.
- Los análisis que establece la norma se los realizó en el software Ansys Workbench los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios ya que en ningún ensayo se superó la deformación máxima (50mm) ni se sobrepasó el límite elástico del material (585MPa), la estructura demostró soportar diferentes tipos de colisiones, en todos los ensayos realizados no se sobrepasa el límite elástico lo que indica que el chasis no sufriría deformaciones permanentes. El factor de seguridad en todos los análisis realizados está por encima de 1 lo que nos indica que el chasis tendrá buenas prestaciones.
- El diseño de chasis tubular seleccionado cuenta con una rigidez torsional de $5555.56 \frac{N.m}{grado}$ y un peso de 50 kg por lo que se puede concluir que se logró diseñar satisfactoriamente un chasis basándose en el criterio de diseño rigidez – peso.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Andino , A. T., & Zuñiga, J. S. (2012). Estudio para el Diseño y Construcción de un Buggy para la Fórmula Automovilística Universitaria,». (*Tesis*). Universidad Internacional del Ecuador, Quito.
- Corral, C. P., Caberta, R. Ñ., Morales, N. R., Ávila , R. L., Sáenz, A. G., & Valenzuela, R. A. (2015). *Evolución y tecnología del vehículo baja SAE*.
- Costales, J. d. (2011). Simulación por el Método de Elementos Finitos. (*Tesis*). Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.
- Esain, M. L., Amurrio, M., & Sábada, S. (2014). Diseño del chasis de un vehículo Car Cross. (*Tesis*). Universidad Pública de Navarra, Pamplona.
- Fernández, D. (2011). Diseño, Análisis Dinámico y Modelado del Tren Delantero de un Car Cross. (*Tesis*). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Fernández, I. M., & Latorre, J. I. (2017). DISEÑO DE UN CHASIS TUBULAR PARA UN CARCROSS. (*Tesis*). Universidad Pública Navarra , Navarra.
- FIA. (16 de Septiembre de 2019). *Appendix J 2019 - Article 279A*. Obtenido de FIA EUROPEAN AUTOCROSS CHAMPIONSHIP: <https://www.fia.com/es/regulation/category/102>
- FIA. (25 de Septiembre de 2019). *CROSS CAR CONCEPT TECHNICAL REGULATIONS GUIDELINES*. Obtenido de CEAX: [http://www.rfeda.es/documents/20185/986217/CEAX+2019+ANEXO+9XC+Cr
oss+Car+Technical+Regulations+Guidelines.pdf](http://www.rfeda.es/documents/20185/986217/CEAX+2019+ANEXO+9XC+Cross+Car+Technical+Regulations+Guidelines.pdf)
- Pérez, J. A. (2010). *Técnicas del Automovil. CHASIS*. Madrid: PARANINFO.
- Pérez, J. M. (2011). DISEÑO, MODELADO Y ANÁLISIS DINÁMICO DEL TREN TRASERO DE UN CAR CROSS. (*Tesis*). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Ramírez, A. J. (2010). DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN CHASIS TIPO CARCROSS MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS. (*Tesis de Grado*). UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, Madrid.

- RFEDA. (27 de Septiembre de 2019). *Reglamento de Homologacion de estructuras de seguridad*. Obtenido de RFEDA: <http://www.rfeda.es/documents/20185/776060/RH+ES+RFEA>
- RFEDA. (26 de Agosto de 2019). *REGLAMENTO DEPORTIVO*. Obtenido de CEAX: <http://www.rfeda.es/documents/20185/986217/CEAX+2019+REGLAMENTO+DEPORTIVO.pdf>
- RFEDA. (25 de Septiembre de 2019). *Reglamento tecnico de Autocross*. Obtenido de CEAX: <http://www.rfeda.es/documents/20185/986217/CEAX+2019+ANEXO+9+REGLAMENTO+TECNICO.pdf>
- Rodríguez, V. Á. (2018). DISEÑO DE UN CHASIS PARA UN MONOPLAZA CAR CROSS DESTINADO A LA PRÁCTICA DEL AUTOCROSS. (*Tesis*). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Salazar, V. A. (2018). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS TUBULAR DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE ELÉCTRICO. (*Tesis*). Universidad Politecnica Salesiana , Cuenca.
- Singh, R. P. (2010). STRUCTURAL PERFORMANCE ANALYSIS OF FORMULA SAE CAR. *Jurnal Mekanikal* , 31, 46-61.
- Terán, E. A., & Rivadeneira, R. A. (2013). DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL BASTIDOR Y SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN CAR-CROSS MOPLAZA SERVICIO TURÍSTICO. (*Tesis*). Escuela Superior Politécnica del Ejercito , Latacunga.
- Total Materia. (5 de Octubre de 2019). *Base de datos de materiales*. Obtenido de Total Materia: https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=ES&fbclid=IwAR011JcagiT_QuduaMBDYXUoKzvciEBqMqwRBvkj7FcixUnlxQ7VCQjqhx0

9. ANEXOS

