

Proyecto Fin de Máster
Máster en Diseño Avanzado en
Ingeniería Mecánica

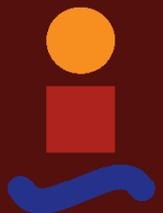
CÁLCULO Y DISEÑO DE UN CHASIS DE BUGGY OFF ROAD DE COMPETICIÓN

Autor: Saúl Santiago Almeida

Tutor: Daniel García Vallejo

Departamento de Ingeniería
Mecánica y Fabricación
Universidad de
Sevilla

Sevilla, 2018



Proyecto Fin de Máster
Máster en Diseño Avanzado en
Ingeniería Mecánica

CÁLCULO Y DISEÑO DE UN CHASIS DE BUGGY OFF ROAD DE COMPETICIÓN

Autor:
Saúl Santiago Almeida

Tutor:
Daniel García Vallejo
Profesor Titular

Departamento de Ingeniería Mecánica y
Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

ÍNDICE

1. Introducción y objetivos.	7
2. Elementos básicos de seguridad.	9
3. Concepción y requisitos del diseño.	12
3.1. Vehículos admitidos.	13
3.2. Estructura de seguridad.	13
3.3. Estructuras deformables.	14
3.4. Carrocería y dimensiones.	14
3.5. Depósito.	14
3.6. Habitáculo.	15
3.7. Peso.	15
3.8. Seguridad:	15
3.9. Especificaciones del Reglamento de Homologación.	15
3.10. Solicitaciones de carga.	18
3.11. Condiciones de contorno.	21
3.12. Desplazamientos.	21
3.13. Tensiones.	21
4. Herramientas y métodos.	22
5. Diseño y cálculo.	24
5.1. Modelado.	24
5.2. Mallado y estudio de convergencia de la malla.	30
5.3. Condiciones de contorno.	31
5.4. Cálculo masa vehículo.	32
5.5. Tensiones carga vertical.	33
5.6. Tensiones carga frontal.	33

5.7. Tensiones carga lateral.....	34
5.8. Desplazamientos carga vertical.....	35
5.9. Desplazamientos carga frontal.....	35
5.10. Desplazamientos carga lateral.....	36
5.11. Estudio de torsión.....	36
5.12. Resumen de resultados:.....	38
6. Diseño final.....	39
7. Resumen del chasis.....	42
8. Normas y referencias.....	44
9. Conclusiones.....	44
10. Bibliografía.....	45
Anexo 1. Planos.....	46

Lista de tablas.

Tabla 1. Características motor.	13
Tabla 2. Dimensiones mínimas de tubo	16
Tabla 3. Contenido máximo de elementos de aleación.....	17
Tabla 4. Síntesis de las cargas que hay que aplicar en función del grupo.	20
Tabla 5. Puntos de fijación de la estructura y superficies de aplicación	21
Tabla 6. Tamaño de elemento para convergencia.	30
Tabla 7. Masas elementos.	32
Tabla 8. Resumen resultados. Tensiones y desplazamientos.	38

Lista de figuras.

Figura 1. Baquet de competición	9
Figura 2. Arnese de seguridad	9
Figura 3. Sistemas de extinción.....	10
Figura 4. Indumentaria de competición	10
Figura 5. Casco de competición	10
Figura 6. Chasis de buggy off road.	11
Figura 7. Diseño mínimo Buggy TT.....	16
Figura 8. Refuerzo A parabrisas.....	16
Figura 9. Vista lateral de la estructura	17
Figura 10. Vista en planta de la estructura	17
Figura 11. Vista en planta de detalle del arco principal, cotas en mm.	18
Figura 12. Vista en planta de detalle del semiarco lateral, cotas en mm	19
Figura 13. En vista frontal, inclinada 25° hacia el interior de la estructura	19
Figura 14. En vista lateral, inclinada 5° hacia el interior de la estructura	19
Figura 15. Zonas de aplicación marcadas en rojo	20
Figura 16. Estructura cabina.	24
Figura 17. Techo cabina.....	24
Figura 18. Modelado visto 3D.....	25
Figura 19. Modelado vista perfil.	26
Figura 20. Modelado vista alzado.	26
Figura 21. Modelado vista en planta.....	26
Figura 22. Barras bastidor delantero.....	27
Figura 23. Barras suspensión delantera y trasera.	28
Figura 24. Barras rigidizadoras de torsión.	29

Figura 25. Propiedades Acero AISI 302 alta resistencia.	29
Figura 26. Malla del chasis.	30
Figura 27. Detalle del mallado.	31
Figura 28. Condiciones de contorno.	31
Figura 29. Condiciones de contorno.	32
Figura 30. Tensión carga vertical.	33
Figura 31. Distribución carga frontal.	33
Figura 32. Tensión carga frontal.	34
Figura 33. Tensión carga lateral.	34
Figura 34. Desplazamiento carga vertical.	35
Figura 35. Desplazamiento carga frontal.	35
Figura 36. Desplazamiento carga lateral.	36
Figura 37. Estudio de torsión. Desplazamientos.	37
Figura 38. Estudio de torsión. Tensiones	38
Figura 39. Instalación arneses de seguridad.	40
Figura 40. Cartelas de seguridad.	41
Figura 41. Diseño final.	43

1. Introducción y objetivos.

Un rally o rallye, es una competición de automovilismo cronometrada que se desarrolla por etapas, con salida individual sobre carreteras cerradas al tráfico. Los participantes (piloto y copiloto) y el vehículo deben completar en el menor tiempo posible una serie de tramos. El piloto que utilice el menor tiempo en recorrer la totalidad de este es el vencedor.

El termino rally viene del inglés y significa “*encuentro*” o “*reunión*”, y define una carrera en carretera abierta. La primera vez que se usó esta expresión para denominar una carrera fue en el “rally de Montecarlo” en 1911, pero fue poco usada hasta finales de la década de 1920. No sería hasta mediados del siglo XX cuando las competiciones europeas comenzaran a llamarse rallys, y fue entonces cuando Francia, país donde se celebraban muchas carreras automovilísticas, le añadió una –e a esta palabra formando la palabra “*Rallye*”, muy usada hoy en día en lugar de rally.

Los rallys por tramos o “*Special Stage*”, tal y como las conocemos hoy en día, no comenzaron hasta la década de los años 50. Antes de esta época los rallys eran carreras en carreteras abiertas al tráfico, donde se usaban vehículos sin apenas modificaciones respecto a los de serie. Los niveles de seguridad de los vehículos y de los pilotos en esa época eran muy escasos. Uno de los rallys más famosos de esa época fue el “rally de Montecarlo” ya que sus carreteras de asfalto, estrechas y cubiertas por la nieve y con aquel maravilloso trazado, cautivaban a los pilotos y por supuesto al público, lo que hizo que año a año esta carrera fuera ganando prestigio. Esta carrera ha continuado hasta nuestras fechas, por supuesto con otro formato distinto al de entonces, siendo, por ejemplo, una de las pruebas del World Rally Championship 2012.

La categoría Buggy Nacional Todo Terreno es una derivación de los rallys en la que el vehículo que se emplea no parte de un turismo de serie, sino que se emplea un vehículo pensado para circular por tramos en los cuales se precisa de una preparación de este diferente.

Un buggy es un vehículo diseñado para andar en tierra o arena principalmente. Suele tener un chasis ligero, una carrocería sin techo rígido, suspensión y ruedas grandes.

Los primeros buggys fueron construidos sobre la base del Volkswagen Escarabajo. El modelo es apodado bug, que significa bicho en inglés; buggy es el diminutivo de bug. Hoy existen buggys tanto basados en modelos de producción como totalmente artesanales.

Los buggys están pensados principalmente para personas que disfrutan con la conducción o diseño de este tipo de vehículos. Gracias a sus grandes ruedas suelen ser utilizados en las zonas costeras y los desiertos, donde se puede circular libremente y saltar entre las numerosas dunas. También pueden ser empleados para trabajar en el campo, cuando se les proporciona una suspensión reforzada. Su uso se ha extendido entre unidades especiales de distintos cuerpos militares.

Por norma general, la disposición del motor es trasera al igual que la tracción. Esta configuración le confiere actitudes de sobreviraje. Actualmente se están creando modelos con tracción a las 4 ruedas y versiones de 2 o 4 plazas.

La producción en serie se ha extendido a vehículos sin carrocería, normalmente fabricados en China debido a su bajo coste, pero de baja calidad. Aunque legalmente están limitados en potencia a 20 CV y en velocidad a 70 km/h se los está confiriendo motores de 650, 800 y hasta 1100 cc para el mundo de la competición.

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño de un chasis de buggy off road que de seguridad, ligereza y confort y que, además, sea apto para homologarse ante una ADN y competir. Esta estructura debe garantizar la seguridad de los tripulantes, además de estar de acuerdo con lo que dicta el reglamento de homologación para estructuras de seguridad.

Una vez que tenemos nuestro diseño del chasis apto para homologarse vamos a optimizar este diseño. Con esta optimización esperamos conseguir una reducción de peso respecto a nuestro diseño inicial, obteniendo una solución final con un peso menor pero que aún mantenga un buen comportamiento y garantice la seguridad de los tripulantes del vehículo. Además, se realizará un estudio a torsión, intentando mejorar al máximo posible la relación rigidez/peso para beneficiar el paso por curva de nuestro vehículo.

2. Elementos básicos de seguridad.

Los elementos básicos que garantizan la seguridad del piloto y del copiloto en competición, son principalmente los que citamos a continuación. Baquet, Arnés, Extintores y sistema de extinción, indumentaria de los tripulantes del vehículo y la estructura de seguridad o jaula antivuelco. Este último elemento coincide en este caso con el chasis, ya que es la propia estructura la encargada de dar seguridad al habitáculo. A continuación, explicaremos brevemente en que consiste cada uno de estos elementos.

- **Baquet.** Es un asiento de una plaza utilizado en vehículos de competición y algunos deportivos de gama alta. Su función es proteger al ocupante y junto a los cinturones de seguridad, sujetarlo firmemente al asiento, para impedir que se mueva debido a las fuerzas centrífugas a las que se ve sometido en el paso por curva y en caso de un posible accidente. Estos asientos son muy efectivos en caso de vuelco. Estos deben estar homologados por la FIA.



Figura 1. Baquet de competición

- **Arneses.** Son uno de los elementos principales de seguridad que posee la tripulación de un vehículo de competición. Este elemento es el que realiza la sujeción del piloto y copiloto a los asientos del vehículo, y será el que sujete e impida los desplazamientos del cuerpo de estos en caso de que se produzca algún accidente en carrera. Los arneses han de estar homologados por la FIA y cumplir con las normas de la FIA.



Figura 2. Arneses de seguridad

- **Extintores y sistemas de extinción.** En todo vehículo de competición se deberá disponer de un sistema de extinción que figure en la lista técnica nº 16 de la FIA "Sistemas de extinción homologados por la FIA", las especificaciones de estos sistemas están recogidas en el "Anexo J artículo 253" en su artículo 7 [1].



Figura 3. Sistemas de extinción

- **Indumentaria del piloto y copiloto.** El piloto y copiloto deberán llevar una indumentaria especial, compuesta principalmente de guantes, botines, mono ignífugo, sotocasco y ropa interior ignífuga además del casco de seguridad. La vestimenta que deben llevar se rige por la normativa FIA 8856-2000 y los materiales aprobados por la FIA para las vestimentas se recogen en la lista técnica nº 27 de la FIA.



Figura 4. Indumentaria de competición



Figura 5. Casco de competición

- **Chasis.** Estructura de seguridad o también conocida como jaula antivuelco, que en este caso coincide con el chasis y es el elemento de seguridad el cual nos centraremos en diseñar en lo que resta del proyecto. Esta será una estructura formada por tubos huecos de acero soldados entre sí. Esta estructura tiene dos funciones principales, la primera y más importante es garantizar la seguridad de piloto y copiloto dentro del vehículo, en caso de cualquier accidente, es decir, la función principal de esta estructura será formar el esqueleto interno en el vehículo, el cual, en caso de sufrir algún accidente, este esqueleto sufrirá unas deformaciones plásticas muy pequeñas, manteniendo prácticamente la forma del habitáculo que ocupan los dos tripulantes y consiguiendo que estos salgan del vehículo accidentado, sin sufrir grandes lesiones. Además de la primera función también, esta estructura, aportará una rigidez a torsión extra al chasis del vehículo, muy deseable en estos vehículos de competición, ya que las fuerzas de torsión a las que se ve sometido el chasis en carrera son muchos más altas que las que se producen en un vehículo de calle. Entonces aumentando la rigidez a torsión del chasis/carrocería del vehículo, lograremos que el vehículo tenga un mejor comportamiento en su conducción y responda mejor en los pasos por curva.



Figura 6. Chasis de buggy off road.

3. Concepción y requisitos del diseño.

Se denomina chasis a la estructura de sostén en la que se fijan los distintos elementos y grupos mecánicos que componen el automóvil, como son motor, transmisión, dirección, etc. Además de ser el encargado de soportar el peso de todos los elementos, debe también hacer frente a las denominadas sobrecargas de uso. Entre ellas distinguimos las debidas al peso de carga y ocupantes, y también aquellas cargas dinámicas originadas por el propio funcionamiento de los componentes del vehículo, así como el movimiento de este.

Su diseño y posterior cálculo estructural resultan por tanto vitales, debiéndose centrar en una correcta distribución de masas, y en los puntos de anclaje de la suspensión delantera, suspensión trasera y motor. Estos serán los que más solicitaciones provoquen al chasis, y por tanto los más conflictivos.

Esta estructura, para los vehículos pertenecientes al Grupo Buggys Nacionales TT, debe estar diseñada de acuerdo con el Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.

Se ha elegido esta opción ya que brinda la posibilidad de realizar un diseño más libre y con más posibilidades de optimización, siempre y cuando corroboremos, mediante los correspondientes análisis estructurales, que la estructura cumple con los ensayos especificados en el reglamento. Junto a estos ensayos también se especifica en el reglamento, una serie de restricciones de forma, de diseño y geométricas que debemos cumplir para que nuestra estructura pueda homologarse e incorporarse al vehículo que valla a competir.

De acuerdo con el Anexo 9 de la federación, Reglamento específico del grupo Buggys Nacionales TT se procede a la elección de elementos que conformarán el vehículo, así como su diseño en cuanto a dimensiones.

3.1. Vehículos admitidos.

Vehículos preparados para el Todo Terreno (el equipo de abordaje estará formado por piloto y copiloto) con motores derivados de motos de producción o de coches, homologados por la RFEDA y provistos de la correspondiente ficha de homologación distribuidos en 2 categorías:

- Categoría 1: de 500 cc a 849 cc (hasta 4 cilindros)
- Categoría 2: desde 850 cc a 1200 cc (4 cilindros máximo).

En este caso se decide diseñar el vehículo en la categoría 2, siendo esta la de mayor cilindrada y dimensionando así el chasis para el caso de mayores solicitaciones. El motor escogido será el de una moto Honda modelo CBR 1000, de cilindrada 999cc y de 4 cilindros en línea, arranque eléctrico, 190 CV de potencia a 13000 r.p.m. y un par máximo de 114Nm a 11000 r.p.m.

MOTOR	
Tipo	Cuatro cilindros en línea, 16 válvulas, DOCH
Cilindrada	999 cc
Diámetro x carrera	76 x 55 mm
Ratio de compresión	13,0:1
Potencia máxima	190 cv a 13.000 rpm
Par máximo	114 Nm a 11.000 rpm

Tabla 1. Características motor.

3.2. Estructura de seguridad.

En lo concerniente al chasis, solo serán autorizados los exclusivamente metálicos monocasco, o tubulares, no estando autorizados los formados por “nido de abejas” o metálico, más que para el fondo plano, y la caja de protección frontal obligatoria. En este caso se diseñará un chasis tubular metálico.

3.3. Estructuras deformables.

Todos los vehículos deben tener una estructura deformable delantera y trasera de origen o que cumpla con el presente artículo. Deberá estar reflejada en la ficha de homologación.

3.4. Carrocería y dimensiones.

Las siguientes dimensiones y características deben estar reflejadas en la ficha de homologación.

- **Longitud máxima** establecida en 3750 mm.

- **Anchura máxima** establecida en 1900 mm.

- La **altura** medida verticalmente desde el punto más bajo de la superficie plana al punto más elevado del vehículo no deberá ser superior a 1.200 mm comprendiendo el arco principal de seguridad (en los vehículos que procedan de una serie comercial, la altura máxima deberá ser la necesaria más ajustada a ese valor, que permita la correcta ubicación de sus ocupantes).

- **Puertas:** En caso de tenerlas, las dimensiones del paño inferior (parte opaca) deberán ser tales que se pueda inscribir un rectángulo o paralelogramo de al menos 500 mm de largo en total y 300 mm de alto medidos verticalmente en el que los ángulos podrán ser redondeados con un radio máximo de 150 mm como máximo. En el caso de no tener puertas practicables, la carrocería se prolongará en altura lateral, hasta cubrir la protección lateral de la estructura del vehículo.

- **Techo obligatorio.** En este proyecto no afecta para el cálculo del chasis.

- **Alerón:** No puede ser más alto que el techo y 75 mm de margen hacia el interior con respecto al ancho del vehículo.

3.5. Depósito.

El depósito o depósitos de combustible deben estar reflejados en la ficha de homologación y estar situado en los límites definidos por los ejes de las ruedas anteriores y posteriores. La capacidad máxima del depósito debe ser de 120 litros.

Los depósitos de combustible adicionales, de cualquiera de los tipos admitidos, deberán estar instalados por detrás del arco principal de la estructura de seguridad.

3.6. Habitáculo.

- Simétrico con respecto al eje longitudinal.
- Cada asiento a 300 mm del suelo del chasis y uno a cada lado.
- Anchura a la altura de los codos máximo 1100 mm, a lo largo de mínimo 250 mm de largo.
- Espacio para las piernas de 750 cc para cada ocupante, desde los pedales hasta el volante.
- Ancho mínimo de 250 mm mantenido durante mínimo 250 mm de altura.

3.7. Peso.

- Categoría 2: mínimo 600 Kg (Vehículo + Elementos de seguridad).
- En caso de no alcanzarse el mínimo establecido, se completará con lastres.

3.8. Seguridad:

- Arnés (Fijación al chasis).
- Anilla de seguridad delantera y trasera.
- Rueda de repuesto.

3.9. Especificaciones del Reglamento de Homologación.

De manera general la estructura de seguridad debe estar obligatoriamente homologada o ante una ADN o ante la FIA. Cualquier modificación sobre la estructura ya homologada está totalmente prohibida. Se considera como modificación cualquier proceso realizado sobre la estructura por mecanizado o soldadura que modifiquen de manera permanente los materiales o la propia estructura.

Los tubos que conforman la estructura no podrán portar ningún tipo de fluido en su interior. La forma de la estructura de seguridad no debe impedir en ningún caso la fácil entrada o salida del piloto y copiloto en el vehículo.

De acuerdo con el R.H. de R.F.E. de A. y del grupo de la categoría Buggys Nacionales TT, la estructura de seguridad debe cumplir con la homologación de la ADN del Reglamento de Homologación de la R.F.E. de A.

Estructura de seguridad.

La estructura de seguridad debe cumplir con el diseño mínimo reflejado a continuación en la Figura 7.

No obstante, este diseño mínimo podrá tener una disposición distinta a la mostrada en la Figura 7 previa aceptación del mismo por parte del Departamento Técnico de la R.F.E. de A. Si la distancia (A), medida en horizontal, entre el punto de anclaje al chasis del arco delantero y el miembro transversal delantero fuera superior a 200 mm, será obligatorio instalar una barra de refuerzo que unan estos dos puntos (refuerzo del parabrisas).

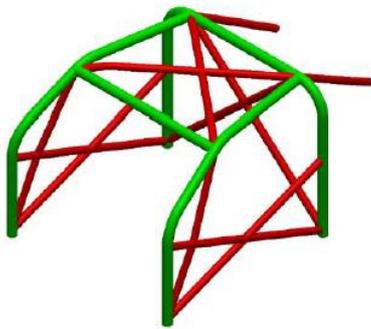


Figura 7. Diseño mínimo Buggy TT

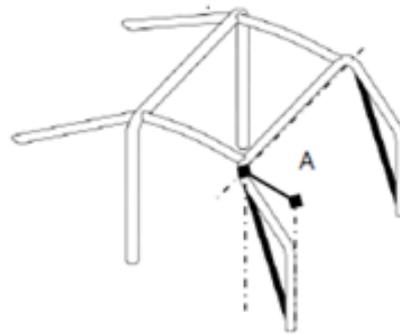


Figura 8. Refuerzo A parabrisas

Las dimensiones de los tubos que conforman la estructura de seguridad, Dibujo 1, deberán ser, como mínimo, las reflejadas en la Tabla 1.

	Dimensiones mínimas [mm]
Tubo Verde	Ø50 x 1,5 o Ø40 x 2
Tubo Rojo	Ø35 x 1,5
Resto Tubos	Ø35 x 1,5

Tabla 2. Dimensiones mínimas de tubo

Barra para los arneses de seguridad.

En caso de que se proyecte una barra en la estructura para anclar las bandas de los hombros de los arneses de seguridad, estas deberán cumplir con las dimensiones indicadas en el Art. 253-6.2 del Anexo J.

Curvatura de barras.

Es muy recomendable que, tanto las barras laterales de puertas, Figura 9 como las del techo, Figura 10, se diseñen y fabriquen con una curvatura orientada hacia el exterior del habitáculo.

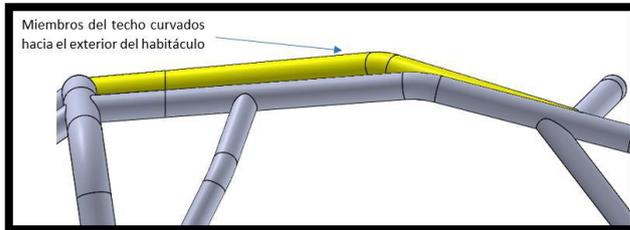


Figura 9. Vista lateral de la estructura

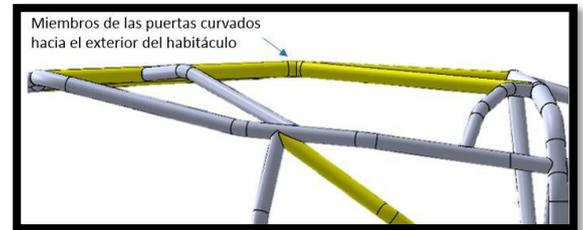


Figura 10. Vista en planta de la estructura

Material.

Se podrán usar los siguientes tipos de aceros:

- Aceros aleados de alta resistencia y destinados a la fabricación mecánica, como por ejemplo 25CrMo4 o 15CDV6.
- Acero al carbono no aleado con un contenido máximo de carbono del 0.3%. Se considera que un acero al carbono no aleado puede contener, como máximo, los siguientes porcentajes de componentes en su composición:

Elemento	Contenido	Elemento	Contenido	Elemento	Contenido
Aluminio	0,1	Novio	0,05	Manganeso	1,6
Bismuto	0,1	Níquel	0,3	Molibdeno	0,08
Boro	0,0008	Plomo	0,4	Wolframio	0,1
Cobalto	0,1	Silicio	0,6	Lantánidos	0,05
Cobre	0,4	Titanio	0,05	Otros (Excepto P, C, N y O)	0,05
Cromo	0,3	Vanadio	0,1		

Tabla 3. Contenido máximo de elementos de aleación

En ambos casos, este acero deberá ser conformado mediante estirado en frío y carecer de soldadura.

La resistencia a tracción de los materiales no podrá ser inferior a 355 MPa. No obstante, se recomienda encarecidamente usar un acero al carbono con un grado equivalente o superior al ST52/E355, dadas sus propiedades mecánicas, para cualquiera de las estructuras expuestas en el presente reglamento.

El estudio de resistencia de materiales tendrá que ser llevado a cabo y visado por un ingeniero cualificado para dicho propósito con un programa de simulación adecuado, que habrá que declarar en el Proyecto Técnico definido en la “Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la R. F. E. de A.”.

El tipo de elemento usado para la discretización del modelo deberá ser bidimensional (tipo superficie) o tridimensional (tipo sólido).

Se podrán proponer otros modos de aplicación de las cargas, previa solicitud al Departamento Técnico de la R.F.E. de A., siempre que las características de la estructura y las hipótesis de los ensayos lo hagan factible.

3.10. Solicitaciones de carga.

Los valores de las fuerzas se calculan con la masa del vehículo, en condiciones de carrera, más 80 o 160 kg según el grupo al que pertenezca el vehículo. Posteriormente, esta masa total, denominada ‘P’, se debe multiplicar por un coeficiente en función del ensayo que se lleve a cabo.

A continuación, se detalla cómo se deben aplicar las cargas y a que grupos afectan. Las indicaciones se acompañan de unos dibujos orientativos donde se resaltan con colores las barras sobre las cuales se deben aplicar las cargas.

Carga vertical.

Carga uniformemente repartida, en sentido descendente, y de valor $7,5 \times P$ [daN] sobre toda la parte superior del arco principal, hasta un máximo de 75 mm con respecto al punto de unión de los semiarcos laterales y/o los tirantes traseros. Se muestra el siguiente dibujo como ejemplo de la zona de aplicación de la carga.



Figura 11. Vista en planta de detalle del arco principal, cotas en mm.

Carga frontal.

Carga uniformemente repartida, hacia el interior de la estructura, y de valor $3,5xP$ [daN] sobre el semiarco lateral / arco frontal a la altura del miembro transversal delantero y extendiéndose entre 100 y 200 mm a lo largo del tubo. Se muestra el siguiente dibujo como ejemplo de la zona de aplicación de la carga.

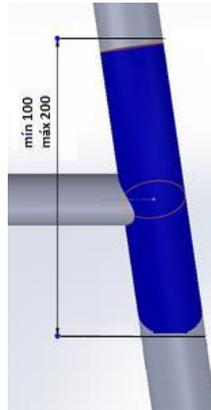


Figura 12. Vista en planta de detalle del semiarco lateral, cotas en mm

Esta carga debe estar orientada de la siguiente manera:



Figura 13. En vista frontal, inclinada 25° hacia el interior de la estructura

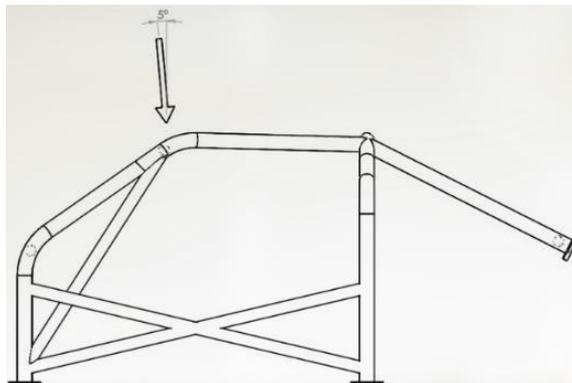


Figura 14. En vista lateral, inclinada 5° hacia el interior de la estructura

Carga lateral.

Carga uniformemente repartida, hacia el interior de la estructura, de valor $3,5xP$ [daN] sobre la totalidad de los refuerzos laterales de las puertas. Se muestra el siguiente dibujo como ejemplo de la zona de aplicación de la carga.

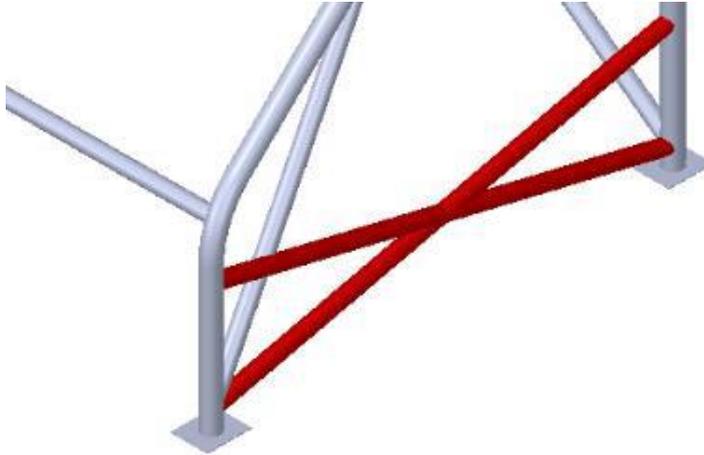


Figura 15. Zonas de aplicación marcadas en rojo

Resumen.

Especialidad	Solicitaciones de carga [daN]						Desplazamientos máx. [mm] En cualquier caso de carga
	P	Vertical	Frontal	Longitudinal	Lateral	Esquema explicativo	
Prototipo E1 Nacional Prototipo E2 Nacional	Masa del vehículo [kg] + 160 kg						
Buggies Nacionales TT		7,5P	3,5P	N/A	3,5P		50
CM Promoción CM+	Masa del vehículo [kg] + 80 kg						
Car Cross Car Cross Junior			N/A	6P			

Tabla 4. Síntesis de las cargas que hay que aplicar en función del grupo.

3.11. Condiciones de contorno.

Se deberá restringir el movimiento de la estructura en todos los grados de libertad (desplazamientos y rotación) de cada punto de fijación al chasis. En la siguiente tabla explicativa se puede ver, en morado en la fila superior, los puntos que hay que fijar mientras que en la fila inferior se muestra la superficie correspondiente sobre la que restringir el movimiento.

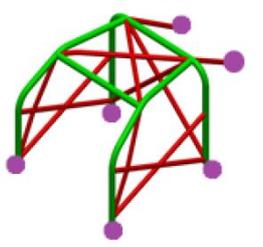
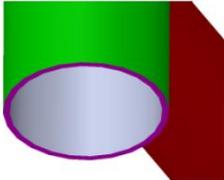
Buggies TT	
Puntos de Fijación	
Superficie de aplicación	

Tabla 5. Puntos de fijación de la estructura y superficies de aplicación

Se podrán proponer otros modos de aplicación de las condiciones de contorno, previa solicitud al Departamento Técnico de la R.F.E. de A., si las características de la estructura y las hipótesis de los ensayos lo hacen factible.

3.12. Desplazamientos.

En el instante de aplicación del 100% de la carga, en el ensayo de simulación no podrá existir desplazamiento, como consecuencia de la deformación elástica y/o plástica, superior a 50 mm, medidos en cualquier dirección del espacio y en toda la estructura. Esto se aplica a cualquiera de los casos de sollicitaciones de carga.

3.13. Tensiones.

En caso de realizar un análisis lineal no se podrá superar el límite elástico del material en toda la estructura. En el caso de superarse el límite elástico, se deberá justificar el ensayo con un análisis no lineal.

En caso de realizar un análisis no lineal no se podrá superar la tensión de rotura del material en toda la estructura.

4. Herramientas y métodos.

Para el presente modelado y cálculo, se empleará el programa CATIA P3 V5R19, más específicamente los módulos de Mechanical Design para el modelado y, para el cálculo mediante elementos finitos Analysis & Simulation, con el submódulo de Generative Structural Analysis.

El método empleado como se ha nombrado anteriormente es el de **elementos finitos**. El **método de los elementos finitos** (MEF en castellano o FEM en inglés) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El MEF está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas. El MEF se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos. La variedad de problemas a los que puede aplicarse ha crecido enormemente en estos últimos años.

El MEF permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales en forma integral que caracterizan el comportamiento físico del problema, dividiéndolo en un número elevado de subdominios no intersecantes entre sí denominados «elementos finitos». El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados «nodos». El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama «malla».

Los cálculos se realizan sobre una malla de puntos (llamados nodos), que sirven a su vez de base para discretización del dominio en elementos finitos. La generación de la malla se realiza usualmente con programas especiales llamados generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales. La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama

matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos.

Una importante propiedad del método es la convergencia; si se consideran particiones de elementos finitos sucesivamente más finas, la solución numérica calculada converge rápidamente hacia la solución exacta del sistema de ecuaciones.

Desde el punto de vista de la programación algorítmica modular las tareas necesarias para llevar a cabo un cálculo mediante un programa MEF se dividen en:

Pre-proceso, que consiste en la definición de geometría, generación de la malla, las condiciones de contorno y asignación de propiedades a los materiales y otras propiedades. En ocasiones existen operaciones cosméticas de regularización de la malla y preconditionamiento para garantizar una mejor aproximación o convergencia del cálculo.

Cálculo, el resultado del pre-proceso, en un problema simple no-dependiente del tiempo, permite generar un conjunto de N ecuaciones y N incógnitas, que puede ser resuelto con cualquier algoritmo para la resolución de sistemas de ecuaciones lineales. Cuando el problema a tratar es un problema no-lineal o un problema dependiente del tiempo a veces el cálculo consiste en una sucesión finita de sistemas de N ecuaciones y N incógnitas que deben resolverse uno a continuación de otro, y cuya entrada depende del resultado del paso anterior.

Post proceso, el cálculo proporciona valores de cierto conjunto de funciones en los nodos de la malla que define la discretización, en el post proceso se calculan magnitudes derivadas de los valores obtenidos para los nodos, y en ocasiones se aplican operaciones de suavizado, interpolación e incluso determinación de errores de aproximación.

5. Diseño y cálculo.

Conocidas todas las especificaciones del vehículo se procede al diseño del chasis y al modelado de este en el CAD y CAE.

5.1. Modelado.

El modelado del chasis se ha realizado siguiendo dos vertientes, por un lado, que el número de barras sea el menor posible, con el menor diámetro y espesor posible, para obtener un chasis ligero. A su vez, se ha tenido en cuenta que cumpla con los requisitos establecidos por el reglamento, por lo que se han reforzado las zonas que mayores solicitaciones de carga va a tener. En primer lugar, se ha comenzado por la estructura de la cabina, es decir, el centro de nuestro vehículo donde se ubicarán piloto y copiloto.

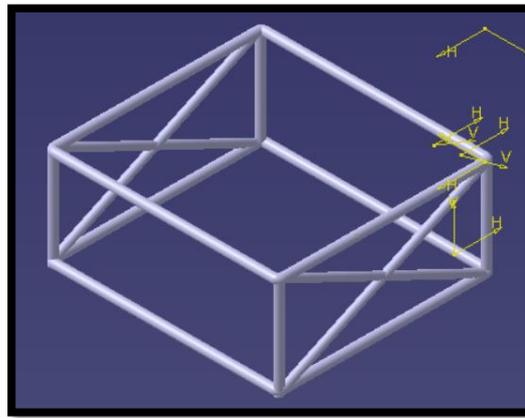


Figura 16. Estructura cabina.

A raíz de esta estructura se conformará el resto del vehículo. A continuación, se elaboró la parte superior de la cabina, tal y como se muestra en la siguiente figura.

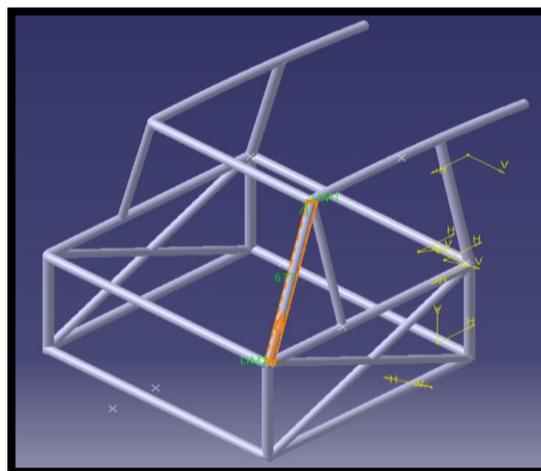


Figura 17. Techo cabina.

Tal y como se observa en la figura anterior, el techo de la cabina tiene una pequeña curvatura, obligatoria siguiendo el reglamento. El radio de curvatura de esta es de 7817 mm. Con esto evitamos que la estructura se deforme hacia el interior en caso de accidente, evitando así el atrapamiento de sus ocupantes.

De este modo se ha obtenido el chasis que se muestra a continuación, mostrándose una vista 3D, un alzado, planta y perfil:

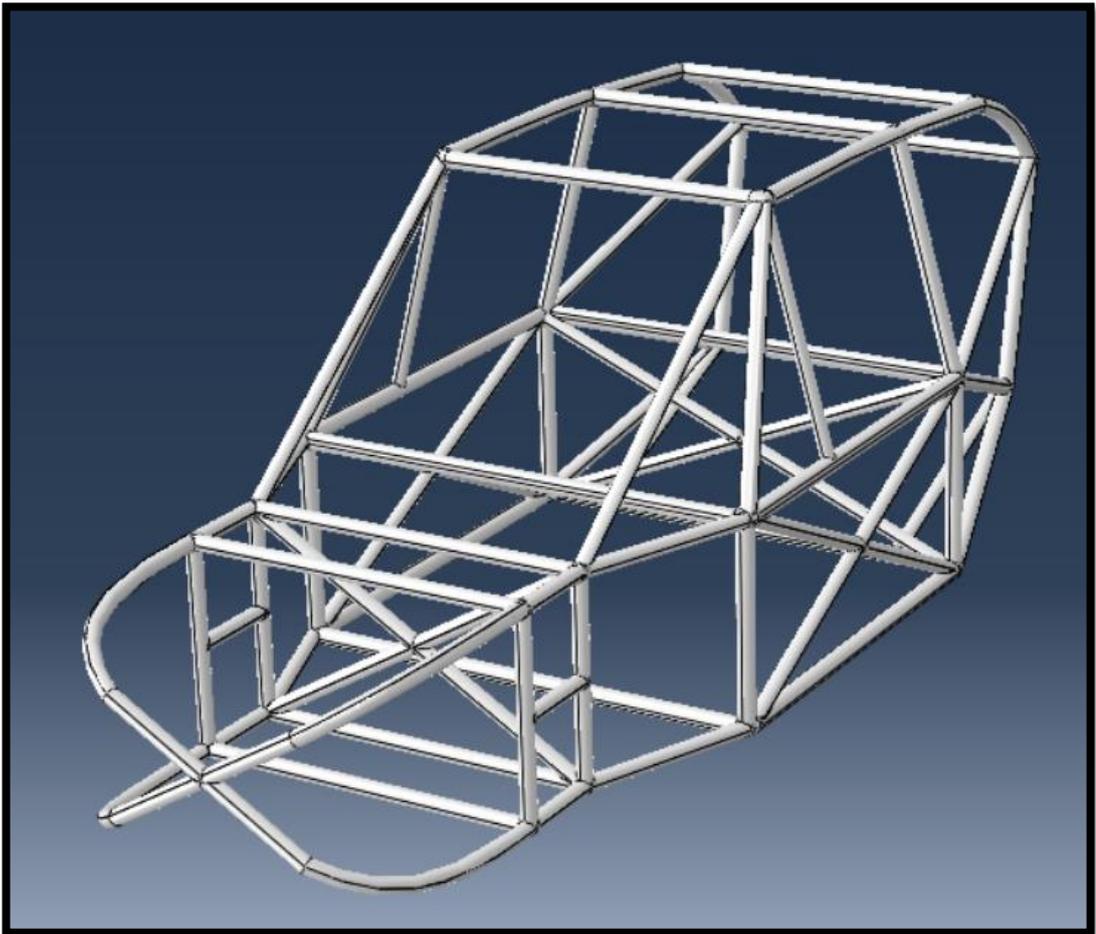


Figura 18. Modelado visto 3D.

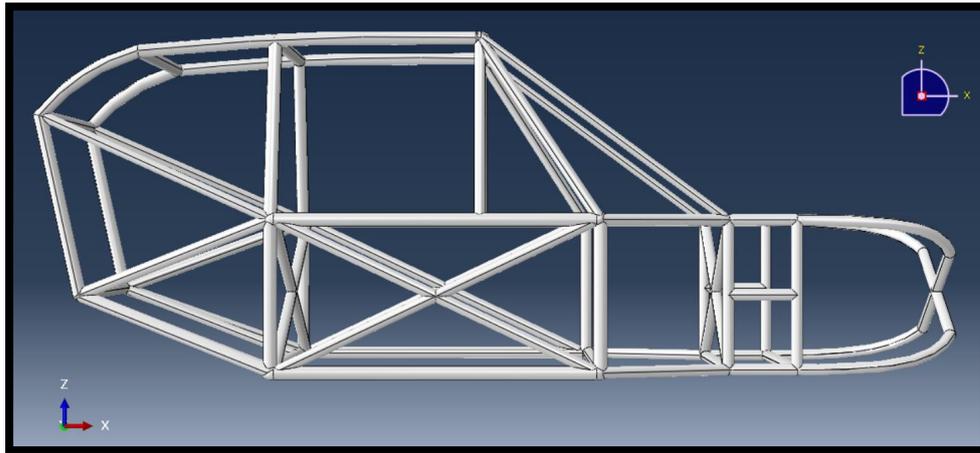


Figura 19. Modelado vista perfil.

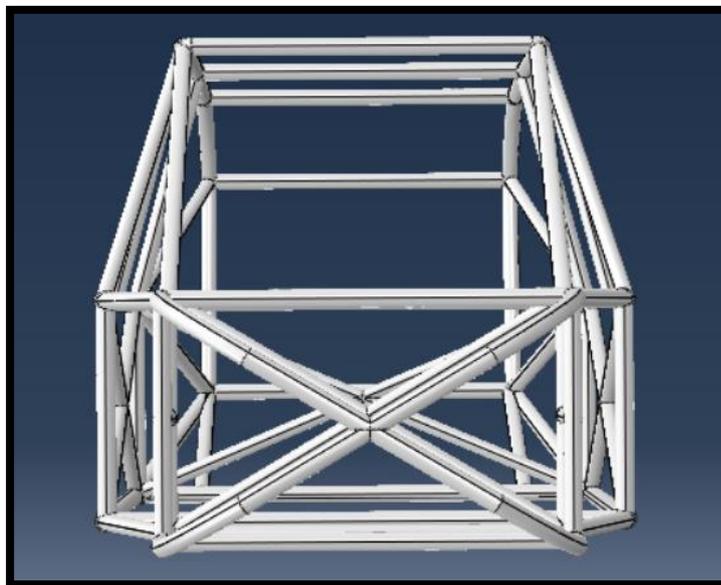


Figura 20. Modelado vista alzado.

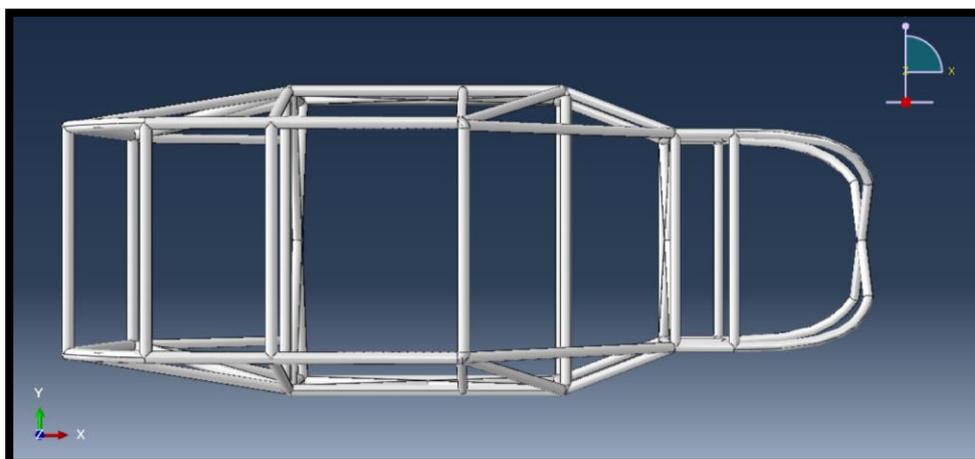


Figura 21. Modelado vista en planta.

A continuación, se especificará el porqué de la ubicación de alguna barra o conjuntos de barras en esa zona del chasis, siendo estas las más importantes de todo el chasis.

En primer lugar, el conjunto de barras del bastidor delantero, ubicado entre la zona del parabrisas y las ventanillas delanteras. Este conjunto es importante ya que sobre él se aplicará la carga frontal exigida por el reglamento, además de soportar a su vez la carga vertical.

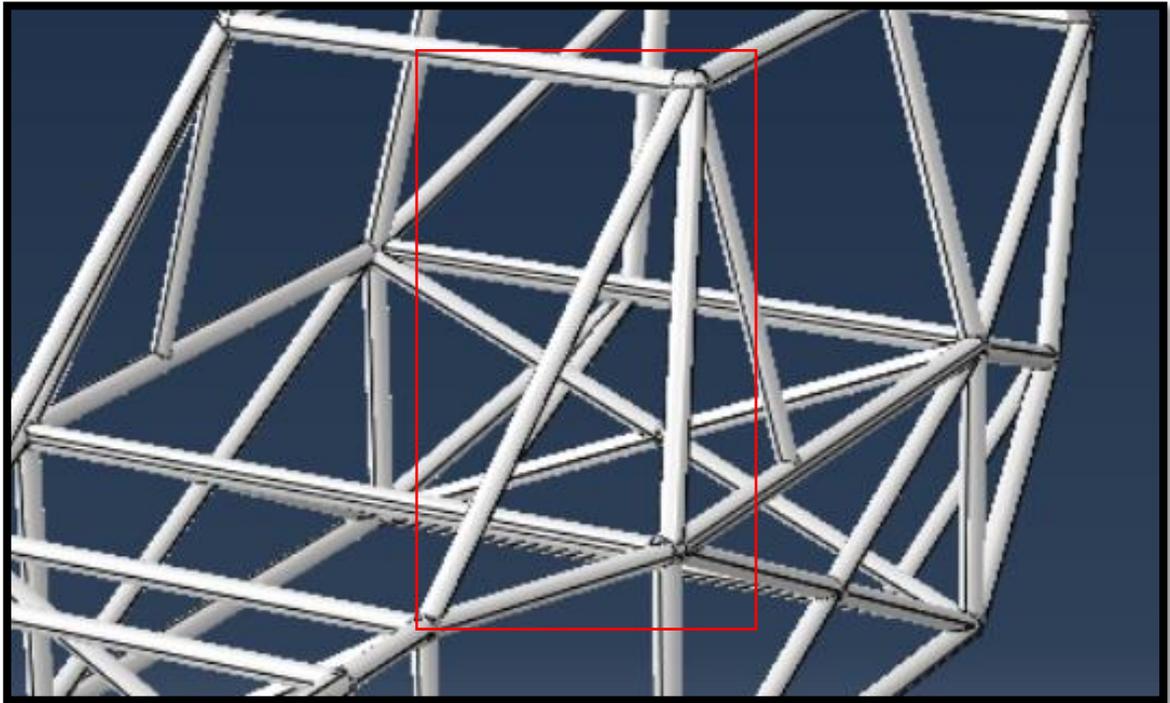


Figura 22. Barras bastidor delantero.

La barra frontal ayuda con la carga frontal, la carga vertical y a su vez a resistir la flexión longitudinal que puede sufrir el vehículo. La barra central y trasera de nuevo ayudan con la carga frontal y vertical, pero, además darán rigidez torsional al chasis.

Otro elemento, es decir otra barra, a tener en cuenta y de importancia para nuestro chasis es la sujeción de los amortiguadores tanto delanteros como traseros. Estas barras llevarán adheridas unas fijaciones para la suspensión. A continuación, se muestra su ubicación en el chasis.

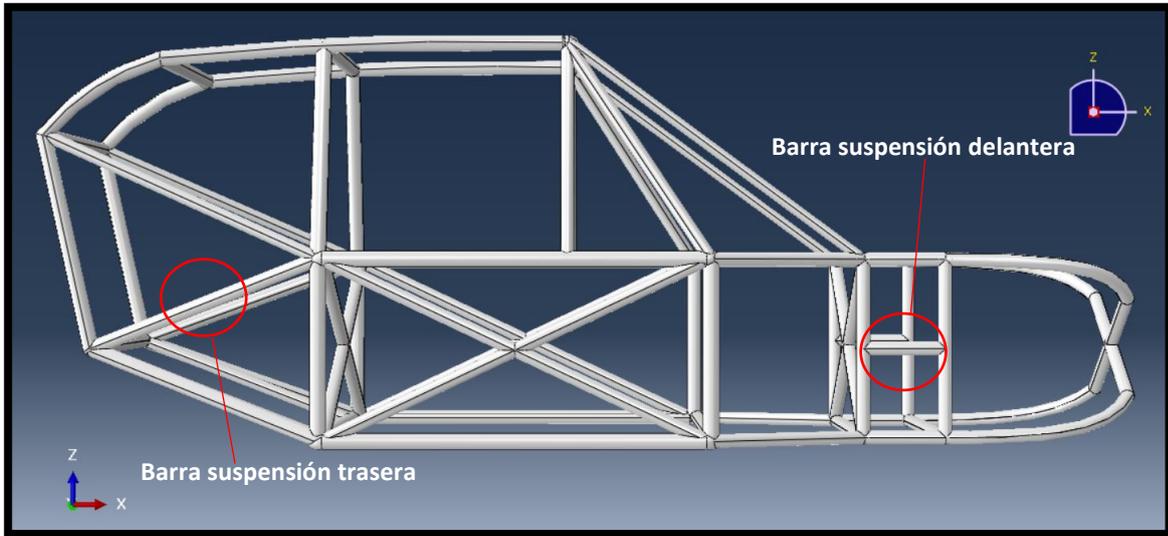


Figura 23. Barras suspensión delantera y trasera.

Tal y como se puede apreciar en la imagen, la barra trasera lleva un ángulo de inclinación, esto se debe a que en esta zona la suspensión lleva a su vez una inclinación que ayuda a su funcionamiento.

La parte delantera de este vehículo se ha modelado de forma que el espacio que hay entre la cabina y el frontal, sea la máxima posible para ubicar aquí el mayor número de elementos posible (radiador, bomba de agua, batería, etc.).

En las secciones transversales del chasis encontramos dos conjuntos de barras en forma de equis. Con estos conjuntos lo que se pretende es dar rigidez a torsión, facilitando así la conducción del vehículo en su paso por curva. Se muestra en la siguiente imagen un ejemplo de estos conjuntos.

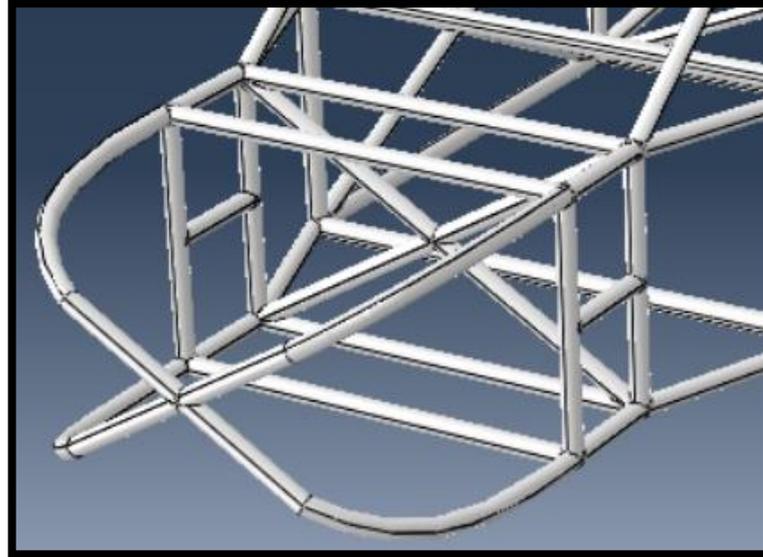


Figura 24. Barras rigidizadoras de torsión.

Por otro lado, hay que aclarar que, aunque no se hallan modelado ni tenido en cuenta pues para el cálculo de la resistencia, hay barras como las de fijación de los asientos, depósito, etc., pero las cuales no afectan ya que, si nuestro modelado cumple, ya estamos del lado de la seguridad y por lo tanto al añadirlas, seguiremos cumpliendo con los requisitos.

Por último, he de indicar que el material empleado para el modelado de nuestro chasis trata de un acero especial aleado 25CrMo4 cuyas propiedades son las indicadas en la siguiente tabla:

Structural Properties	
Young Modulus	2.05e+011N_m2
Poisson Ratio	0.3
Density	7860kg_m3
Thermal Expansion	1.17e-005_Kdeg
Yield Strength	7e+008N_m2

Figura 25. Propiedades Acero AISI 302 alta resistencia.

Este material está recogido en el reglamento, es decir cumple con las especificaciones que se exigen en la norma, además de proporcionarnos muy buenas propiedades en cuanto a resistencia mecánica. Se podría decir que de los materiales permitidos es uno de los óptimos en cuanto a resistencia, manteniendo la densidad típica de los aceros y por tanto su peso.

5.2. Mallado y estudio de convergencia de la malla.

En primer lugar, se hará un estudio de convergencia para el tamaño de elemento que se debe emplear, ya que esto es imprescindible para un cálculo correcto. Para ello realizaremos el mismo cálculo con diferentes tamaños de elemento (5, 10, 15 y 20) hasta que la variación de los resultados de uno a otro sea razonablemente pequeña (en torno a un error del 1 o 1'5 %), momento en el cual escogeremos el valor correcto para el tamaño de elemento.

Ángulo	Desplazamientos	Error %
5	22'5mm	
10	22'2 mm	1.31 %
15	17'7mm	2'02%
20	13'4 mm	2'42 %

Tabla 6. Tamaño de elemento para convergencia.

Como se puede comprobar, el tamaño de elemento que menor error nos provoca y menor coste computacional conlleva, es el tamaño de elemento 10 mm. De esta manera obtenemos la convergencia entre el tamaño de elemento y el resultado correcto.

Finalmente, el resultado de nuestro chasis con la malla de elementos de 10 mm es la que se muestra a continuación, que se ha empleado para todos los cálculos de las diferentes hipótesis de carga:

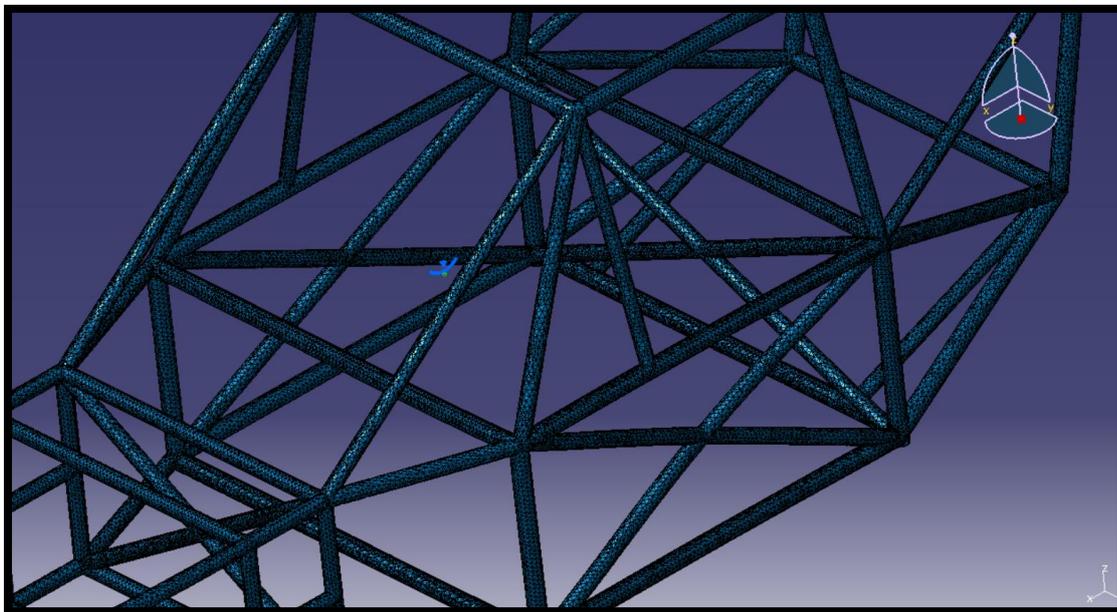


Figura 26. Malla del chasis.

Como se podrá apreciar a continuación, se trata de un mallado para elementos 3D parabólico, lo cual da exactitud a los cálculos ya que tiene en cuenta los espesores y la curvatura de la estructura.

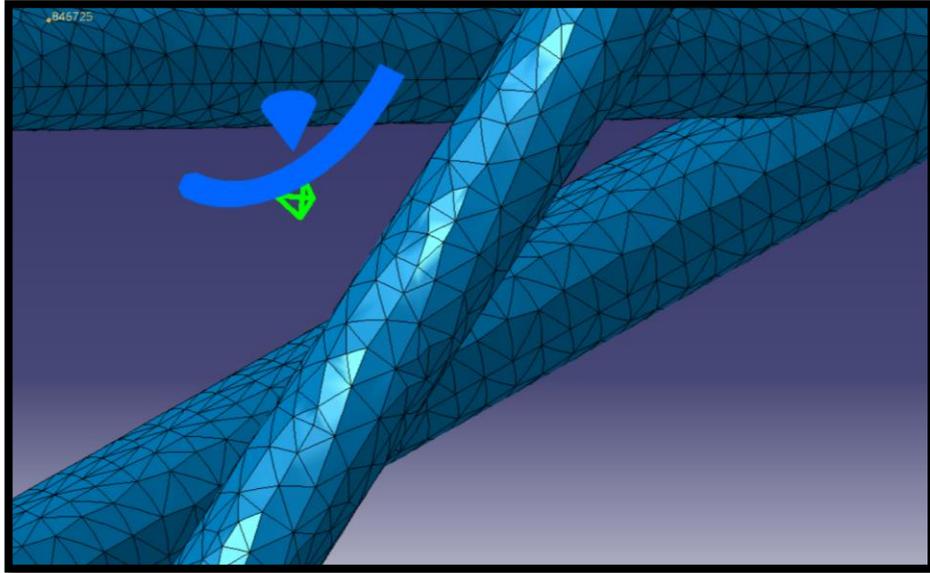


Figura 27. Detalle del mallado.

5.3. Condiciones de contorno.

El reglamento de la real federación española de automovilismo nos indica las restricciones que se han de aplicar, es decir, las condiciones de contorno, así como las superficies de aplicación de estas.

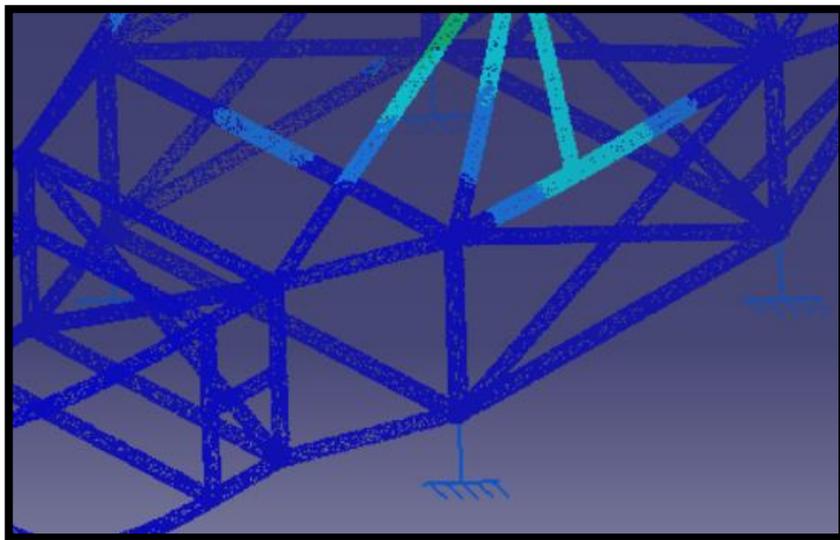


Figura 28. Condiciones de contorno.

Se han fijado las 4 esquinas del cuadro central de la cabina tal y como nos indica el reglamento, para hacer más favorable el estudio de torsión, se ha decidido no restringir la parte trasera, estando así en un caso más desfavorable en el cual si cumplimos, nos pondremos aún más del lado de la seguridad.

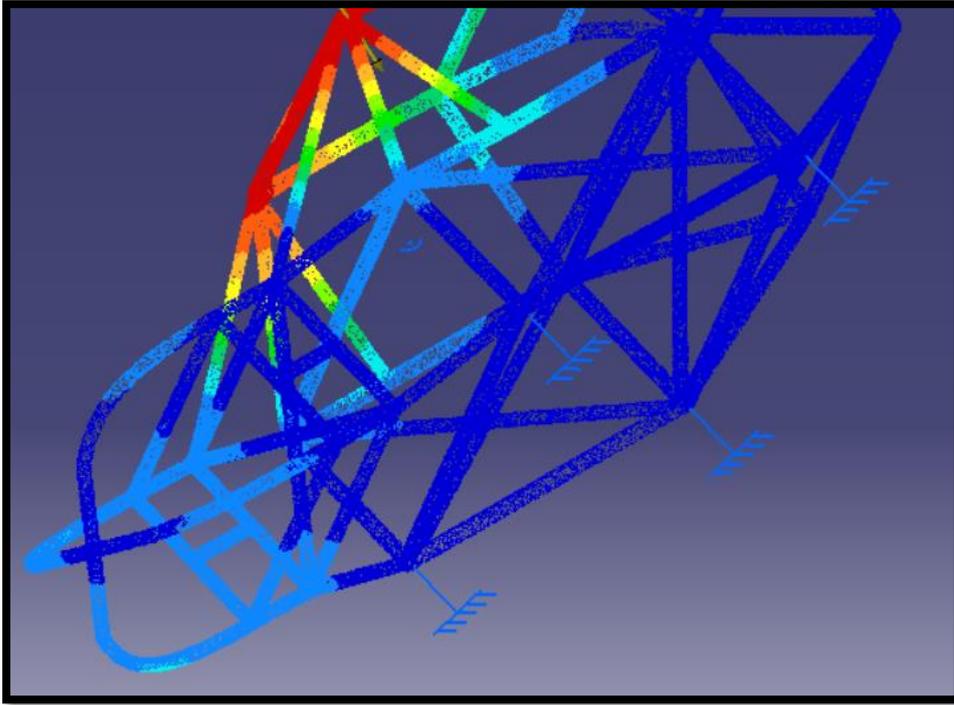


Figura 29. Condiciones de contorno.

5.4. Cálculo masa vehículo.

Los valores de las fuerzas se calculan con la masa del vehículo, en condiciones de carrera, más 80 o 160 kg según el grupo al que pertenezca el vehículo. Posteriormente, esta masa total, denominada 'P', se debe multiplicar por un coeficiente en función del ensayo que se lleve a cabo.

Elemento	Peso (Kg)	Unidades	Total (Kg)
Chasis	143	1	143
Asientos	9.5	2	19
Motor	64.5	1	64.5
Batería	3.2	1	3.2
Radiador	1.5	1	1.5
Ejes	8	4	32
Ruedas	10	5	50
Suspensión	32	4	128
Depósito lleno	83.6	1	83.6
			524.8

Tabla 7. Masas elementos.

El reglamento indica que el peso mínimo del vehículo ha de ser de 600 kg, como a la hora de estimar la masa del vehículo no se han contemplado la totalidad de los elementos que lo componen, se redondeará la cifra al mínimo establecido.

5.5. Tensiones carga vertical.

Partiendo de los 600 kg de masa del vehículo, más los 160 kg que debemos añadir y multiplicando por el coeficiente que indica el reglamento para este caso de carga (7'5P), obtenemos una carga total de 5700kg, es decir 55197 N.

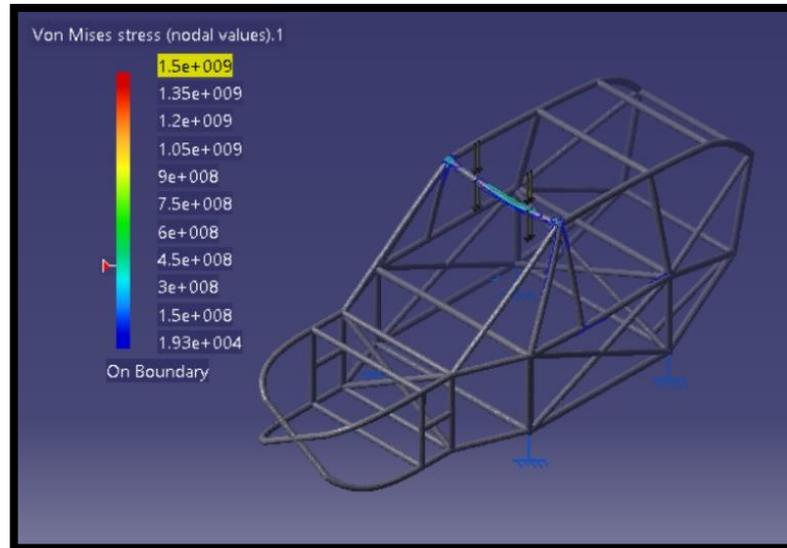


Figura 30. Tensión carga vertical.

Se cumple con lo establecido por el reglamento donde la tensión máxima es de 700 MPa, siendo en este caso de 423.6 MPa.

5.6. Tensiones carga frontal.

Partiendo de los 600 kg de masa del vehículo, más los 160 kg que debemos añadir y multiplicando por el coeficiente que indica el reglamento para este caso de carga (3'5P), obtenemos una carga total de 2600kg, es decir 26094'6 N.

Como en este caso han de colocarse las cargas con unos ángulos específicos, se descompondrán las cargas en los ejes según las componentes obtenidas.

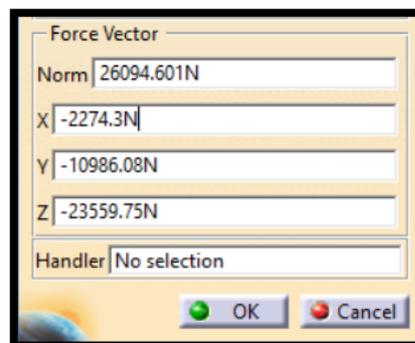


Figura 31. Distribución carga frontal.

Como puede comprobarse la normal da el valor adecuado, por lo que las componentes están correctamente distribuidas para este caso de carga.

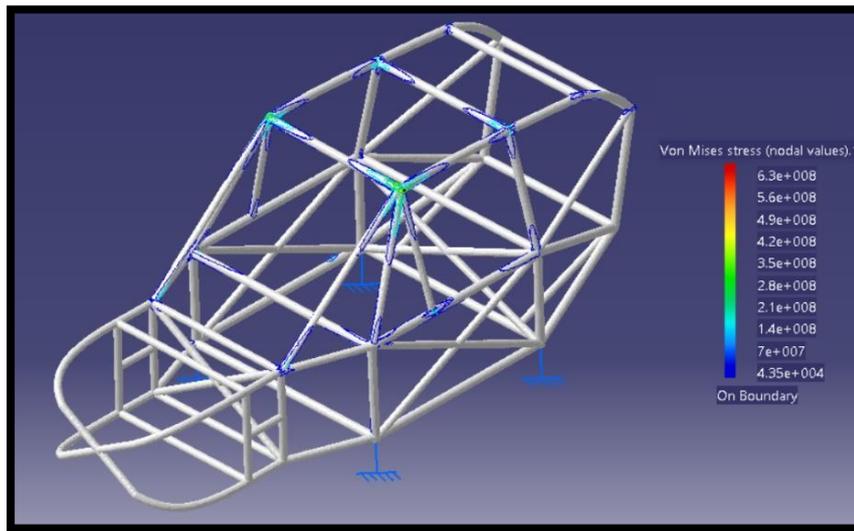


Figura 32. Tensión carga frontal.

Se cumple con lo establecido por el reglamento donde la tensión máxima es de 700 MPa, siendo en este caso de 630 MPa.

5.7. Tensiones carga lateral.

Partiendo de los 600 kg de masa del vehículo, más los 160 kg que debemos añadir y multiplicando por el coeficiente que indica el reglamento para este caso de carga (3'5P), obtenemos una carga total de 2660kg, es decir 26094'6 N.

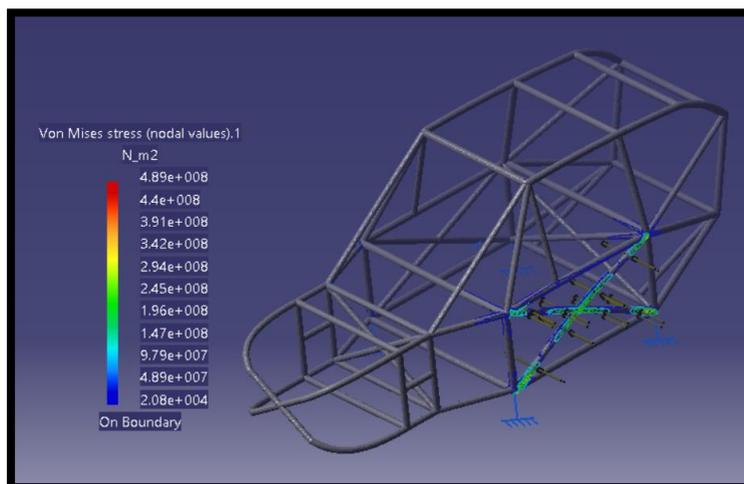


Figura 33. Tensión carga lateral.

Se cumple con lo establecido por el reglamento donde la tensión máxima es de 700 MPa, siendo en este caso de 489 MPa.

5.8. Desplazamientos carga vertical.

Partiendo de los 600 kg de masa del vehículo, más los 160 kg que debemos añadir y multiplicando por el coeficiente que indica el reglamento para este caso de carga (7'5P), obtenemos una carga total de 5700kg, es decir 55197 N.

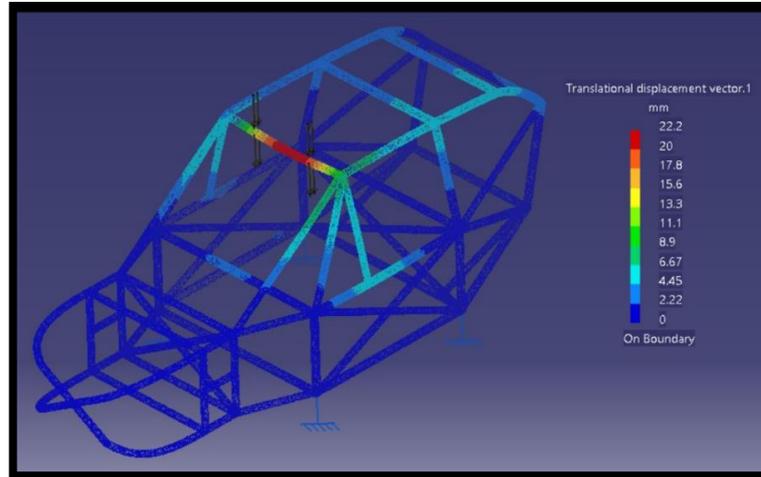


Figura 34. Desplazamiento carga vertical.

Se cumple con lo establecido por el reglamento donde el desplazamiento máximo es de 50 mm, siendo en este caso de 22'2 mm.

5.9. Desplazamientos carga frontal.

Partiendo de los 600 kg de masa del vehículo, más los 160 kg que debemos añadir y multiplicando por el coeficiente que indica el reglamento para este caso de carga (3'5P), obtenemos una carga total de 2660kg, es decir 26094'6 N.

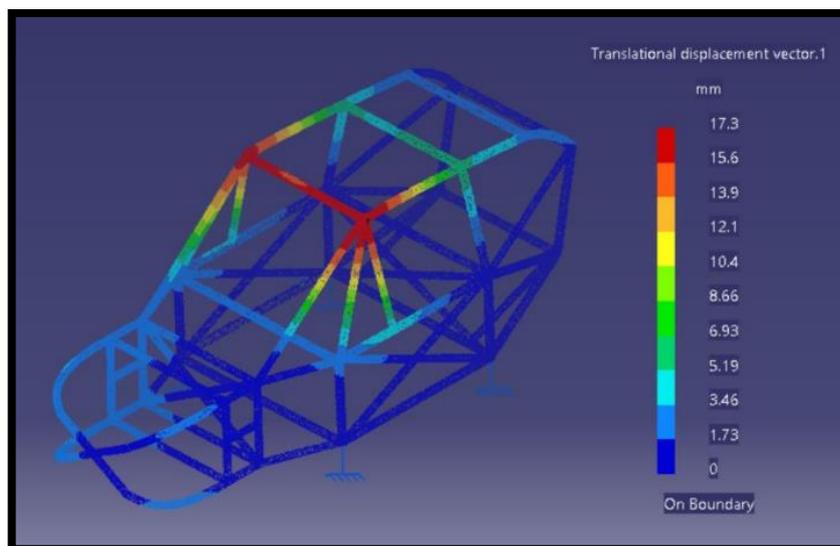


Figura 35. Desplazamiento carga frontal.

Se cumple con lo establecido por el reglamento donde el desplazamiento máximo es de 50 mm, siendo en este caso de 17'3 mm.

5.10. Desplazamientos carga lateral.

Partiendo de los 600 kg de masa del vehículo, más los 160 kg que debemos añadir y multiplicando por el coeficiente que indica el reglamento para este caso de carga (3'5P), obtenemos una carga total de 2660kg, es decir 26094'6 N.

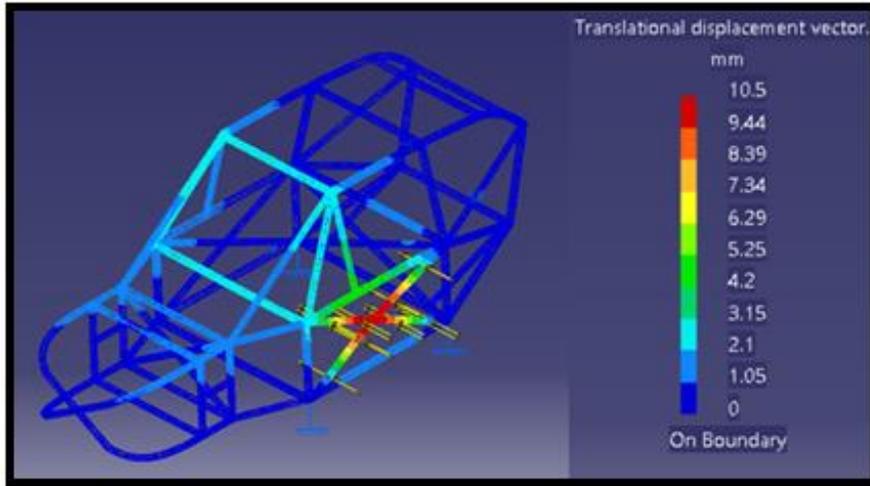


Figura 36. Desplazamiento carga lateral.

Se cumple con lo establecido por el reglamento donde el desplazamiento máximo es de 50 mm, siendo en este caso de 10'5 mm.

5.11. Estudio de torsión.

Para este ensayo, al tratarse de un estudio propio y no del reglamento, las condiciones de carga y valores serán establecidos acorde a lo que se quiere obtener. Se quiere comprobar con la carga del vehículo la torsión que sufre nuestro chasis, por lo que se aplicarán cargas de igual valor y sentidos opuestos, siendo de la mitad de la carga del vehículo en competición (380 kg o 3727'8N) que provoquen la torsión y se medirá el ángulo que provocan en este chasis. La rigidez torsional se hallará mediante la expresión:

$$K_E = \frac{F_p \cdot d_p}{\theta}$$

Siendo:

- K_E Rigidez a torsión.
- F_p Fuerza lateral aplicada.
- d_p Distancia entre fuerzas aplicadas.
- θ Ángulo de torsión.

Siendo F_p de 3727'8N y el ángulo de torsión del chasis θ de valor 0.293°, la rigidez torsional óptima que se ha alcanzado es de:

$$K_E = \frac{3727'8N \cdot 0'7m}{0'293^\circ} = 12722'86 \frac{Nm}{^\circ}$$

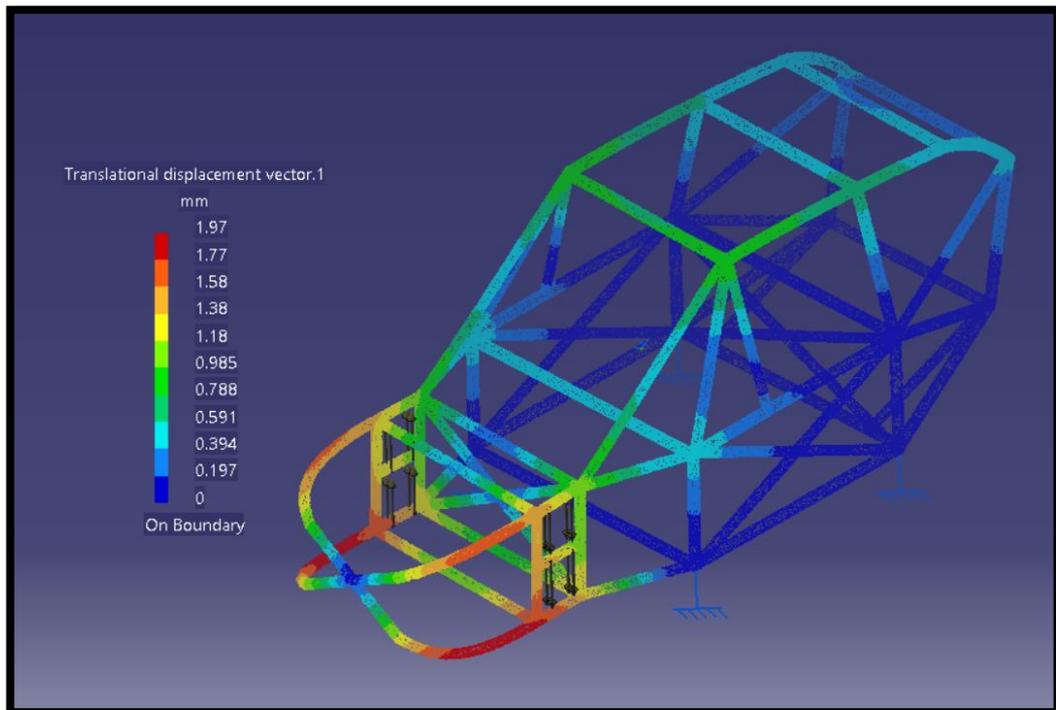


Figura 37. Estudio de torsión. Desplazamientos.

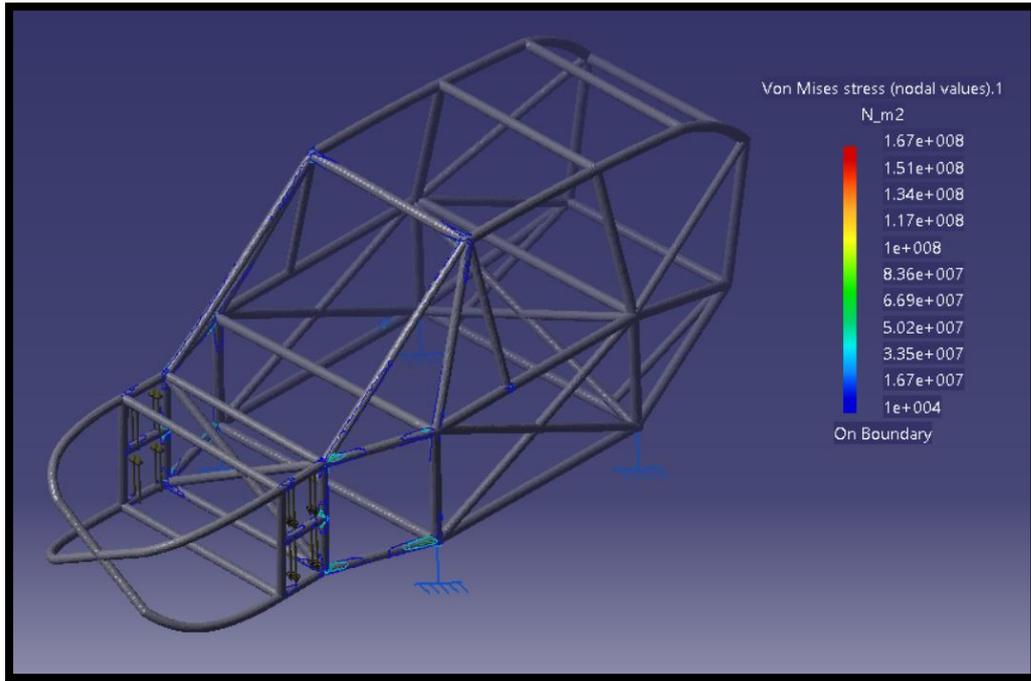


Figura 38. Estudio de torsión. Tensiones

Dicho cálculo se ha realizado en base al estudio “Influencia de la rigidez torsional del chasis en el comportamiento dinámico de un vehículo” [1]. Lo que pretende demostrar dicho estudio es que el comportamiento del vehículo será mejor, cuanto mayor sea su rigidez torsional. Es decir, tendrá mejor paso por curva cuanto mayor rigidez a la torsión se obtenga. Para nuestro caso el valor obtenido es óptimo para el tipo de vehículo del que se trata, ya que al tratarse de un offroad el cual circulará por tramos inestables tiene una rigidez a la torsión bastante alta, proporcionando así estabilidad al vehículo y a la conducción.

5.12. Resumen de resultados:

Ensayo	Tensión Máxima	Desplazamiento Máximo
Frontal	630 MPa	17’3 mm
Vertical	423’6 MPa	22’2 mm
Lateral	489 MPa	10’5 mm
Torsión	167 MPa	1’97 mm

Tabla 8. Resumen resultados. Tensiones y desplazamientos.

6. Diseño final.

Nuestro vehículo debe cumplir ciertos requisitos, además de los ya nombrados anteriormente, para poder ser homologado y por tanto poder circular y competir. Para ello se deberán tener en cuenta ciertos elementos. Estos elementos no se han tenido en cuenta con anterioridad porque no afectan al cálculo, son requerimientos de homologación.

El primero de estos elementos será un punto de anclaje las bandas de hombros de los arneses de seguridad. Este punto de anclaje se realizará situando una barra, cuyas características se mostrarán a continuación. La instalación de este elemento está regulada en artículo 253-6 del Anexo J. A continuación, resumimos brevemente los que dice este artículo acerca de los puntos de anclaje del arnés de seguridad.

La utilización de un mínimo de 4 puntos de anclaje, dos para las bandas de hombros y dos para las bandas pélvicas, es obligatorio en los arneses de seguridad. La instalación de estos puntos de anclaje está prohibida que se realice sobre los asientos o sus soportes. El arnés de seguridad puede instalarse sobre los puntos de anclaje del vehículo de serie. Las bandas de hombros deben estar dirigidas hacia atrás y hacia abajo de tal forma que no formen un ángulo mayor de 45 grados con la horizontal, se recomienda 10 grados. Los grados máximos en relación con el eje del asiento son de 20 grados convergentes o divergentes.

Si es posible deberán usarse los puntos de anclaje previstos por el constructor en el montante C. Los puntos de anclaje que impliquen un ángulo mayor al citado anteriormente no deberán usarse. En este caso las bandas de los hombros de los arneses de 4 puntos podrán instalarse en los puntos de anclaje de las bandas abdominales de los asientos traseros instalados de origen por el constructor del vehículo.

Si ninguna de estas alternativas de anclaje fuese posible, deberán instalarse nuevos puntos de anclaje en la carrocería o el chasis, lo más cerca posible de las ruedas traseras para las bandas de los hombros. También las bandas de los hombros pueden fijarse, igualmente, a la estructura de seguridad o a una barra de refuerzo mediante un lazo, o bien, fijarse a los anclajes superiores de los cinturones traseros, o fijarse en un refuerzo transversal soldado a los tirantes traseros de la jaula.

En nuestro caso, para nuestro diseño vamos a suponer que las bandas de los hombros de los arneses de seguridad irán ancladas a uno de los puntos de anclaje que trae el vehículo de serie y por lo tanto no será necesario añadir ningún refuerzo a la estructura, donde situar los puntos de anclaje.

En este caso, el uso de un refuerzo transversal está sujeto a las siguientes condiciones:

- El refuerzo transversal debe ser un tubo de, al menos, 38 mm x 2,5 mm o 40 mm x 2 mm de acero al carbono estirado en frío sin soldadura, con una resistencia mínima a la tracción de 350 N/mm².
- La altura de este refuerzo será tal que las bandas de los hombros, hacia atrás, están dirigidas hacia abajo con un ángulo de entre 10° y 45° con la horizontal desde el borde del respaldo, se recomienda un ángulo de 10°.
- Se autoriza a fijar las bandas por medio de un lazo o por tornillos, pero en este último caso debe soldarse una pieza por cada punto de anclaje (ver Dibujo 253-67 para las dimensiones).

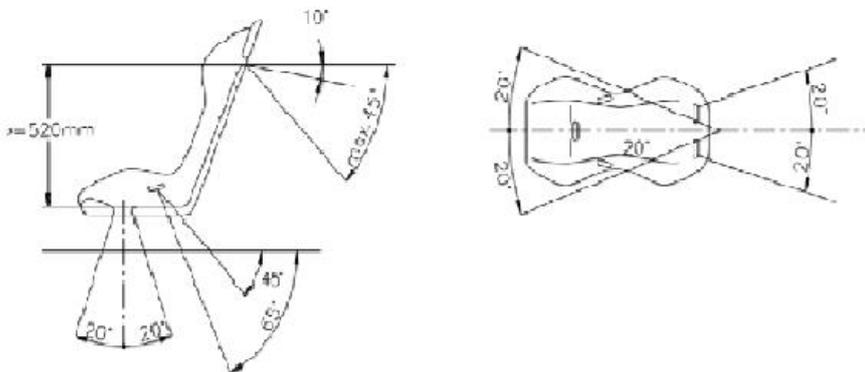


Figura 39. Instalación arneses de seguridad.

El segundo de los elementos necesarios para la homologación de la estructura será los refuerzos de las uniones soldadas que nos obliga el reglamento de homologación. Este dicta que deberemos reforzar:

- Las uniones entre los elementos diagonales que forman el refuerzo del arco principal.
- Las uniones entre los elementos que forman los tirantes del techo.
- Las uniones entre los elementos que forman los tirantes de las puertas.
- La zona de unión entre los refuerzos del pilar del parabrisas y los tirantes de las puertas.

El reglamento también nos dice que estas uniones deben estar realizadas mediante dos cartelas que estén de acuerdo con las que se muestran en el artículo 253-8.2.14 del Anexo J. Ahí se nos dice cómo deben de ser estas cartelas.

Estas servirán para reforzar un ángulo o unión soldada, estarán hechas de chapa metálica doblada en forma de U, con un espesor no inferior a 1mm.

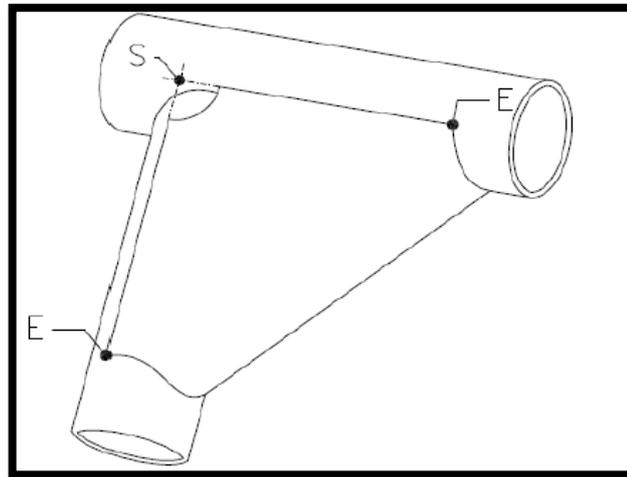


Figura 40. Cartelas de seguridad.

Los extremos de dicha cartela (punto E) deben estar situados a una distancia del punto superior del ángulo (punto S) de 2 a 4 veces el diámetro exterior del tubo mayor de los dos unidos.

Estas cartelas no se han modelado ni tenido en cuenta para el cálculo ya que, si se cumple sin ellas, estamos del lado de la seguridad, ya que estas sirven de refuerzo y mejorarán el comportamiento del vehículo frente a las diferentes sollicitaciones de carga.

Será obligatorio equipar el vehículo con una anilla de remolque de un diámetro exterior mínimo de 80 mm fijada sólidamente a las estructuras delantera y trasera; el diámetro interior mínimo será de 60 mm y espesor de 8 mm deberá estar pintada de un color rojo o naranja y no podrá sobresalir de la proyección vertical de la carrocería sobre el plano del suelo, de acuerdo con el Art. 283-10 del Anexo J al CDI.

El vehículo debe estar equipado con dos retrovisores homologados, uno de cada lado del vehículo, de una superficie mínima de 90 cm².

El piloto sentado normalmente con los cinturones abrochados y colocado al volante, debe poder cortar todos los circuitos eléctricos y detener el motor mediante un interruptor

de material antideflagrante. El interruptor interior debe señalizarse mediante un símbolo que muestre un rayo rojo en un triángulo azul de fondo bordeado de blanco.

En los lugares donde los cuerpos de los ocupantes puedan entrar en contacto con la estructura de seguridad debe instalarse un revestimiento protector acolchado no inflamable.

En aquellos puntos en los que los cascos de los ocupantes pudieran entrar en contacto con la estructura de seguridad, el revestimiento debe cumplir con la Norma FIA 8857-2001, tipo A (ver la Lista Técnica FIA nº 23 "Revestimiento Protector Homologado por la FIA").

Los vehículos deberán montar redes en los accesos laterales del vehículo, lleven puerta o no, conformes al Art. 283-11 del Anexo J.

Detrás de las ruedas tractoras, cualesquiera que sean, deberán estar provistos de unas faldillas de material plástico blando de un espesor máximo de 5mm. Una altura máxima de 20cm y anchura de la rueda detrás de la que van situadas más 10 cm por cada lado.

Los vehículos deberán estar provistos de, al menos una rueda de repuesto igual a las montadas en el vehículo, en todo momento de la prueba.

7. Resumen del chasis.

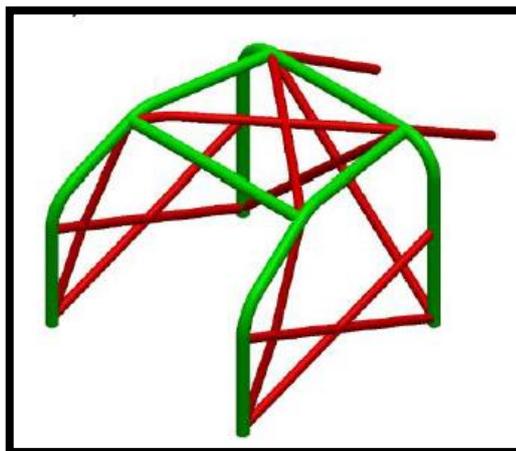
Una vez cumplidos los requisitos anteriormente mostrados podemos homologar nuestro chasis o jaula de seguridad. Veamos un resumen de lo establecido para cumplir con el reglamento.

Material empleado: Acero especial aleado 25CrMo4.

Propiedades mecánicas:

- Limite elástico: 700 Mpa.
- Limite último: 900 Mpa.
- Coef. Poisson: 0.3.
- Densidad: 7860 Kg/m³.
- Módulo de Young: 205 Gpa.
- Modulo Tangente: 1450 Mpa.

Tubos empleados:



	Dimensiones mínimas [mm]
Tubo Verde	$\text{Ø}50 \times 1,5$ o $\text{Ø}40 \times 2$
Tubo Rojo	$\text{Ø}35 \times 1,5$
Resto Tubos	$\text{Ø}35 \times 1,5$

Diseño final del chasis 3D:

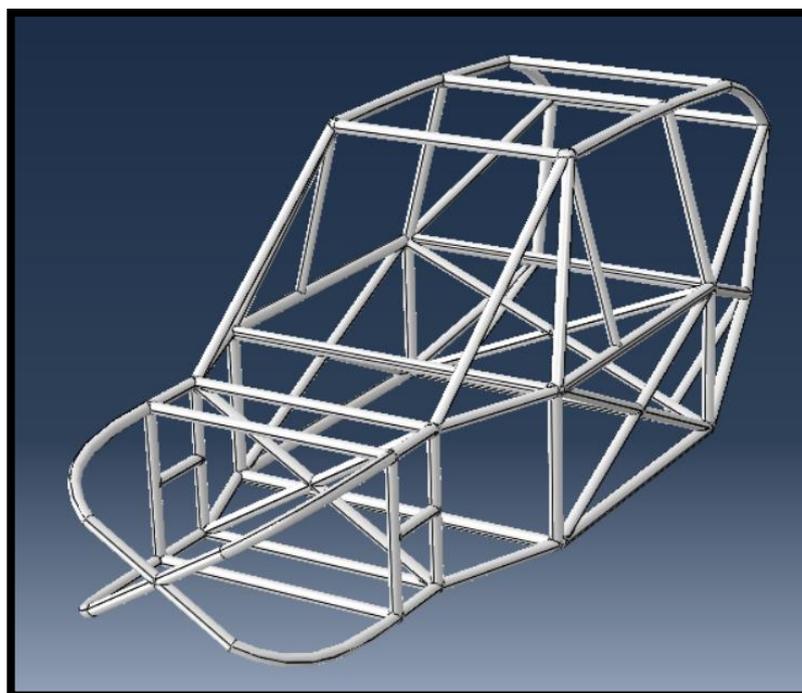


Figura 41. Diseño final.

8. Normas y referencias.

Normas y reglamentos:

- Anexo J.
- Reglamento de la FIA.
- Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.
- Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.
- CERT 2018 – Anexo 9 – Reglamento Específico Grupo Buggys Nacionales TT.

Referencias:

- [1] *“Influencia de la rigidez torsional del chasis en el comportamiento dinámico de un vehículo”* - Departamento de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

9. Conclusiones.

El presente proyecto concluye de tal manera que el chasis diseñado cumple con los requisitos establecidos por el reglamento de la federación española de automovilismo. A falta del resto de elementos, el chasis está apto para competir y cumplir sobre todo con la seguridad del habitáculo, principal función de este.

Por otro lado, hay que recalcar que el estudio de torsión realizado muestra que el chasis diseñado consta de una rigidez torsional bastante óptima para los estados a los que se va a ver sometido. De esta forma, el vehículo proporcionará un buen paso por curva en cuanto a la conducción, importante en el mundo de la conducción y de la seguridad.

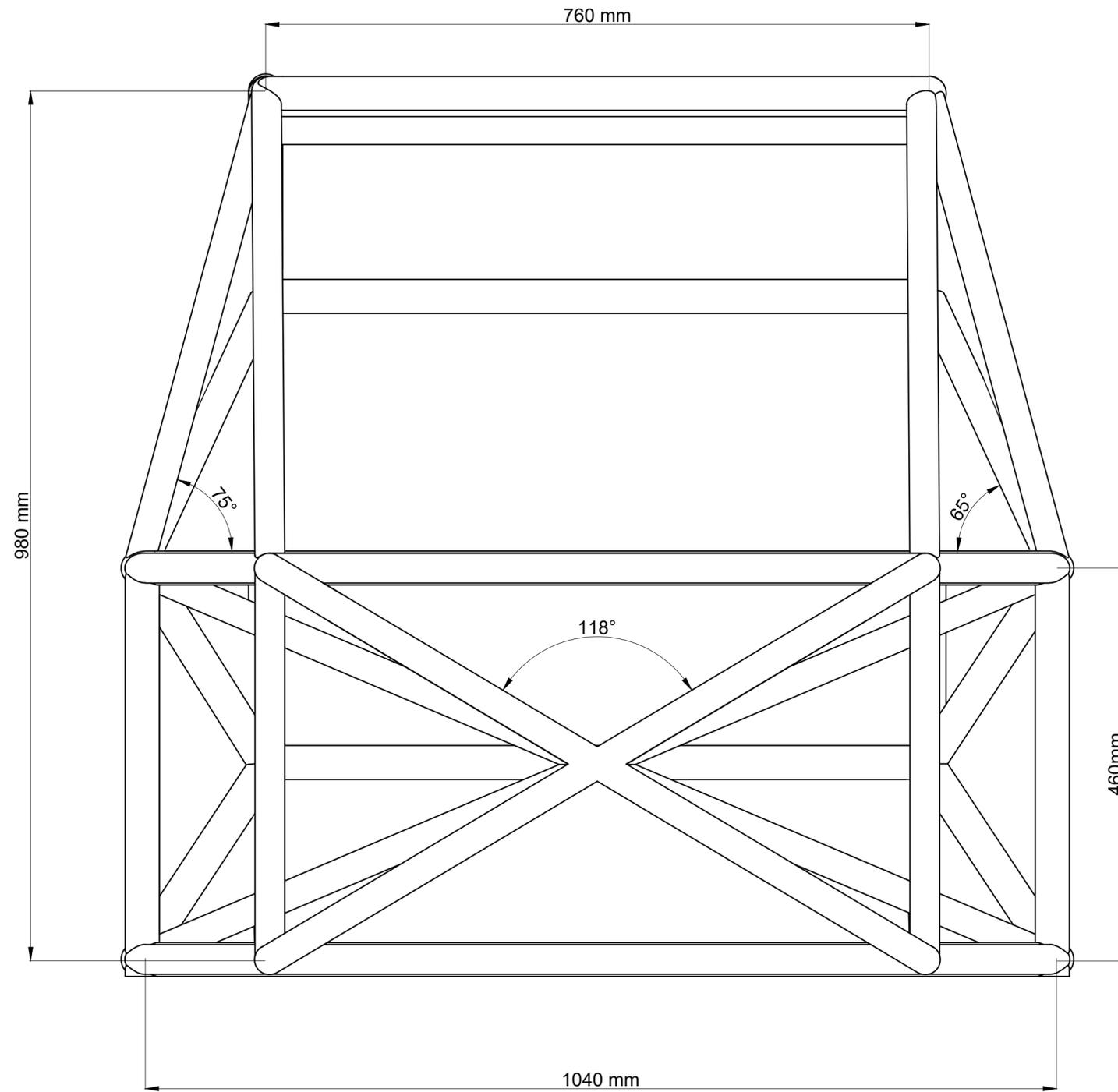
Aun así, el diseño podría mejorarse en muchos sentidos para conseguir un chasis con una forma más compleja que, además de ser diseñado para que posea aún menor peso, se comporte de mejor manera en cuanto a conducción una vez instalados todos los elementos del vehículo. Para ello sería necesario tener dichos elementos y mediante prueba y error, diseñar un chasis mejor.

Por último, he de destacar que, a pesar de que el software empleado es bastante potente, tal vez el uso de otro mejoraría también la optimización y por tanto, la obtención de un mejor diseño para el chasis.

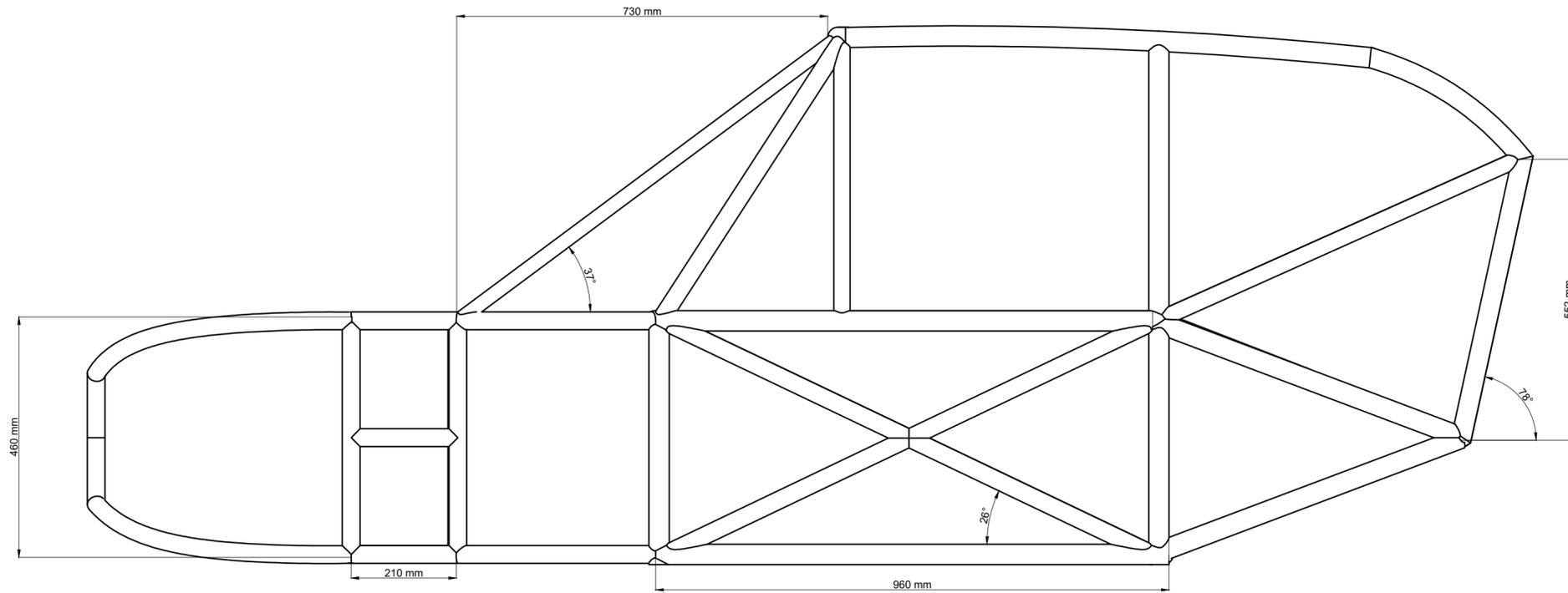
10. Bibliografía.

- Google imágenes.
- *“Influencia de la rigidez torsional del chasis en el comportamiento dinámico de un vehículo”* - Departamento de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- FIA. Anexo J. 2018.
- FIA. Anexo J, artículo 253. Equipamientos de seguridad. 2018.
- FIA. Anexo J, artículo 255. Reglamento específico Buggie Nacional TT. 2018
- FIA. Homologation Regulations for Safety Cages. 2018.
- Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A. 2018
- Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad de la R.F.E. de A. 2018
- CERT 2018 – Anexo 9 – Reglamento Específico Grupo Buggys Nacionales TT.
- UNE EN 10020. Definición y Clasificación de los Tipos de Aceros. 2011.
- UNE EN 10297. Tubos de Acero Sin Soldadura de Sección Circular para Usos Mecánicos e Ingeniería en General. 2011.
- UNE EN 10305. Tubos de Acero para aplicaciones de Precisión. 2011.
- Catia V5 Manual.
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Rally#Historia>
- www.youtube.com/catiaV5-tutorials
- <http://www.racecar-engineering.com>
- <http://www.safetydevices.com/motorsport>
- http://www.arpem.com/racing/rallies/r_rallies_p.html
- <http://www.matereality.com/>

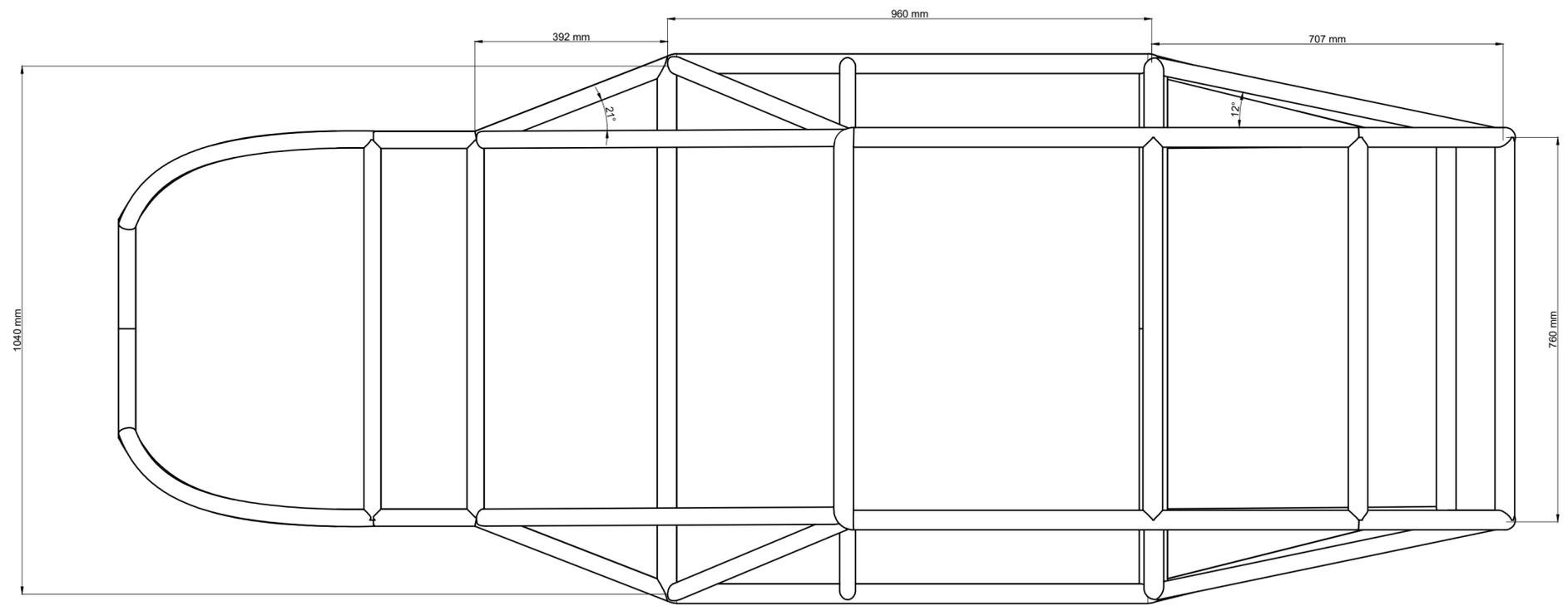
Anexo 1. Planos.



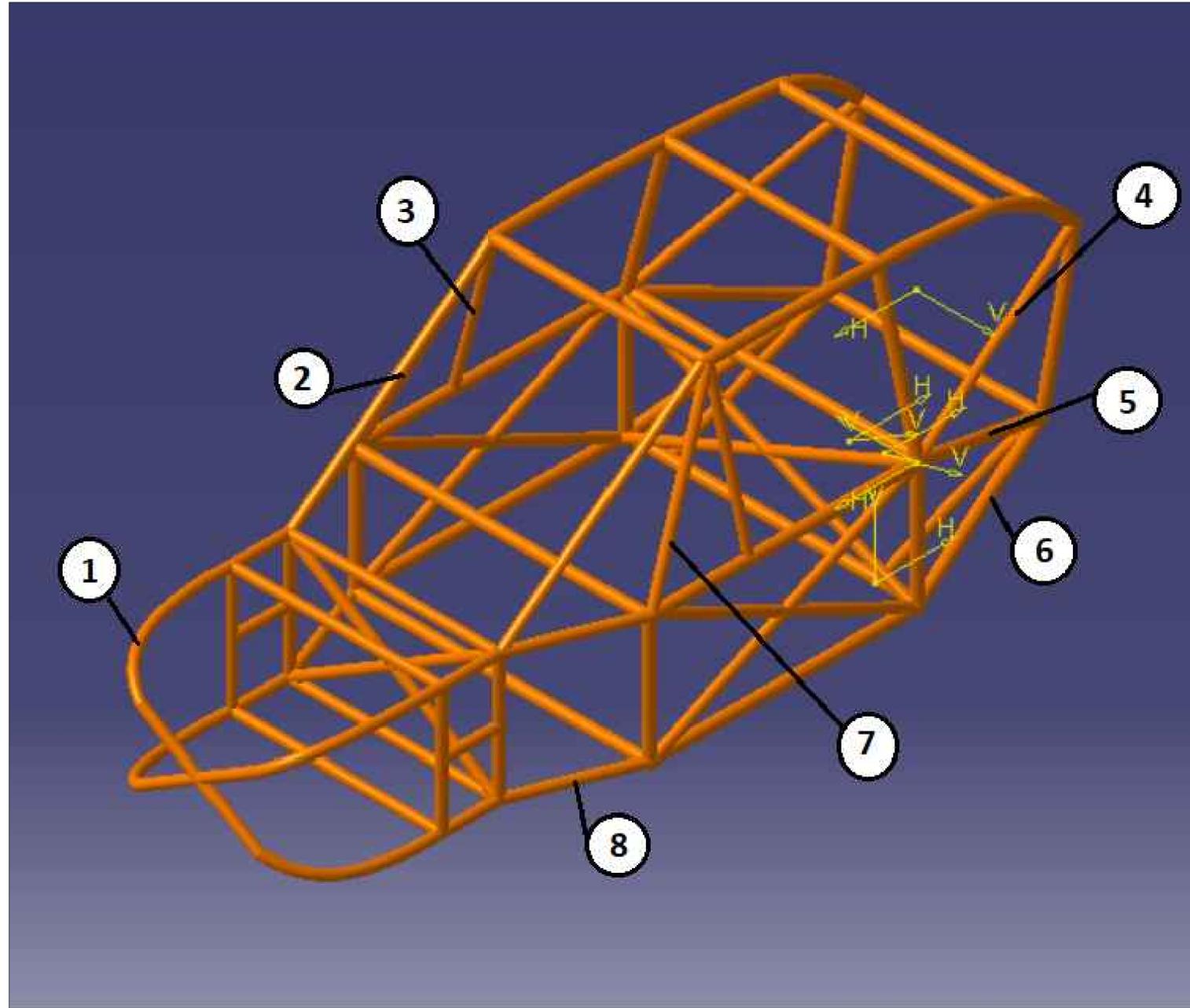
PROYECTO	CALCULO Y DISEÑO DE UN CHASIS DE BUGGY OFF ROAD DE COMPETICIÓN		
PETICIONARIO	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE SEVILLA		
EMPLAZAMIENTO	CALLE AMÉRICO VESPUCIO, 41092 SEVILLA		
PLANO	ALZADO		
Escala: S/E	Autor: SAÚL SANTIAGO ALMEIDA	Fecha edición: NOVIEMBRE 2018	Nº: 1
	Tutor: DANIEL GARCÍA VALLEJO	Formato: A2	



PROYECTO	CALCULO Y DISEÑO DE UN CHASIS DE BUGGY OFF ROAD DE COMPETICIÓN		
PETICIONARIO	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE SEVILLA		
EMPLAZAMIENTO	CALLE AMÉRICO VESPUCIO, 41092 SEVILLA		
PLANO	PERFIL		
Escala: S/E	Autor: SAÚL SANTIAGO ALMEIDA	Fecha edición: NOVIEMBRE 2018	Nº: 2
	Tutor: DANIEL GARCÍA VALLEJO	Formato: A2	



PROYECTO	CALCULO Y DISEÑO DE UN CHASIS DE BUGGY OFF ROAD DE COMPETICIÓN		
PETICIONARIO	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE SEVILLA		
EMPLAZAMIENTO	CALLE AMÉRICO VESPUCIO, 41092 SEVILLA		
PLANO	ALZADO		
Escala: S/E	Autor: SAÚL SANTIAGO ALMEIDA	Fecha edición: NOVIEMBRE 2018	Nº: 3
	Tutor: DANIEL GARCÍA VALLEJO	Formato: A2	



NUMERACIÓN	LONGITUD	RADIO CURVATURA
1	380 mm	450 mm
2	940 mm	
3	575 mm	
4	800 mm	
5	655 mm	
6	665 mm	
7	677 mm	
8	420 mm	

PROYECTO	CALCULO Y DISEÑO DE UN CHASIS DE BUGGY OFF ROAD DE COMPETICIÓN		
PETICIONARIO	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE SEVILLA		
EMPLAZAMIENTO	CALLE AMÉRICO VESPUCIO, 41092 SEVILLA		
PLANO	COTAS TUBOS CON ÁNGULO		
Escala: S/E	Autor: SAÚL SANTIAGO ALMEIDA Tutor: DANIEL GARCÍA VALLEJO	Fecha edición: NOVIEMBRE 2018 Formato: A2	Nº: 4