



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

DISEÑO Y CÁLCULO DEL CHASIS DE UNA
MOTO DE COMPETICIÓN ELÉCTRICA

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Bahamonde Moreno, Pep

Tutor/a: Segura Alcaraz, Jorge Gabriel

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Resumen

Este trabajo de fin de grado busca cumplir con la exigencia y la continua evolución del mundo de la competición, y en concreto con las directivas del evento motostudent 2023. Se pretende realizar un estudio de los diferentes tipos de chasis para motocicletas, para poder seleccionar el que mejores prestaciones nos ofrezca, tanto por diseño como por material, y el que mejor se adapte a nuestro presupuesto. Se partirá de una geometría y unas dimensiones del chasis, en las cuales trabajar y actuar ante los diferentes diseños para asegurar unas dimensiones de la motocicleta y una geometría final adecuada para la conducción deportiva. Posteriormente, se realizarán cálculos sobre el diseño para comprobar que el chasis resiste las cargas a la que está sometido y tiene la rigidez adecuada, con el objetivo de hacer una estructura ligera.

En este estudio se trabajan las siguientes competencias de la titulación: 45 (E) Conocimientos y capacidad para el cálculo y diseño de estructuras y construcciones industriales. 47 (E) Conocimientos y capacidades para la aplicación de la ingeniería de materiales. 64 (G) Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial. 66 (G) Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.

Palabras Clave

Motocicleta

Chasis

Motostudent

Eléctrico

Competición

Abstract

This end-of-grade project seeks to meet the demands and continuous evolution of the world of competition, and specifically with the directives of the motostudent 2023 event. It is intended to carry out a study of the different types of chassis for motorcycles, in order to select the that offers us the best features both by design and by material, and the one that best suits our budget. It will start from a geometry and dimensions of the chassis, in which to work and carry out the different designs to ensure the dimensions of the motorcycle and a final geometry suitable for sports riding. Subsequently, calculations will be made on the design to verify that the chassis resists the loads to which it is subjected and has adequate rigidity, with the aim of making a light structure.

In this study, the following competences of the degree are worked on: 45 (E) Knowledge and ability to calculate and design industrial structures and constructions. 47 (E) Knowledge and skills for the application of materials engineering. 64 (G) Ability to solve problems with initiative, decision making, creativity, critical reasoning and to communicate and transmit knowledge, skills and abilities in the field of Industrial Engineering. 66 (G) Ability to manage specifications, regulations and mandatory standards.

Keywords

Motorcycle

Chassis

Motostudent

Electric

Competition

ORDEN DE DOCUMENTOS

<i>MEMORIA</i>	<i>4</i>
<i>ANEXO DE PLANOS</i>	<i>97</i>
<i>ANEXO DE PRESUPUESTO</i>	<i>103</i>

Memoria

INDICE DE MEMORIA

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	7
1. Introducción	10
1.1. Objeto.....	11
2. Antecedentes	12
2.1. Motostudent.....	12
2.1.1. Normativa.....	14
2.2. Proyecto anterior	17
2.3. Modelos de chasis en motocicletas	17
2.3.1. Simple cuna cerrado	18
2.3.2. Simple cuna abierto o interrumpido	18
2.3.3. Simple cuna desdoblado.....	19
2.3.4. Doble cuna.....	19
2.3.5. Multitubular.....	20
2.3.6. Doble viga perimetral.....	21
2.3.7. Chasis doble viga perimetral cerrado	22
2.3.8. Monoviga	22
2.3.9. Monocasco	23
2.3.10. Chasis tipo Omega	24
3. Análisis de una motocicleta.....	24
3.1. Chasis	24
3.2. Subchasis.....	25
3.3. Basculante	25
3.4. Elementos auxiliares	26
3.4.1. Rueda delantera	26
3.4.2. Horquilla de suspensión	27
3.4.3. Motor.....	28
3.4.4. Baterías.....	29
3.4.5. Rueda trasera	30
3.5. Fundamentos teóricos para la geometría.....	30
3.5.1. Ángulo de Lanzamiento	30
3.5.2. Avance.....	31
3.5.3. Distancia entre ejes.....	34
3.5.4. Centro de gravedad.....	34

4.	Diseño	36
4.1.	Objetivos de diseño	36
4.2.	Selección del modelo de chasis para el proyecto	37
4.3.	Geometría.....	38
5.	Materiales.....	41
5.1.	Fibra de Carbono o materiales compuestos.....	41
5.2.	Acero.....	42
5.3.	Aluminio	44
5.4.	Selección de material	45
6.	Metodología	46
7.	Evolución de las diferentes alternativas	49
7.1.	Primer diseño	50
7.2.	Segundo diseño	52
7.3.	Tercer diseño.....	54
7.4.	Diseño final	56
8.	Simulaciones	57
8.1.	Prueba estática. Carga horizontal.....	58
8.1.1.	Resultados	59
8.2.	Prueba estática. Carga vertical.....	62
8.2.1.	Resultados	63
8.3.	Mejoras del diseño final	66
8.3.1.	Resultados tras aplicar las mejoras.....	68
8.4.	Pruebas dinámicas.....	74
8.4.1.	Frenada Máxima.....	76
8.4.2.	Paso por curva	80
8.5.	Resultados y conclusión tras observar las simulaciones	86
9.	Proceso de fabricación	87
9.1.	Presupuesto	89
10.	Conclusión.....	92
11.	Planos	93
11.1.	Plano de componentes.....	93
11.2.	Plano de ángulos de montaje.....	94
11.3.	Plano de detalle de montaje.....	95
11.4.	Plano de chapa de anclaje.....	95
12.	Bibliografía y webgrafía.....	96

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: EPSA Moto-e en la sexta edición de Motostudent.....	10
Ilustración 2: Evolución del prototipo anterior del equipo.....	11
Ilustración 3: Normativa. Anchura mínima de los semimanillares.....	14
Ilustración 4: Normativa. Ángulo mínimo de inclinación lateral.....	14
Ilustración 5: Normativa. Distancia mínima hasta el pavimento.	15
Ilustración 6: Normativa. Límite frontal.	15
Ilustración 7: Normativa. Límite trasero.	15
Ilustración 8: Normativa. Anchura máxima del asiento.....	16
Ilustración 9: Normativa. Anchura máxima del carenado.....	16
Ilustración 10: Normativa. Cota máxima del colín desde el asiento.	16
Ilustración 11: Normativa. Ejemplo del correcto uso de la estructura tipo celosía.....	17
Ilustración 12: Proyecto anterior desarrollado.	17
Ilustración 13: Ejemplo de un chasis simple cuna cerrado.	18
Ilustración 14: Ejemplo de un chasis simple cuna abierto o interrumpido.....	18
Ilustración 15: Ejemplo de un chasis simple cuna desdoblado.	19
Ilustración 16: Ejemplo de un chasis doble cuna.	19
Ilustración 17: Ejemplo de un chasis multitubular.....	20
Ilustración 18: Ejemplo de un chasis doble viga perimetral.....	21
Ilustración 19: Ejemplo de un chasis doble viga perimetral cerrado.....	22
Ilustración 20: Ejemplo de un chasis monoviga.....	22
Ilustración 21: Ejemplo de un chasis monocasco.....	23
Ilustración 22: Ejemplo de un chasis Omega.	24
Ilustración 23: Ejemplo de un chasis de motocicleta.	25
Ilustración 24: Ejemplo de un subchasis de motocicleta.....	25
Ilustración 25: Ejemplo de un basculante de motocicleta.	26
Ilustración 26: Modelo de llanta de la marca OZ que será utilizará en el proyecto.	27
Ilustración 27: Despiece de las horquillas de suspensión por parte del fabricante Honda.....	27
Ilustración 28: Despiece del vástago de dirección por parte del fabricante Honda.....	28
Ilustración 29: Dimensiones del motor eléctrico a utilizar.....	29
Ilustración 30: Diseño en CAD del contenedor de baterías.	30
Ilustración 31: Ángulo de lanzamiento.	31
Ilustración 32: Avance de una motocicleta.	32
Ilustración 33: Avance positivo de la rueda delantera de una motocicleta.	32
Ilustración 34: Distancia entre ejes de una motocicleta.	34
Ilustración 35: Estudio de la línea límite del Centro de gravedad para una aceleración de 1G. .	35
Ilustración 36: Ejemplo de deformaciones que sufre la horquilla delantera y que afectan a la rigidez de la pipa de dirección.....	36
Ilustración 37: Parámetros geométricos base de una motocicleta.....	39
Ilustración 38: Norma UNE-3610 para la clasificación de los aceros.....	43
Ilustración 39: Puntos de aplicación de las cargas en las simulaciones.	48
Ilustración 40: Diseños orientativos de distribución de componentes.	50
Ilustración 41: Chasis multitubular de la marca KTM.	51
Ilustración 42: Primer diseño de chasis observando el modelo de KTM.	51
Ilustración 43: Chasis multitubular empleado para la competición Moto-e.....	52

Ilustración 44: Segundo diseño de chasis teniendo en cuenta el modelo de Moto-e.....	53
Ilustración 45:Detalle del anclaje del chasis al basculante y de los anclajes de los pequeños componentes en las motocicletas del campeonato Moto-e.....	54
Ilustración 46: Chasis de la motocicleta Delta-XE de la universidad de Twente.....	55
Ilustración 47: Tercer diseño y alternativa de chasis cogiendo como referencia la motocicleta de la universidad de Twente.....	55
Ilustración 48: Imagen del chasis final del proyecto.	56
Ilustración 49:Dimensiones del chasis final.	57
Ilustración 50: Características del acero empleado para realizar las simulaciones.	58
Ilustración 51: Representación de la primera prueba estática.	58
Ilustración 52: Configuración del programa para realizar las pruebas estáticas.	59
Ilustración 53:Resultados de deformación frente a la carga horizontal (mm).....	59
Ilustración 54: Resultados de tensiones equivalentes frente a la carga horizontal (MPa).....	60
Ilustración 55: Puntos de máximas tensiones en el chasis (MPa).	61
Ilustración 56: Factor de seguridad de la estructura.	61
Ilustración 57: Representación gráfica de la segunda prueba estática.	62
Ilustración 58: Zona de aplicación de la carga horizontal.	62
Ilustración 59: Resultados de deformaciones frente a la carga vertical (mm).....	63
Ilustración 60: Resultados de tensiones equivalentes frente a la carga vertical (MPa).....	63
Ilustración 61: Resultados del factor de seguridad frente a la carga vertical.	64
Ilustración 62: Prueba estática de carga vertical con detalle del punto de aplicación de la carga.	65
Ilustración 63: Tensiones máximas en la estructura al aplicar la carga vertical (MPa).	65
Ilustración 64: Estructura del chasis tras aplicar la primera mejora.	66
Ilustración 65: Primera versión del chasis seleccionado sin ninguna mejora.	66
Ilustración 66: Estructuras macizas originales del primer diseño seleccionado.....	67
Ilustración 67: Estructuras macizas tras aplicar la mejora de diseño.	67
Ilustración 68: Modelo de chasis a simular tras aplicar las modificaciones.....	68
Ilustración 69: Resultados de las deformaciones frente a la carga horizontal (mm).....	68
Ilustración 70: Resultados de tensiones equivalentes frente a la carga horizontal (MPa).....	69
Ilustración 71: Máximas tensiones en las zonas mejoradas de la estructura.	69
Ilustración 72: Detalle de las tensiones máximas sufridas por la estructura en la prueba de la prensa horizontal.	70
Ilustración 73: Resultados de las deformaciones frente a la carga vertical (mm).	71
Ilustración 74: Resultados de las tensiones equivalentes frente a la carga vertical (MPa).	72
Ilustración 75: Tensiones máximas localizadas en la estructura tras aplicar la carga vertical....	73
Ilustración 76: Resultados del factor de seguridad frente a la carga vertical.	73
Ilustración 77: Relación entre la altura del centro de gravedad y la distancia entre ejes. Tony Foale, Motocicletas.	74
Ilustración 78: Valores de relación entre los parámetros de cada modelo de motocicleta. Tony Foale, Motocicletas.	75
Ilustración 79: Centro de gravedad del prototipo.	76
Ilustración 80: Resultados de las deformaciones frente a las cargas de frenada máxima (mm). 78	
Ilustración 81: Resultados de las tensiones equivalentes frente a las cargas de frenada máxima (MPa).....	78
Ilustración 82: Tensiones localizadas tras el estudio de la frenada máxima (MPa).	79
Ilustración 83: Resultados del factor de seguridad frente a las cargas de frenada máxima.	80
Ilustración 84: Fuerzas resultantes en el paso por curva.	81

Ilustración 85: Descomposición de las fuerzas tras la inclinación de la motocicleta y del centro de gravedad.	81
Ilustración 86: Momentos y fuerzas resultantes en el centro de gravedad al tomar una curva. ...	83
Ilustración 87: Resultados de las deformaciones frente a las cargas de paso por curva (mm)....	83
Ilustración 88: Resultados de las tensiones equivalentes frente a las cargas de paso por curva (MPa).....	84
Ilustración 89: Resultados del factor de seguridad frente a las cargas de paso por curva.	84
Ilustración 90: Zona de máximas tensiones en paso por curva.	85
Ilustración 91: Detalle de la zona de máximas tensiones en paso por curva.	85
Ilustración 92: Propiedades del material de fabricación a emplear.	87

1. Introducció

El objeto de estudio de este trabajo es el diseño de un chasis para una motocicleta eléctrica. La motocicleta competirá en la VII edición de Motostudent, por lo que el diseño de la motocicleta se rige por la normativa, las exigencias de la competición y por las necesidades del piloto y del equipo EPSA Moto-e de la Universidad Politécnica de Valencia, Campus de Alcoy.



Ilustración 1: EPSA Moto-e en la sexta edición de Motostudent.

El futuro de la automoción es un poco incierto, aunque parece que la electrificación en los vehículos está siendo la vencedora entre todas las posibles fuentes de energía propuestas para remplazar el motor de combustión interna. En el sector de las motocicletas, la electrificación cada año va tomando más importancia en el apartado de las ventas, ya que sobre todo en las grandes ciudades tienen una gran utilidad. El futuro de la electrificación parece ser estar más cerca de lo que se podía pensar, tanto que las grandes inversiones por parte de las empresas y los fabricantes causaron la implementación de las motocicletas eléctricas en las competiciones.

En la competición Motostudent existen dos categorías, la Petrol y la Electric, en este caso se pretende realizar un proyecto que cumpla con la normativa para poder participar en la séptima edición, superando gratificadamente las pruebas a realizar por la

organización y de este modo poder competir en la prueba final, la carrera de la categoría Electric.

La competición consta de dos fases para valorar los proyectos, en la primera, la MS1 se valorará el proyecto industrial presentado y la parte de diseño y viabilidad económica. En la segunda fase, MS2 se harán pruebas dinámicas de conducción, para puntuar las cualidades del prototipo y del piloto. Estas fases se realizan una vez se ha estudiado el prototipo para asegurar que es seguro tanto la estructura como la instalación eléctrica, esta fase se denomina según la competición Verificaciones Previas.

1.1. Objeto

El estudio y diseño del chasis se realizará basándose en los componentes proporcionados por la competición, como pueden ser las ruedas y el motor, y a los elementos limitantes que el equipo EPSA Moto-e requiere de su uso, como pueden ser los amortiguadores delanteros y trasero o los componentes eléctricos (contenedor de baterías, controlador...).



Ilustración 2: Evolución del prototipo anterior del equipo.

El desarrollo del presente proyecto se ejecutará mediante una primera selección del modelo de chasis más conveniente para lograr los objetivos del proyecto. Se estudiarán las geometrías de la motocicleta para lograr una correcta respuesta dinámica

del prototipo, que serán evaluadas por la competición en la fase MS2 por lo que se deberá enfocar el prototipo hacia una moto ágil para lograr pasar las pruebas dinámicas y lograr optar a una plaza para la carrera final entre todos los prototipos.

Con el modelo de chasis y la geometría correcta se realizarán diferentes diseños de chasis para buscar la mejor disposición de los componentes, y así lograr un correcto reparto de pesos y un centro de gravedad lo más centrado y bajo posible. La finalidad será desarrollar una estructura de chasis que albergue todos los componentes necesarios de la manera más eficaz, y como resultado obtener un prototipo lo más ajustado posible para mejorar su aerodinámica y peso.

Para finalizar el objeto de estudio se realizan estudios de resistencia y rigidez para asegurar que la estructura del chasis resiste correctamente a los esfuerzos sometidos en conducción y a las pruebas de resistencia obligatorias por la competición en la fase de verificaciones previas.

Al realizar estos estudios se podrá mejorar la estructura y dimensionar correctamente para asegurar que cumple gratificadamente con los esfuerzos y las pruebas, y eliminar aquellas partes que no sean necesarias ni aporten rigidez para conseguir una estructura segura con el peso justo.

En la realización del proyecto hay que tener en cuenta que se busca hacer el mejor diseño posible, pero siendo consciente de las limitaciones de medios económicos y técnicos del equipo. Por este motivo, el diseño final ha de poder ser fabricado y ha de facilitar el montaje y anclaje de los componentes de la motocicleta.

2. Antecedentes

2.1. Motostudent

Esta es una competición desarrollada por Fundación Moto Engineering (MEF) junto con TechnoPark MotorLand. Compiten equipos de estudiantes universitarios de todo el mundo, la competición se desarrolla en el circuito de MotorLand y cada edición cuenta con motos eléctricas y de gasolina. Los equipos desarrollan un prototipo que ha de cumplir con la normativa y será examinado días antes de la competición para asegurar que estos son seguros y funcionales y que cumplen con las restricciones.

Los prototipos que competirán deberán ser diseñados y ensamblados por los estudiantes integrantes de los equipos, haciendo uso de los componentes que otorga la competición sin posibilidad de modificarlos o mejorarlos, los cuales son:

- Bombas y pinzas de freno delanteras y traseras
- Neumáticos slick
- Motor eléctrico

Como se ha comentado la competición se desarrolla en las instalaciones de MotorLand, y la prueba final, es decir la carrera, consta de 6 vueltas al circuito de Aragón.

Por este motivo se debe diseñar una moto que se adapte a las necesidades del circuito y cuidar encarecidamente el peso total de la moto. Esto es debido a que todos los equipos cuentan con el mismo motor, y una correcta configuración del motor, una moto estable y ligera, son las principales características necesarias para poder ser competitivos. El circuito de Aragón tiene una longitud de 5.077 metros, con una recta de 1.211 metros y otra de 630 metros, 9 curvas a izquierdas y 10 a derechas. Es un circuito en el cual la mayoría de las curvas son bastante rápidas y de gran radio, por lo que se considera un circuito rápido.

En la fase MS1 los estudiantes aplicarán los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del proyecto empresarial para aprender el proceso de lanzar un producto al mercado y sus dificultades. Los principales apartados puntuables de la fase MS1 son:

- Concept development
- Product design
- Prototyping and testing
- Innovation
- Business plan

La evaluación de estos apartados se realizará mediante la entrega de hitos programados en el calendario de la competición, los cuales serán corregidos y puntuados por la organización y se deberá realizar una defensa final ante el jurado del proyecto realizado por los estudiantes. Todas estas entregas de hitos, redacción del plan empresarial y defensa del mismo serán puntuadas por la organización para la suma de puntos final junto con los adquiridos en la siguiente fase.

Como ya se ha comentado, para lograr acceder a estas fases puntuables se debe sobrepasar gratificadamente el apartado de verificaciones previas, donde se comprobará la vestimenta del piloto para asegurar su protección, y se ejecutarán unas pruebas estáticas. Estas consistirán en someter al prototipo a una carga de 250 Kg verticalmente sobre la superficie del asiento y a 300 Kg sobre la rueda delantera de forma horizontal para estudiar la resistencia a compresión de la estructura.

La fase MS2 se centra en evaluar el comportamiento dinámico y las prestaciones del prototipo diseñado y ensamblado por los estudiantes. Si el prototipo ha superado las pruebas de seguridad eléctricas y estructurales, pasará a las pruebas dinámicas puntuables, las cuales se realizarán dos veces tomando la mejor puntuación de ambas pruebas. Estas pruebas son:

- Brake test
- Gymkhana
- Acceleration

Una vez realizadas las pruebas dinámicas se realizará una prueba en circuito por parte de los pilotos de la organización, para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo y para dar paso a los ensayos en circuito para la carrera final.

2.1.1. Normativa

Para el desarrollo de la estructura del chasis de la motocicleta debemos conocer las siguientes restricciones para no ser sancionados y poder competir.

No se permite competir con un chasis o basculante comercial o modificado. El prototipo deberá contar con un diseño de chasis realizado por los estudiantes, sin ninguna limitación en el tipo de diseño ni en el uso de material de fabricación.

El chasis deberá proteger los elementos del motor y componentes electrónicos en caso de caída.

Las limitaciones estructurales del prototipo son simplemente dimensionales, y son las siguientes:

- Anchura mínima entre los extremos de los semimanillares debe ser de 450 mm

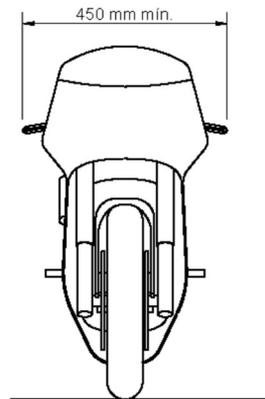


Ilustración 3: Normativa. Anchura mínima de los semimanillares.

- Ángulo mínimo de inclinación lateral sin que ningún elemento del prototipo toque el pavimento debe ser de 50°. La medición se realizará con el prototipo totalmente montado pero sin piloto.

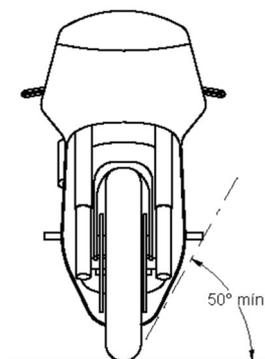


Ilustración 4: Normativa. Ángulo mínimo de inclinación lateral.

- Distancia libre en posición vertical del prototipo hasta el pavimento, ha de ser de 100 mm en situación de reposo. La medición se realizará sin el piloto subido en la motocicleta.

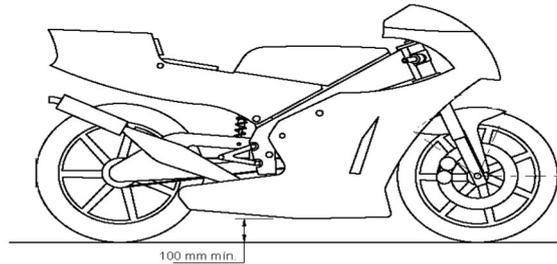


Ilustración 5: Normativa. Distancia mínima hasta el pavimento.

- Ningún elemento del prototipo podrá sobrepasar la vertical de la frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero.

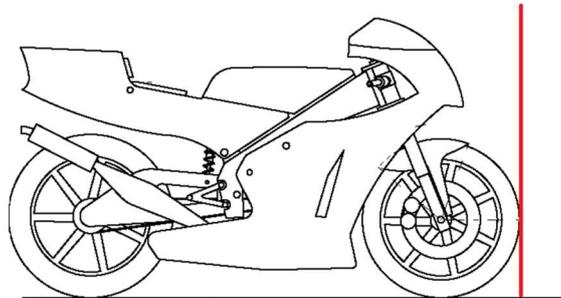


Ilustración 6: Normativa. Límite frontal.

- Ningún elemento del prototipo podrá sobrepasar la vertical de la línea tangente a la circunferencia exterior del neumático trasero.

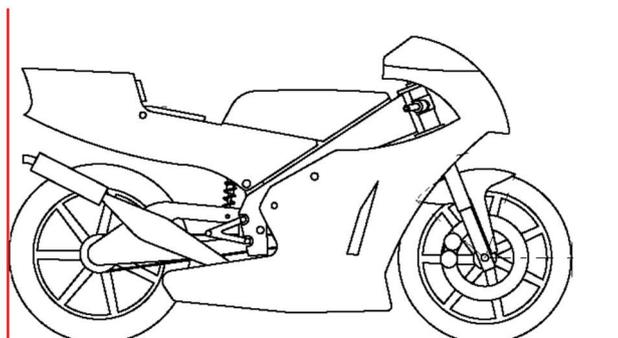


Ilustración 7: Normativa. Límite trasero.

- La banda de rodadura de los neumáticos deberá presentar una distancia libre mínima de 15 mm a lo largo de toda su superficie a cualquier elemento del prototipo, en cualquier posición del mismo y para cualquier reglaje de geometrías.
- La anchura máxima del asiento no debe sobrepasar los 450 mm. No podrá sobresalir de esta anchura ningún elemento del prototipo desde el asiento hacia detrás.

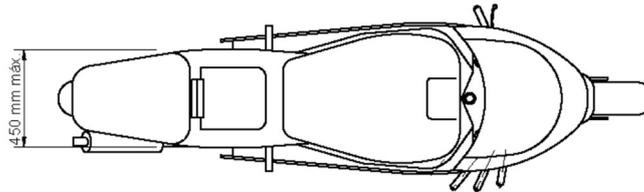


Ilustración 8: Normativa. Anchura máxima del asiento.

- La anchura máxima del carenado será de 600 mm.

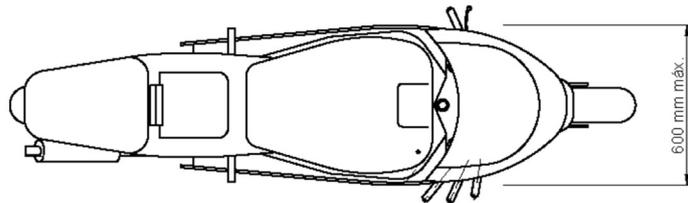


Ilustración 9: Normativa. Anchura máxima del carenado.

- Desde la altura del asiento hasta la parte más elevada del colín la cota máxima será de 150 mm.

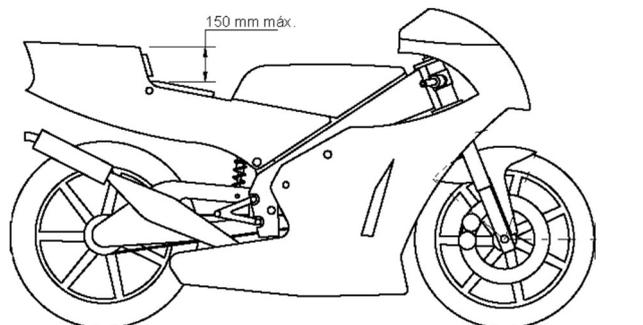


Ilustración 10: Normativa. Cota máxima del colín desde el asiento.

La normativa también limita el uso de soldaduras y uniones para asegurar que estas se realizan correctamente y forman una estructura consistente.

Si se realiza una estructura de tipo celosía se debe realizar correctamente buscando la correcta triangulación de los nodos de la estructura.

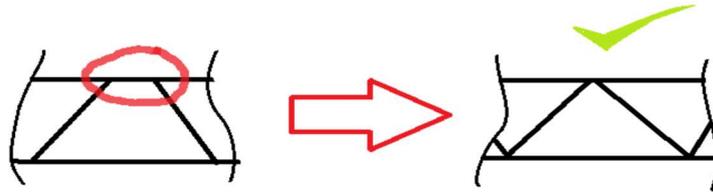


Ilustración 11: Normativa. Ejemplo del correcto uso de la estructura tipo celosía.

2.2. Proyecto anterior

El proyecto para la sexta edición de Motostudent fue un éxito, porque se cumplieron los objetivos de pasar todas las pruebas y llegar a competir en la carrera, aunque por problemas eléctricos no se pudo realizar un buen tiempo clasificatorio y obtener una plaza para la carrera. El prototipo se comportaba de manera correcta, fue una muy buena base para que el equipo mejorara y pudiera observar los puntos débiles o los puntos más importantes sobre los que trabajar en las siguientes ediciones.

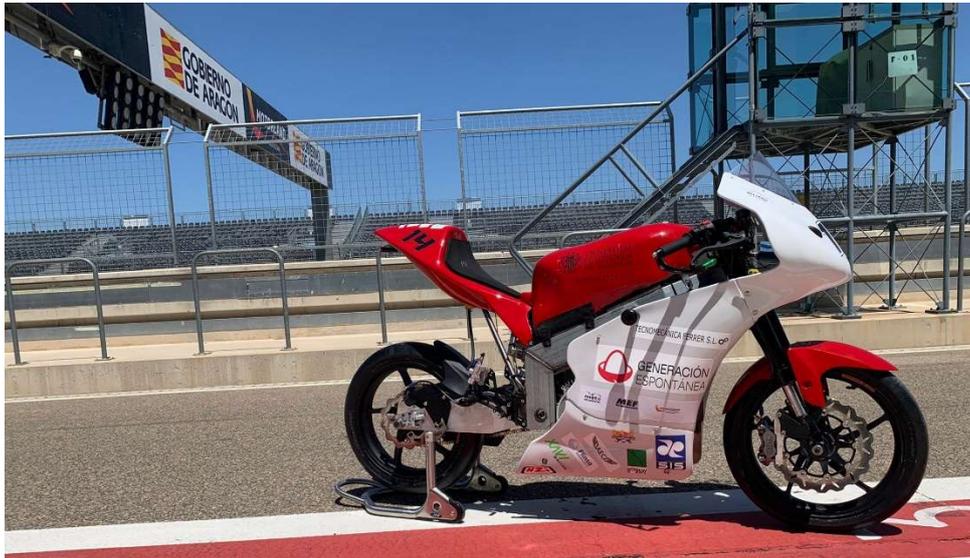


Ilustración 12: Proyecto anterior desarrollado.

Uno de los objetivos de este objeto de estudio es realizar una correcta estructura de chasis teniendo en cuenta las necesidades o las mejoras que el equipo ha observado convenientes realizar respecto al prototipo anterior.

2.3. Modelos de chasis en motocicletas

Para la selección del chasis empezamos observando todos los modelos de chasis que existen, así como el desarrollo de los chasis en la competición de motocicletas. De este modo podremos realizar una posterior selección del tipo de chasis más adecuado para nuestro propósito.

2.3.1. Simple cuna cerrado



Ilustración 13: Ejemplo de un chasis simple cuna cerrado.

Un chasis de simple cuna cerrado está conformado por unos perfiles o tubos dispuestos en el plano vertical, que empiezan desde el tubo de dirección. En este chasis la cuna, se forma mediante un tubo desde la columna de dirección hasta cerrar con el anclaje con el basculante, donde el subchasis sí que se ensancha para soportar el asiento y la rueda trasera. En este chasis el motor va dentro de la cuna por lo que tiene una muy buena sujeción siempre y cuando el motor no sea muy ancho.

Este es un chasis muy económico y útil para cilindradas pequeñas donde no se busca una gran resistencia ni altas prestaciones de la motocicleta.

2.3.2. Simple cuna abierto o interrumpido



Ilustración 14: Ejemplo de un chasis simple cuna abierto o interrumpido.

Este tipo de chasis son muy económicos y son muy habituales en cilindradas pequeñas 125 cc, 250 cc y son utilizados mayoritariamente en motocicletas de tipo Trail antiguas.

Está conformado de perfiles y tubos en el plano vertical de la moto sin ensancharse, al igual que el chasis visto anteriormente. La principal diferencia reside en el tubo inferior que sale desde la columna de dirección, que en este caso no termina de conectar con el chasis y termina justo cuando se interrumpe con el motor de la moto. De

este modo el motor es parte de la estructura del chasis, llegando a soportar los esfuerzos mecánicos que sufre el chasis.

2.3.3. Simple cuna desdoblado



Ilustración 15: Ejemplo de un chasis simple cuna desdoblado.

Es una variante del chasis de simple cuna, donde del cabezal de dirección desciende un único tubo, pero que se desdobra delante del motor, haciendo llegar dos tubos a la zona del eje del basculante. Este tipo de chasis se utiliza habitualmente en motocicletas de campo y Trail

La idea de este chasis es muy similar a las anteriores debido a que parten de la misma forma, pero los tubos colocados en el plano vertical terminan por dividirse cuando llegan a la altura del motor, y así crear una cuna cerrada mucho más ancha y con dos tubos para poder soportar motores más grandes y más protegidos.

2.3.4. Doble cuna



Ilustración 16: Ejemplo de un chasis doble cuna.

Un chasis de doble cuna, al igual que el anterior, dispone de dos tubos por debajo del motor, asegurando una mejor sujeción y protección a motores grandes. Con la

diferencia de que estos dos tubos parten de la columna de dirección y se separan simultáneamente hasta unir con la parte final del chasis, donde se ancla el basculante. Por la parte de arriba se sigue utilizando un único tubo o perfil hasta llegar a la zona del asiento donde la estructura cambia. Este tipo de chasis es mucho más resistente que los anteriores gracias a la doble cuna y tener todas sus partes unidas. Es un chasis muy común en las motos de tipo custom, también se usaba antiguamente para las motos de mayor cilindrada y por consiguiente con las más deportivas de la época de los 80 hasta los 90.

2.3.5. Multitubular



Ilustración 17: Ejemplo de un chasis multitubular.

Este tipo de chasis está formado por tubos generalmente circulares y en algunos casos combinando de distinto diámetro, y se caracteriza por formar una estructura con tubos soldados entre sí para que estos trabajen a compresión y a tracción. La estructura ha de ser simétrica y ha de unir la columna de dirección con el anclaje del basculante, dejando espacio para que el motor y los diferentes componentes se dispongan tanto por dentro como por abajo del chasis. Este tipo de chasis mejora la posibilidad de anclar los diferentes componentes de la moto y permite generar multitud de geometrías para adaptarse a muchos tipos de motos y motores. Ha sido muy utilizado y lo sigue siendo en la actualidad, como por ejemplo por la conocida marca Ducati, la cual fabrica muchos de sus modelos con este tipo de chasis, también se usa en competición como en el caso de Moto3 o Moto-e.

2.3.6. Doble viga perimetral



Ilustración 18: Ejemplo de un chasis doble viga perimetral.

Este tipo de chasis es conocido por ser el más utilizado en motos deportivas. Se considera como pionero y desarrollador al ingeniero Antonio Cobas, el cual desarrolló y revolucionó el sector del motociclismo con el chasis de doble viga de aluminio. La estructura del chasis consta de dos vigas que parten desde los laterales del cabezal de dirección, y que se ensanchan para dar cabida a los componentes de la moto y sujetar el motor de forma perimetral. Las vigas se dirigen hacia el eje del basculante, donde terminaría la estructura del chasis. Estas vigas suelen ser de elevada sección y generalmente de aleaciones de aluminio, aunque también pueden incorporar soportes y añadidos para sujetar el carenado o los múltiples accesorios de la moto.

Las zonas del cabezal de dirección, el anclaje al basculante y las curvaturas de la viga son las zonas que sufren mayores esfuerzos, pero en algunos casos es posible incorporar aberturas en las vigas para mejorar el paso del aire o incorporar un Ram-Air por dentro de las vigas. Estas aberturas son posibles si la estructura restante permite soportar todos los esfuerzos correctamente sin peligro y proporcionando una reducción de peso en la moto, por lo que se suele utilizar muy a menudo en las competiciones.

2.3.7. Chasis doble viga perimetral cerrado

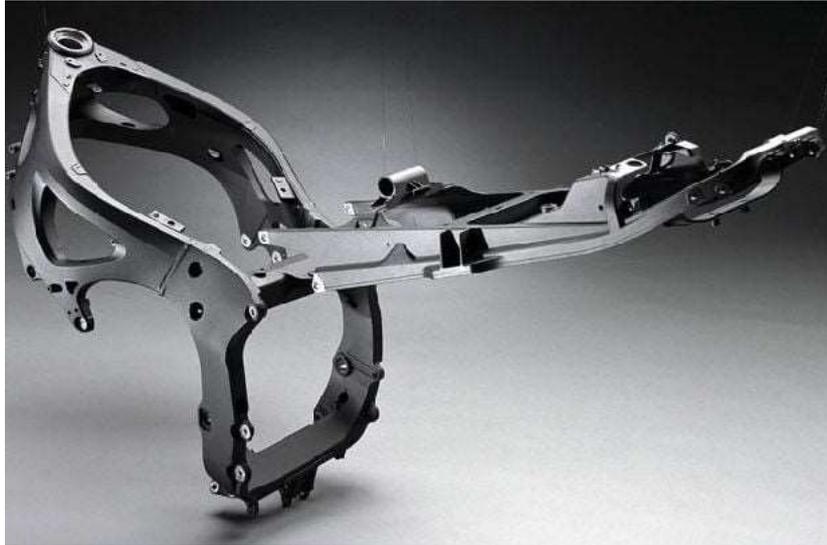


Ilustración 19: Ejemplo de un chasis doble viga perimetral cerrado.

Es un chasis muy similar al de doble viga perimetral visto anteriormente, y se basa en el mismo principio de diseño para soportar los componentes de la moto. Los principales cambios que encontramos se encuentran en la zona del anclaje al basculante, ya que las vigas perimetrales se unen en sus extremos finales formando una cuna y mejorando la rigidez de la estructura. La unión de estas vigas puede ser de un perfil distinto al utilizado en la parte delantera del chasis, debido a que no se necesita tanta resistencia al mejorar la estructura. Esta cuna puede ser un inconveniente para la colocación de los componentes y para situar el motor en una posición centrada respecto a la moto, con lo que puede llevar a un peor reparto de pesos.

Este tipo de chasis se utilizaba en motocicletas deportivas de los años 90, y era muy utilizado por las marcas Suzuki y Kawasaki.

2.3.8. Monoviga



Ilustración 20: Ejemplo de un chasis monoviga.

Como se observa en la imagen podría considerarse como un chasis de simple cuna abierto, pero con una estructura multitubular debido a los conocimientos vistos anteriormente, pero la estructura se basa en una gran viga central desde la que se conecta la tija de dirección con el basculante y el subchasis, y desde la que se sujetan todos los componentes de la moto con ayuda de soportes y anclajes, pero en ningún caso de una estructura por debajo del motor en forma de cuna.

Entre modelos que disponen de este chasis se encuentran la Honda CB 600 F Hornet o la Triumph.

2.3.9. Monocasco



Ilustración 21: Ejemplo de un chasis monocasco.

Este tipo de chasis es muy conocido por la marca Vespa, ya que lo utilizó durante muchos años. Es muy conocido en las Scooter y en los automóviles, pero también ha sido empleado en motos deportivas. Se basa en láminas generalmente de aluminio estampadas con la forma exacta para unirse entre sí y hacer la función de chasis y de carrocería a la vez. Se pueden usar otras partes como la caja de admisión, conocida como airbox como chasis y parte estructural, como se observa en la imagen, como es el caso de la Kawasaki ZX12R (2005) y la ZZR 1400.

2.3.10. Chasis tipo Omega



Ilustración 22: Ejemplo de un chasis Omega.

Es un chasis muy complejo y muy poco utilizado. La estructura principal es una estructura multitubular que conecta la tija de dirección con los dos basculantes que sujetan las ruedas, haciendo una forma similar a la letra griega ω y por la que de nombre a este tipo de chasis. Es una estructura pesada en comparación a las comentadas anteriormente y con la particularidad de la tija de dirección y los anclajes de la suspensión delantera.

Este tipo de chasis lo podemos encontrar en motocicletas como la Yamaha GTS o la Bimota Tesi.

3. Análisis de una motocicleta

Es necesario comentar y repasar los componentes estructurales que componen una motocicleta, y los parámetros geométricos más importantes para el objeto de estudio de este proyecto. Estos parámetros geométricos influirán en el diseño y estructura del chasis para que la manejabilidad de la motocicleta sea la correcta para la competición a realizar.

3.1. Chasis

Es el elemento o conjunto de elementos estructurales que conforman la estructura básica de la motocicleta, y sobre la que van montados los componentes de la motocicleta, como por ejemplo el motor. Esta estructura ha de resistir los esfuerzos de la conducción sin deformarse y en este caso de estudio ha de superar las pruebas de resistencia realizadas por la competición.

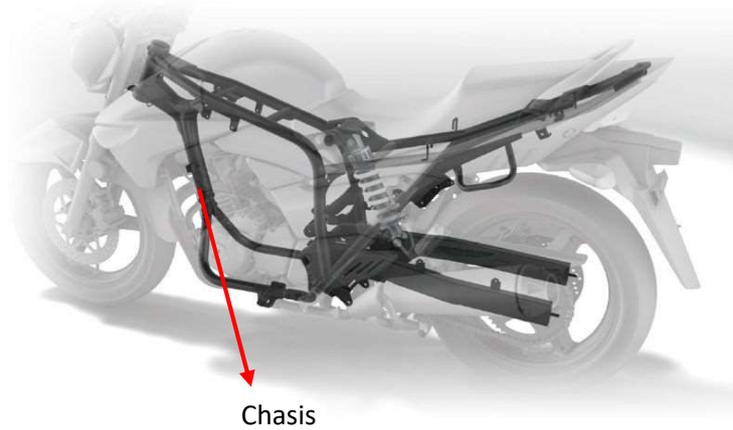


Ilustración 23: Ejemplo de un chasis de motocicleta.

3.2. Subchasis

Es la estructura encargada de albergar el asiento y el culín de la moto, sustenta al piloto y copiloto en caso de que la motocicleta cuente con una segunda plaza. Se encuentra en la parte trasera del chasis por encima de la rueda y el amortiguador trasero.

En este proyecto la estructura del subchasis también es importante debido a que en una de las pruebas de resistencia la carga se aplica sobre el asiento y es el subchasis el encargado de soportar y distribuir las cargas correctamente.



Ilustración 24: Ejemplo de un subchasis de motocicleta.

3.3. Basculante

También es una pieza estructural y es muy importante en las motocicletas, tanto su geometría como su resistencia. Va anclado al chasis por un extremo y a la rueda trasera en el otro extremo, y es el encargado de mantener la rueda trasera siempre en contacto con el suelo gracias al uso del amortiguador trasero.



Ilustración 25: Ejemplo de un basculante de motocicleta.

3.4. Elementos auxiliares

Los elementos auxiliares son aquellos que conforman conjunto a la estructura principal, el conjunto de la motocicleta. Estos componentes son muy importantes, ya que afectan directamente al comportamiento de la motocicleta, haciendo que esta actúe de distinta manera frente a las distintas situaciones.

Un perfecto ejemplo puede ser la rueda delantera, la cual puede afectar al comportamiento de la suspensión delantera y hacer variar las geometrías de la motocicleta según su tamaño, en este caso el principal afectado sería el avance, del cual se hablará en el siguiente apartado.

Por este motivo, los elementos auxiliares presentados a continuación serán insustituibles en el proyecto y en la motocicleta para asegurar el correcto comportamiento del conjunto. Como también serán de vital importancia para el correcto ajuste de la geometría de la estructura.

3.4.1. Rueda delantera

La rueda delantera aportada por el equipo para la construcción del proyecto es una OZ Racing de 17 pulgadas. Es una rueda ligera diseñada para competición, la cual va acompañada de un juego de neumáticos Bridgestone. Los neumáticos son proporcionados por la competición y no se puede utilizar otro modelo distinto al seleccionado por la organización.

La llanta dispone de un soporte en su lateral derecho para disco de freno, por lo que solo permite utilizar un disco de freno delantero.



Ilustración 26: Modelo de llanta de la marca OZ que será utilizará en el proyecto.

3.4.2. Horquilla de suspensión

La horquilla de suspensión delantera que se empleará es una horquilla de Honda CBR1000 del año 2007, las cuales son bastante ligeras pero sobre todo resistentes y con unas dimensiones perfectas para un diseño de motocicleta deportivo.

Las horquillas empleadas cuentan con ajustes de dureza y pre-carga, pero como se ha comentado, lo más importante de estas horquillas es la resistencia estructural que ofrecen, ya que serán sometidas a un gran esfuerzo por parte de la competición en las pruebas estáticas del apartado de verificaciones previas.

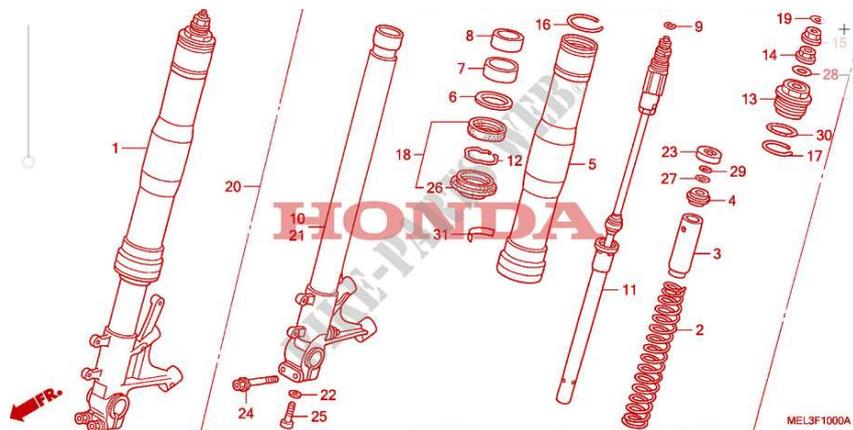


Ilustración 27: Despiece de las horquillas de suspensión por parte del fabricante Honda.

Esta imagen muestra el despiece de una de las barras de las horquillas y todo el mecanismo de su interior. Estas barras tienen 100 milímetros de recorrido

Las barras de suspensión van unidas por unas bridas de aluminio conformando las horquillas, en estas bridas se sitúa el vástago de dirección, y todo su sistema de apriete. Este vástago en conjunto con los rodamientos determina el tamaño de la pipa de dirección de la motocicleta, en nuestro caso se deberá construir una pipa de dirección de 48 milímetros de diámetro interno, 160 milímetros de longitud y el diámetro será de 60 milímetros. Con estas dimensiones se puede ajustar correctamente el vástago de dirección

y eliminar cualquier posible vibración o un ajuste incorrecto. Los rodamientos a emplear para su montaje ya vienen seleccionados por el fabricante.

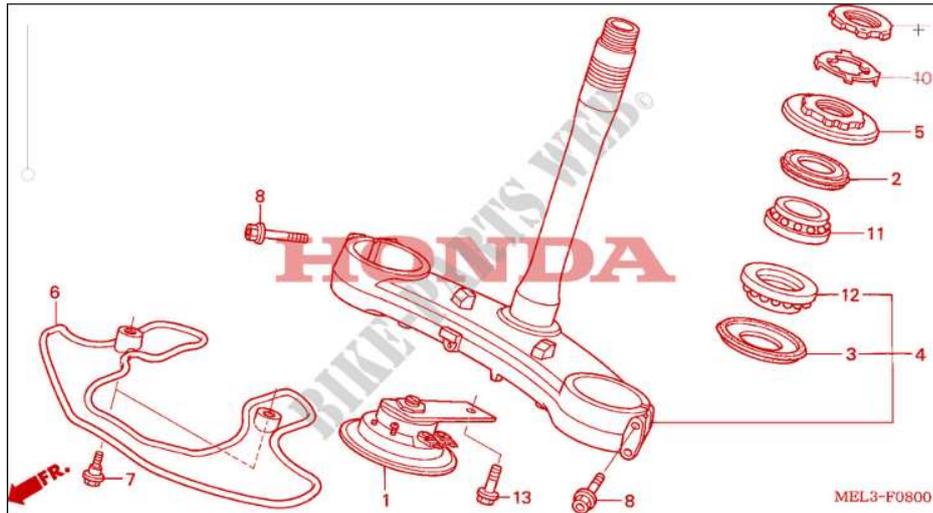


Ilustración 28: Despiece del vástago de dirección por parte del fabricante Honda.

3.4.3. Motor

El motor empleado es distribuido por la competición para todos los prototipos. En esta edición el motor es proporcionado por la marca Electric Drive Engineering, es un motor más potente que los empleados en ediciones anteriores, en parte gracias al sistema de refrigeración por agua. El tamaño del motor es ligeramente menor al motor anterior, por lo que facilitará la distribución y el diseño de anclaje del motor.

Las principales características del motor son las siguientes:

Nominal Operation (at 100V DC battery)	
Torque (Continuous)	51Nm
Torque (Peak)	120Nm
Power (Continuous)	22.5kW
Power (Peak)	48kW (600A), 29kW (250A)
Speed (Peak)	8000RPM
Current (Continuous)	250A
Current (Peak)	600A

Las dimensiones del motor aportadas por el fabricante para tener en cuenta en el diseño del chasis son:

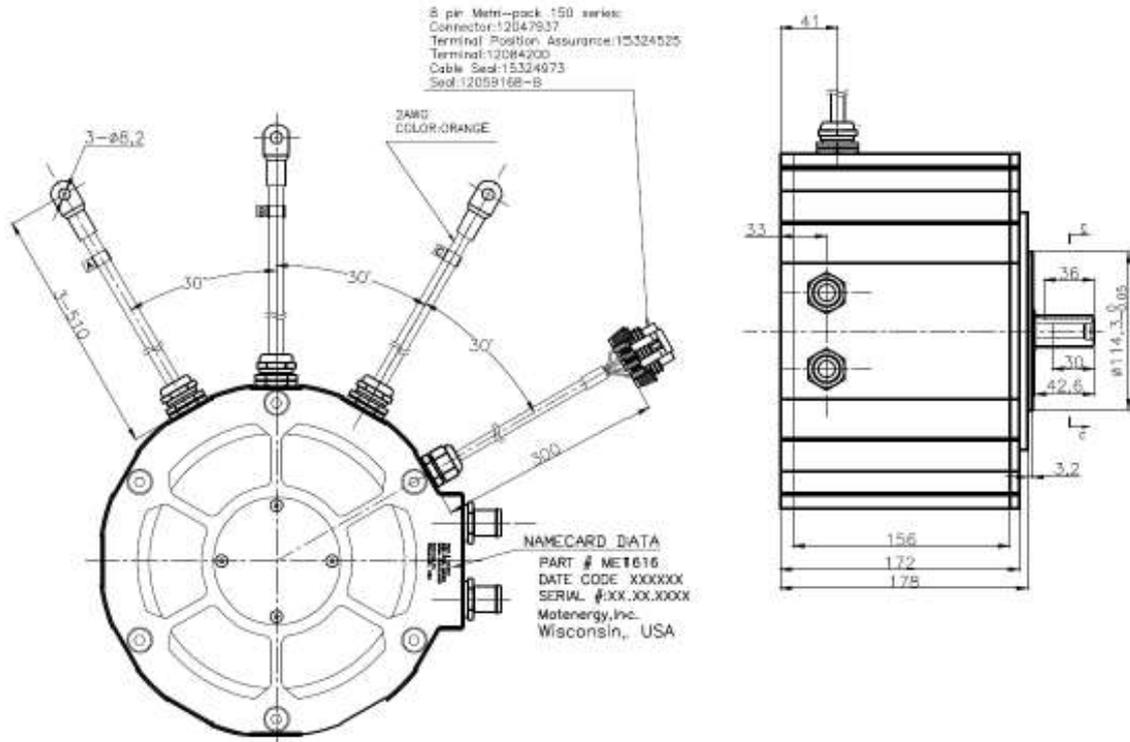


Ilustración 29: Dimensiones del motor eléctrico a utilizar.

3.4.4. Baterías

Las baterías empleadas en la séptima edición todavía no son conocidas, ya que el equipo todavía no ha realizado el estudio con el motor para conocer la capacidad de baterías que se requerirá para la competición. Por este motivo se decide coger como referencia el tamaño de la caja de baterías de la pasada edición y aplicar un coeficiente de seguridad para aumentar su tamaño, puesto que el nuevo motor es más potente y consume más energía.

La caja de baterías de la pasada edición es de 600x175x260 milímetros, por lo que se aplicará un coeficiente de 1,2 para aumentar su tamaño. Como el chasis no se pretende hacer mucho más ancho el aumento de dimensiones se realizará a lo alto y largo, y para compensar la limitación de tamaño se aplicará un coeficiente de 1,3. Las dimensiones finales de la caja de baterías son 780x228x260.

Al aumentar el tamaño de las baterías se observa como estas dimensiones no son las más adecuadas para una correcta distribución, ya que la caja de baterías sería demasiado elevada y no sería posible la correcta postura del piloto ni del depósito. Por este motivo se decide aumentar la caja de baterías hasta un máximo de 650 milímetros de alto y 270 milímetros de largo. Con estas dimensiones de baterías es más que suficiente según el equipo de eléctricos, así que se deberá asegurar que la caja de baterías con estas dimensiones encaja perfectamente en el prototipo e incluso se debe permitir un margen con los demás componentes por las posibles vibraciones y para facilitar su montaje.

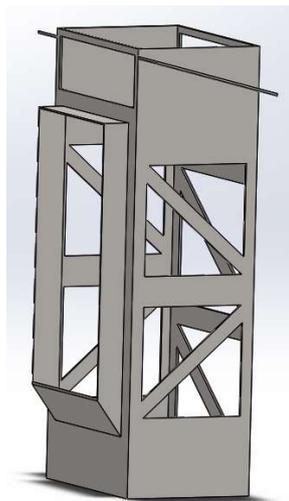


Ilustración 30: Diseño en CAD del contenedor de baterías.

3.4.5. Rueda trasera

La rueda trasera al igual que la delantera es de la marca OZ, es el mismo modelo de llanta y también es de 17 pulgadas, pero esta llanta trasera es más ancha para permitir utilizar un neumático más ancho. La llanta dispone de un soporte para disco de freno en su lateral derecho y un soporte para el plato de transmisión en su lateral izquierdo.

3.5. Fundamentos teóricos para la geometría

Antes de trabajar en la distribución de los componentes o en el diseño de un estructura resistente y ligera, se ha de trabajar para lograr encontrar una geometría base que cumpla con el objetivo de ser un prototipo con las dimensiones y geometrías correctas de una motocicleta de competición.

Para lograr obtener esta geometría y por tanto una respuesta de la moto adecuada para los cambios de dirección bruscos, y aceleraciones y develaciones rápidas, primero debemos conocer los aspectos de la geometría de una moto que afectan a su comportamiento, haciendo que esta sea más ágil, más firme en rectas, más pesada en curvas...

Los aspectos que pueden afectar y que estudiaremos son los siguientes:

3.5.1. Ángulo de Lanzamiento

Es el ángulo que forma la inclinación de la tija de dirección del chasis con la normal del eje de la rueda delantera. También es conocido como ángulo de avance debido

a que este ángulo influye directamente en el avance de la motocicleta. Este aspecto geométrico se mide en grados

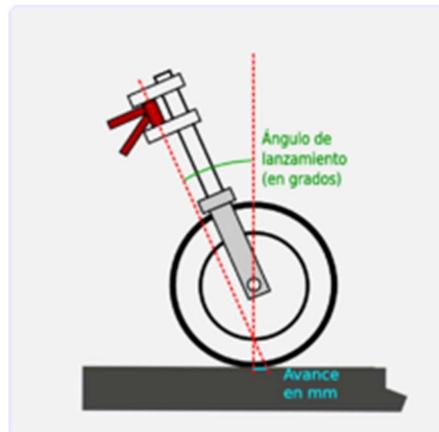


Ilustración 31: Ángulo de lanzamiento.

Lo más habitual en las motocicletas es un ángulo de lanzamiento positivo, como se observa en la imagen. Antiguamente, era impensable utilizar los grados de lanzamiento que se utilizan hoy en día, ya que se consideraban inestables para la conducción. Se ha comprobado que lo más beneficioso para la manejabilidad de una moto deportiva es tener un valor de lanzamiento entre 20° y 24° , ya porque en este caso se busca cargar un poco más el tren delantero y posicionar al piloto un poco más hacia delante de lo que se buscaba anteriormente.

Posicionar la pipa de dirección más hacia adelante y reducir el ángulo de dirección también mejora las fuerzas que hay que aplicar para vencer a las fuerzas de dirección que ejercen sobre la rueda.

La variación del ángulo de avance influye en la moto haciendo que al reducir el ángulo de lanzamiento o disponer de un ángulo bajo respecto a los parámetros considerados como correctos, la motocicleta se comporte de manera más ágil y con mayor direccionalidad, haciendo que sea más reactiva y menos estable. La variación del ángulo también influye directamente en el avance, en la distancia entre ejes y en la distribución de pesos.

3.5.2. Avance

El avance de una motocicleta se mide desde el punto de contacto del neumático delantero con el suelo, es decir, la vertical del eje delantero hasta la horizontal del suelo. Hasta llegar a la coincidente de la horizontal del suelo con la línea que dibuja la pipa de dirección. Esta distancia horizontal entre las dos coincidentes es la medida de avance en milímetros de una motocicleta.

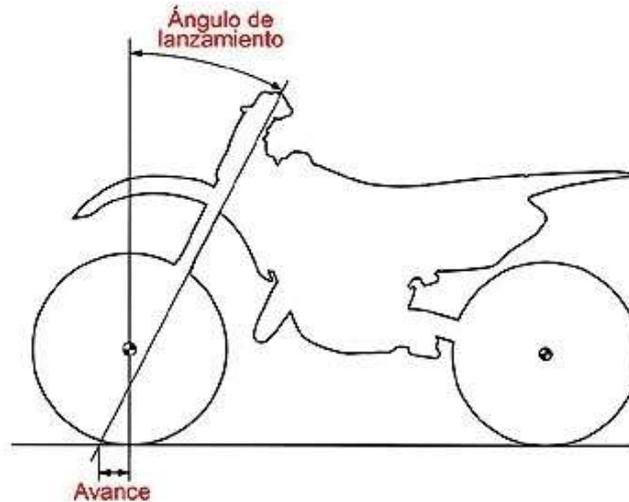


Ilustración 32: Avance de una motocicleta.

El avance en las motocicletas es una geometría que influye directamente en la estabilidad direccional y por tanto, es muy importante en los momentos de inclinación para tomar las curvas.

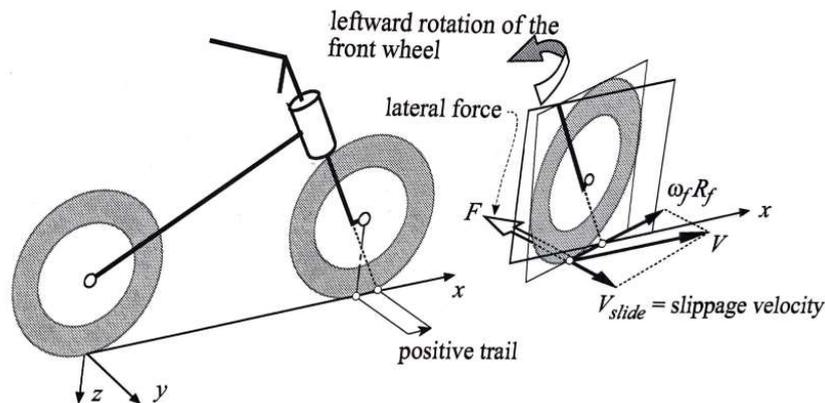


Ilustración 33: Avance positivo de la rueda delantera de una motocicleta.

Lo habitual en las geometrías de las motocicletas es encontrar el avance por delante del eje de la rueda delantera, esto proporciona un efecto de autocentrado en ambas ruedas de la moto y haciendo que la moto sea mucho más estable y fácil de maniobrar. A mayor avance la fuerza autoalineante será mayor y, por tanto, la estabilidad de la moto será mayor, esto se traduce en una mejor respuesta de la motocicleta en las rectas y en curvas rápida, ya que será más fácil de dirigir a altas velocidades. En cambio, el mayor avance afectará en la agilidad y lo rápido que se podrá inclinar y levantar la motocicleta en las curvas.

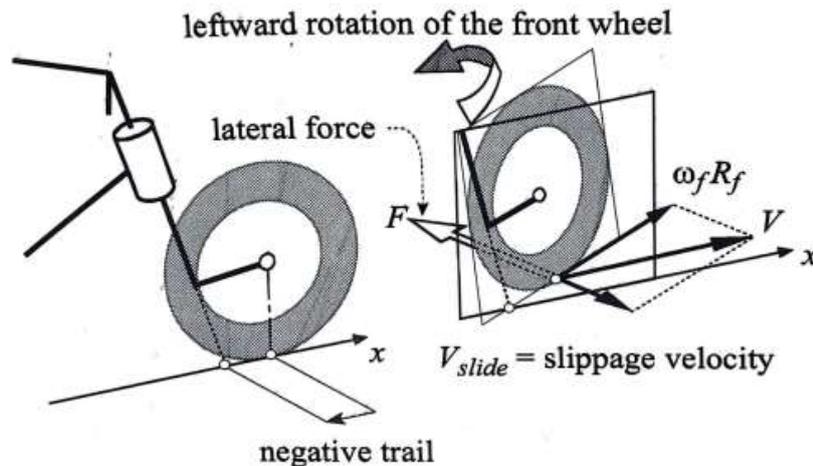


Ilustración 26: Avance negativo de la rueda delantera de una motocicleta.

Como se observa en la siguiente ilustración 28, si el eje de dirección está por delante del punto de contacto del neumático en el suelo, el momento de fuerzas al girar que actuará sobre el eje de dirección será inversamente proporcional al momento de fuerzas creado en el mismo eje por la fuerza resultante del asfalto sobre el neumático, por lo tanto, será mucho más fácil y se necesitará menos fuerza para volver a poner la rueda recta. En cambio, si el eje de dirección se encuentra por detrás del punto de contacto del neumático con el suelo, al girar la rueda, el momento de fuerzas que se aplica sobre el eje de dirección será del mismo sentido al momento de fuerzas que genera la fuerza de rozamiento sobre el eje de dirección, esto se traduce en que para colocar la rueda recta se deberá aplicar mucha más fuerza, ya que se habrá de vencer a las dos fuerzas, que actúan en sentido contrario a la fuerza que estamos aplicando. Por otro lado, en la imagen observamos como si los dos puntos de contacto con el suelo coinciden, en este caso la fuerza de rozamiento no creará ningún momento de fuerzas sobre el eje de dirección, ya que la distancia será 0, pero el momento de fuerzas debido al girar seguirá siendo el mismo y para volver a poner la rueda recta no tendremos que realizar tanta fuerza como en el caso anterior, pero si más que en el primer caso estudiado.

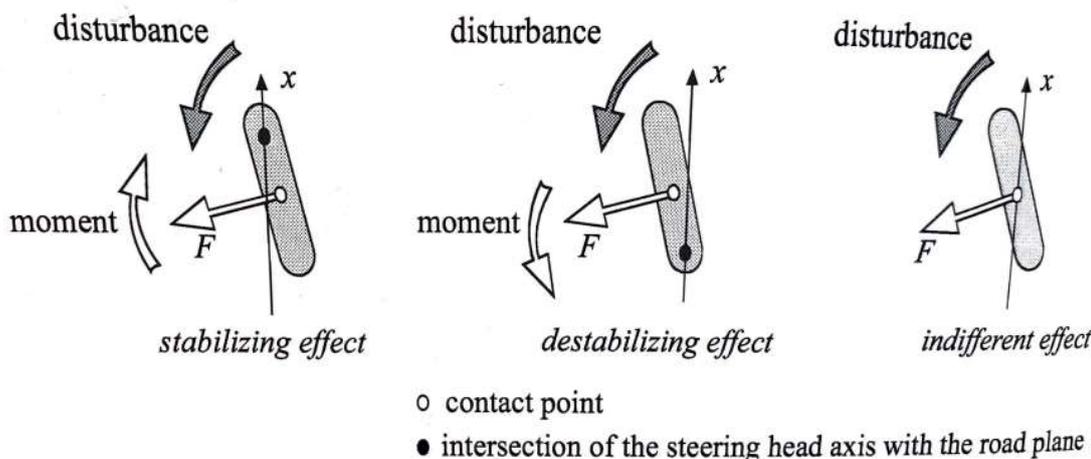


Ilustración 27: Momentos de fuerza al girar según el avance delantero de una motocicleta.

3.5.3. Distancia entre ejes

La distancia entre ejes es la distancia que hay entre el eje delantero y el eje trasero de una motocicleta. Este parámetro influye en gran medida en la estabilidad de la moto, pero también influye en el comportamiento en las curvas. Una moto con una distancia entre ejes larga será una motocicleta estable de dirección y por tanto, estable en línea recta y en curvas rápidas, pero se necesitará un mayor esfuerzo para realizar las curvas y será más inestable en caso de derrapar con la rueda trasera al acelerar. Por lo contrario, una moto con una distancia entre ejes corta será mucho más ágil en los cambios de dirección y más fácil de controlar en curvas lentas, pero mucho más reactiva y nerviosa, por lo cual, más difícil de controlar en rectas.



Ilustración 34: Distancia entre ejes de una motocicleta.

La distancia entre ejes también afecta en la transferencia de pesos en las aceleraciones y las frenadas. Para una cierta altura del centro de gravedad, a mayor distancia entre ejes, menor transferencia de pesos sufrirá la motocicleta, y por tanto, menores serán los momentos de inercia y cabeceos que sufrirá el piloto en casos de fuertes aceleraciones o frenadas.

3.5.4. Centro de gravedad

En la automoción se conoce y se suele hablar de transferencia de peso, no es una expresión correcta, ya que el peso no se puede transferir, por lo que sería más correcto referirse a este concepto como transferencia de carga. Es el centro resultado de la suma de todas las fuerzas de gravedad que afectan sobre los componentes de la motocicleta.

En las aceleraciones o en las frenadas la carga en los neumáticos varía, la carga máxima que podrían llegar a soportar es el peso total de la motocicleta en caso de levantar una de las ruedas a causa de una fuerte aceleración o frenada.

En relación con la distancia entre ejes, la altura del centro de gravedad es relativamente alta en las motocicletas y debe encontrarse lo más centrado posible para que la transferencia de carga sobre los neumáticos sea lo más similar posible, pero se debe tener en mente la posición del piloto y su postura para que este no este situado muy hacia adelante o hacia atrás y pueda influir negativamente en lo que se conoce como el centro de gravedad combinado.

Si observamos la transferencia de carga en una motocicleta, se puede llegar a la conclusión de que los principales parámetros proporcionales que afectan a la transferencia son la altura del centro de gravedad, el peso de la moto y la fuerza con la que se realice la aceleración o desaceleración para provocar esa transferencia de carga, e inversamente proporcionales a la distancia entre ejes. La posición longitudinal en la motocicleta del centro de gravedad no afecta a la transferencia de carga, afecta directamente en el reparto de carga que deberán soportar los neumáticos. Por lo tanto, si el centro de gravedad se encuentra retrasado respecto al centro de la motocicleta, la fuerza necesaria para transferir el total de la carga en el neumático trasero y provocar el levantamiento del neumático delantero será mucho menor a la fuerza necesaria que se requerirá para transferir toda la carga en el neumático delantero.

En la siguiente imagen se observa un estudio que podremos realizar para conocer si la altura del centro de gravedad es correcta en nuestro prototipo. Si dibujamos en una vista lateral de la motocicleta una línea a 45° desde el punto de contacto del neumático trasero con el suelo hacia adelante, esta será la línea de altura máxima del centro de gravedad para evitar que en caso de una aceleración de 1 g (9.81 m/seg^2) la transferencia de carga incline la moto hacia atrás. Se puede realizar el mismo estudio desde la rueda delantera para ver el límite en caso de una frenada de 1 g , y en caso de que nuestro prototipo pueda realizar una aceleración superior a 1 g gracias al gran agarre de los neumáticos utilizados se deberá disminuir el grado de inclinación de la línea límite.

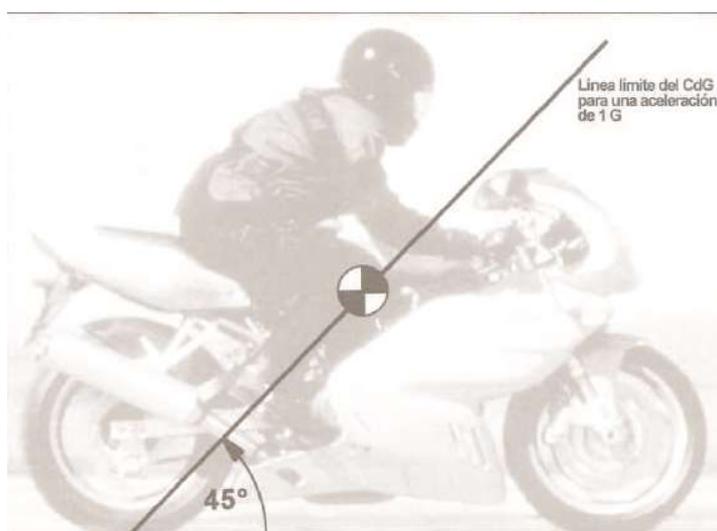


Ilustración 35: Estudio de la línea límite del Centro de gravedad para una aceleración de 1G.

Estos son los principales parámetros que deberemos trabajar para que el prototipo tenga una correcta geometría y por lo consiguiente, se adapte a las necesidades del circuito y del piloto. Como ya se ha comentado el circuito donde competirá el prototipo es un circuito grande y rápido, por lo que se deberá buscar una geometría correcta para curvas rápidas y largas rectas, pero sin perder mucha agilidad para no dificultar el trabajo del piloto en las curvas lentas o incluso en las pruebas de agilidad que realiza la competición en la fase MS2.

También se deberá trabajar y estudiar la rigidez del chasis para que los esfuerzos de flexión que sufrirá la estructura no modifiquen en exceso los parámetros geométricos estudiados. En especial se debe mantener la alineación entre los planos medios de las ruedas y el eje de dirección. De este modo se asegurará la estabilidad direccional proporcionada por la geometría. En la rueda delantera se mantendrá esta rigidez deseada mediante el uso de las horquillas telescópicas y la pipa de dirección, por lo que esta rigidez no se podrá modificar debido a que las horquillas a usar en el prototipo son las de una CBR 1000 de las que dispone el equipo, y las cuales serán más que suficientes para soportar los esfuerzos. Para la alineación de la rueda trasera se encargará el correcto estudio de rigidez del basculante.

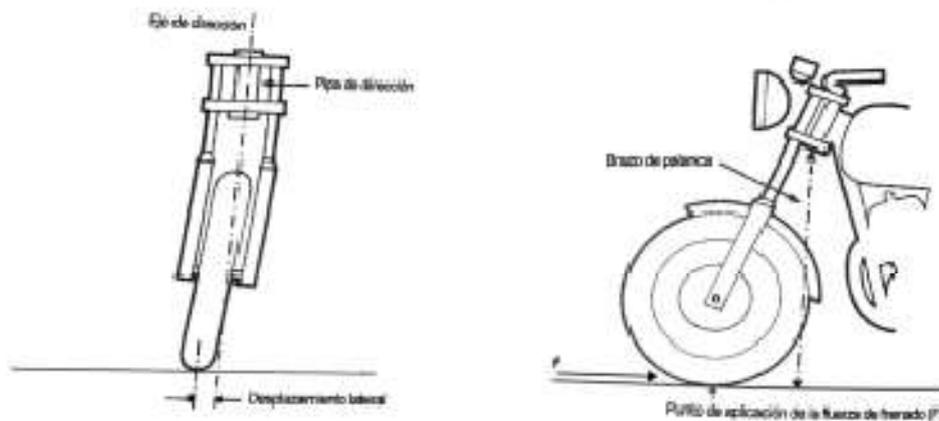


Ilustración 36: Ejemplo de deformaciones que sufre la horquilla delantera y que afectan a la rigidez de la pipa de dirección.

4. Diseño

4.1. Objetivos de diseño

Una vez son conocidos los diferentes chasis que se pueden utilizar, se deben contemplar las restricciones que impone la competición, los problemas y necesidades que han surgido en el equipo con las anteriores motocicletas, y se deben conocer los cambios o mejoras que se le intentarán incorporar a este prototipo para poder realizar una correcta selección del chasis que mejor se adapte a las necesidades, del cual se partirá para el desarrollo del proyecto.

Las restricciones que impone la competición, ya comentadas anteriormente, no influyen en la selección de un modelo de chasis u otro, pero si influyen en las dimensiones finales de la moto y en la resistencia estructural de la motocicleta. Estos son los principales objetivos que se deberán cumplir para evitar ser descalificados y a los se les prestará más atención para la selección y diseño de un chasis resistente y rígido.

Se buscará obtener una amplia capacidad para los componentes internos debido a su gran volumen, por lo que la selección y diseño del chasis también se verá influenciada por la distribución de los componentes, para obtener un centro de gravedad optimo y un correcto aprovechamiento del espacio disponible para que la moto sea lo más compacta y estrecha posible. Es decir, el chasis ha de tener una gran capacidad para permitir albergar y sujetar correctamente los componentes internos de la motocicleta.

Uno de los principales objetivos de diseño es realizar una motocicleta con la mejor dinámica posible y que las geometrías del prototipo se adapten más a una moto de competición que las geometrías actuales. Como consecuencia se buscarán aquellos chasis que faciliten el diseño de una geometría enfocada a la competición, dejando de lado la comodidad o el buen comportamiento por otros terrenos que no sean el asfalto o los circuitos rápidos.

Por último, uno de los principales objetivos demandado por el equipo es que el chasis sea lo más sencillo y ligero posible para facilitar el acceso y montaje de los complementos y para poder ser competitivos ya que el peso es un factor muy importante. También un factor a tener en cuenta para el equipo es el coste de producción ya que la fabricación del chasis no la podría realizar el equipo y debería realizarlo un taller especializado, por lo que el coste total de producción se deberá ajustar a las posibilidades del equipo. Por último, el equipo cree conveniente que el nuevo prototipo sea compacto y ligero como se ha comentado, para eliminar cualquier espacio inutilizado o inservible por una mala distribución. Pero concibiendo suficiente espacio para todos los componentes eléctricos, e incluso para poder albergar un motor más largo que el de la competición anterior o incluso un motor con refrigeración por agua con todos los componentes que este implica.

4.2. Selección del modelo de chasis para el proyecto

Para la selección del modelo de chasis sobre el cual trabajar se parte de los objetivos a cumplir comentados, de este modo se buscan aquellos que cumplan con una estructura resistente y sobre todo enfocada a una geometría radical de competición. Si se eliminan los tipos de chasis que no cumplen con estos objetivos principales, la lista de posibles estructuras de chasis se reduce hasta contar solamente con los modelos multitubular, doble viga perimetral, doble viga perimetral cerrada, monocasco y Omega.

Siguiendo la finalidad de cumplir los objetivos y necesidades en el proyecto, se debe tener en cuenta el factor de la distribución de los componentes y como de polivalentes son los diferentes chasis para poder modificar y colocar los componentes

para mejorar la distribución de pesos y eliminar los espacios vacíos o inservibles. Si se comparan los modelos de chasis hay uno que cuenta con mayores limitaciones a la hora de poder distribuir los componentes de la motocicleta, este es el chasis de doble viga perimetral cerrado, ya que la cuna que contiene este chasis puede limitar la posición de algún elemento debajo del asiento del piloto y formando un espacio vacío donde no poder colocar ningún elemento, factor muy importante a la hora de buscar un centro de gravedad bajo y centrado en la motocicleta.

Para seguir reduciendo la lista de posibles tipos de chasis se deben observar los objetivos restantes para estudiar cuál se adapta mejor a las necesidades del proyecto. Si se tiene en cuenta el factor de la sencillez de montaje y el peso de la estructura se puede llegar a la conclusión de que, los modelos de chasis monocasco y Omega no destacan en estos aspectos, por lo que se decide a eliminarlos como posibles candidatos.

Para terminar el proceso de selección se debe elegir entre un chasis multitubular o un chasis doble viga perimetral. Si se observan las competiciones similares a las que va a participar este prototipo se deberían observar las motocicletas de moto3 por su similitud en tamaño y potencia y las moto-e por los componentes a usar y distribución de estos. Ambas coinciden con el uso de un chasis multitubular, ya que facilita el anclaje de todos los componentes y por lo general son más económicos de fabricar y ligeros. Teniendo en cuenta que el equipo moto-e tiene un patrocinio con una empresa distribuidora de tubos y perfiles estructurales, la selección final del tipo de chasis para el desarrollo del prototipo es de tipo multitubular.

Ese tipo de chasis cumple con todos los objetivos que se han planteado y es una buena base para cumplir con las mejoras que se pretenden lograr respecto a los anteriores prototipos.

4.3. Geometría

Para el estudio de la geometría se realizará un estudio de los parámetros más importantes hasta lograr alcanzar una geometría con dimensiones similares al prototipo anterior, pero con una resultante más similar a las motocicletas de competición.

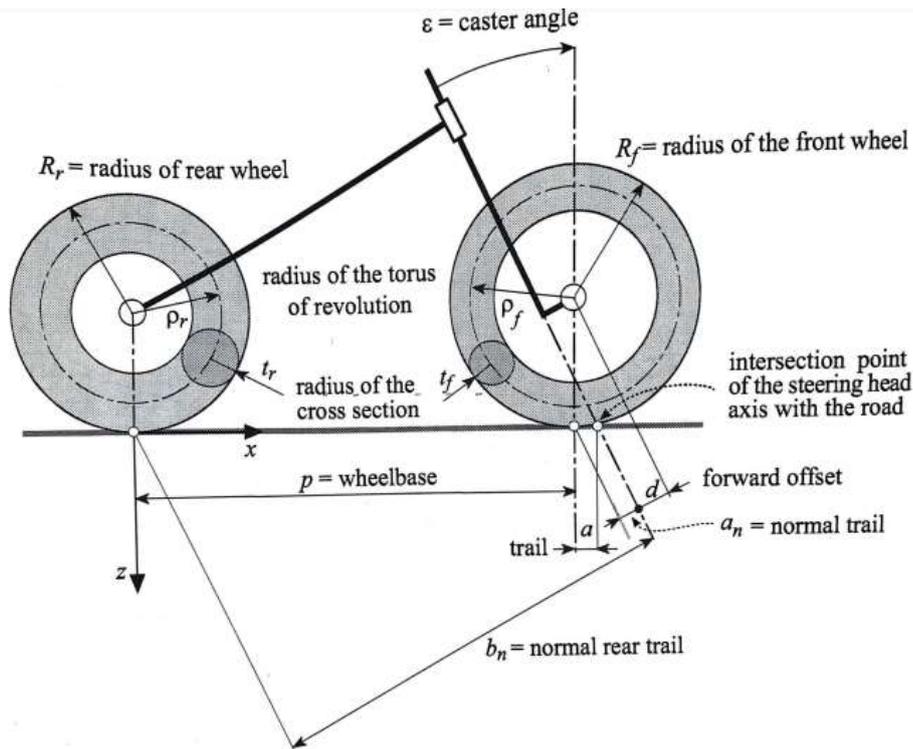


Ilustración 37: Parámetros geométricos base de una motocicleta.

Según como muestra Vittore Cossalter en su libro *Motorcycle Dynamics* el avance en las motocicletas es muy importante y una forma de calcular el correcto avance y, por consiguiente, la correcta geometría de la motocicleta es mediante los siguientes cálculos:

$$a_n = a \cdot \cos \varepsilon$$

$$b_n = (p + a) \cdot \cos \varepsilon$$

$$R_n = a_n / b_n$$

En este cálculo se compara el avance normal tanto de la rueda delantera (a_n) como el de la trasera (b_n), este concepto es útil para diferenciar si la relación entre los avances es la correcta según el uso que se le desee dar a la motocicleta. En este caso la geometría que se busca es la de una motocicleta deportiva o incluso el de una motocicleta de súper sport, por tanto, el resultado debe ser que el avance normal de la rueda trasera es cercano a un 6% o un 6.5%.

Para la geometría de este prototipo, como ya se ha comentado, se utilizarán dimensiones muy similares a las del prototipo anterior, dado que era un prototipo cómodo y funcional, pero se realizarán unos pequeños ajustes para mejorar la dinámica de la motocicleta y para acercarse más a una geometría de súper sport. Puesto que con las geometrías del prototipo anterior se está un poco lejos de las motocicletas deportivas según el estudio comentado anteriormente. Con este cambio se mejorará el paso por

curva, ya que la motocicleta será mucho más ágil y estable en curvas rápidas que son las que encontraremos con mayor frecuencia en el circuito de Aragón.

La geometría y por tanto, la resultante del avance normal trasero respecto al delantero en el prototipo anterior era el siguiente:

Distancia entre ejes (p)	1430	mm
Ángulo de lanzamiento (β)	23	°
Avance (a)	119	mm

$$a_n = 119 * \cos 23 \rightarrow a_n = -63.407$$

$$b_n = (1430 + 119) * \cos 23 \rightarrow b_n = -825.358$$

$$R_n = \frac{-63.407}{-825.358} = 0.0768 \approx 7.7\%$$

Como se observa, la resultante del avance no está entre los parámetros geométricos de una super sport, por lo que se deberán realizar unos cambios geométricos que sean válidos para el uso de los componentes aportados por la competición o por el equipo, como por ejemplo lo son las suspensiones y las ruedas. Se debe tener en cuenta el empleo de estos componentes para modificar los parámetros, y realizar los estudios de geometría hasta lograr encontrar una geometría válida y cercana a los parámetros de una motocicleta de super sport.

Teniendo en cuenta los componentes a usar y que no se buscaba cambiar en exceso las geometrías, sino tan solo mejorarlas y hacer que el prototipo se comporte mejor en curvas rápidas, se ha llegado a la conclusión de que las geometrías a usar para el diseño del chasis serán las siguientes:

Distancia entre ejes (p)	1410	mm
Ángulo de lanzamiento (β)	20	°
Avance (a)	105	mm

$$a_n = 105 * \cos 20 \rightarrow a_n = 42.849$$

$$b_n = (1410 + 105) * \cos 20 \rightarrow b_n = 618.244$$

$$R_n = \frac{-63.407}{-825.358} = 0.0690 \approx 6.9\%$$

Mediante el uso de estas geometrías se consigue acercar la motocicleta a una conducción más similar a las motocicletas deportivas, pero sin llegar a ser tan radical y por tanto sin empeorar en exceso la estabilidad del paso por curvas lentas.

5. Materiales

La correcta selección del material es de vital importancia en el diseño del chasis, debido a que el material determinará la densidad, la ductilidad y el proceso de ensamblado del chasis. También es el principal responsable junto con la geometría y el diseño del chasis de su resistencia y rigidez.

Para la fabricación del chasis en las motocicletas de competición, los materiales que se emplean con mayor frecuencia son el aluminio, el acero y sus diversas aleaciones, la fibra de carbono o incluso algunas motocicletas utilizan el titanio.

Según la normativa de la competición, el uso de titanio está prohibido en los prototipos al igual que cualquiera de sus aleaciones, por lo que se elimina como posible material para el chasis. Como ya se ha comentado el chasis será multitubular, por lo que se deberán estudiar y comparar los diferentes materiales para conocer sus principales propiedades y las ventajas y desventajas para la fabricación del chasis.

5.1. Fibra de Carbono o materiales compuestos

La fibra de carbono o los materiales compuestos tienen la ventaja de proporcionar unas propiedades mecánicas que no podrían proporcionar los materiales por separado. Esto es una característica importante que puede marcar la diferencia en conceptos de rigidez o resistencia a la fatiga u otras características respecto a otros materiales y que terminan influenciando en las propiedades finales del prototipo, y por tanto, puede significar una variación de la geometría final por necesidad de menor cantidad de material o menor necesidad de refuerzos, afectando directamente al peso y al espacio disponible para los componentes.

La variación de las propiedades en los materiales compuestos se ve influenciada según el porcentaje de cada material que lo conforma, además de la forma en la que se realice la unión, la orientación e integración entre los materiales.

Dentro de los materiales compuestos se pueden encontrar los materiales reforzados, los recubrimientos superficiales y los aglomerados.

- **Los materiales reforzados** son aquellos formados por un material aglutinante y un material reforzante, el aglutinante actúa como base y la unión se puede hacer por dispersión o por fibra.
- **Los recubrimientos superficiales** se realizan por compuestos laminares y bimetales. Esta unión se realiza para mejorar la resistencia al desgaste, a la corrosión o para mejorar las propiedades del material base.
- **Los aglomerados** son materiales compuestos formados por la unión de fragmentos de diferentes materiales prensados y endurecidos mediante aglutinante.

En el desarrollo de la estructura del chasis se realizará mediante tubos estructurales y los tubos de materiales compuestos más utilizados en la competición y en

estructuras son los de fibra de carbono. Las propiedades de estos tubos pueden variar por la matriz y el método de fabricación como ya se ha comentado, pero las principales propiedades de la fibra de carbono son:

Límite de elasticidad (MPa)	2500
Módulo de Young (GPa)	500
Densidad (Kg/m³)	2000
Precio (€/Kg)	80

Un punto negativo de estos tubos es que la fibra de carbono es débil frente a los impactos, y se puede debilitar la estructura si sufre algún golpe, al igual que el precio de la fibra de carbono, y por consiguiente, el precio de los tubos es elevado. También cabe destacar que la fabricación de una estructura tubular mediante tubos de fibra de carbono no es nada fácil ni económica, principalmente por la dificultad y las horas de trabajo para realizar la correcta unión de los tubos.

Por estos motivos económicos y por la posibilidad de debilitar el chasis con una caída o durante el transporte de la motocicleta, se decide que la fibra de carbono no es un candidato como material para la fabricación del chasis.

5.2. Acero

Los aceros son materiales metálicos formados a partir de una aleación del hierro y el carbono, según la cantidad de carbono en la aleación se obtiene un acero con unas propiedades u otras. Si el porcentaje de carbono es inferior al 0.03% se considera hierro, y si es superior al 2.14% se considera una fundición, por lo que los valores de carbono en los hierros pueden variar desde el 0.03% hasta el 2%.

Los aceros como se ha explicado requieren cierta cantidad de carbono para poder considerarse aceros, pero éstos también pueden contener distintas aleaciones otros materiales como por ejemplo de aluminio, azufre, cromo, cobre, magnesio o silicio.

Las principales propiedades de los aceros sin especializar en ningún acero en concreto son:

Límite de elasticidad (MPa)	550
Módulo de Young (GPa)	200
Densidad (Kg/m³)	7800
Precio (€/Kg)	1.5

Dentro de las propiedades de los aceros también se puede destacar su elevada tenacidad o maleabilidad. Es un material fácil de mecanizar y de trabajar. Antiguamente era el material más utilizado en el mundo de las motocicletas para la fabricación de los chasis, sin importar el tipo de chasis. Actualmente ha perdido un poco de importancia

respecto a otras alternativas como el aluminio o la fibra de carbono, pero en los modelos multitubulares sigue siendo el principal material a utilizar principalmente gracias a su facilidad en la soldadura.

Debido a la amplia variedad de aceros debido a las aleaciones y los tratamientos aplicados para su fabricación, en España existe la norma UNE-EN 10020:2001 para distinguir i clasificar la composición de los aceros, pero la normativa más extendida en cuanto a la clasificación de los aceros es la norma UNE-3610.

Serie	Grupo	Denominación	Descripción
Serie 1	Grupo 1	Acero al carbono	Son aceros al carbono y por tanto no aleados. Cuanto más carbono tienen sus respectivos grupos son más duros y menos soldables, pero también son más resistentes a los choques. Son aceros aptos para tratamientos térmicos que aumentan su resistencia, tenacidad y dureza. Son los aceros que cubren las necesidades generales de la Ingeniería de construcción, tanto industrial como civil y de comunicaciones.
	Grupos 2 y 3	Acero aleado de gran resistencia	
	Grupo 4	Acero aleado de gran elasticidad	
	Grupos 5 y 6	Aceros para cementación	
	Grupo 7	Aceros para nitruración	
Serie 2	Grupo 1	Aceros de fácil mecanización	Son aceros a los que se incorporan elementos aleantes que mejoran las propiedades necesarias que se exigen a las piezas que se vayan a fabricar con ellos como, por ejemplo, tornillería, tubos y perfiles para el caso de los grupos 1 y 2. Núcleos de transformadores y motores para los aceros del grupo 3. Piezas de unión de materiales férricos con no férricos sometidos a temperatura para los que pertenezcan al grupo 4. Piezas instaladas en instalaciones químicas y refinerías sometidas a altas temperaturas los del grupo 5.
	Grupo 2	Aceros para soldadura	
	Grupo 3	Aceros magnéticos	
	Grupo 4	Aceros de dilatación térmica	
	Grupo 5	Aceros resistentes a la fluencia	
Serie 3	Grupo 1	Aceros inoxidables	Estos aceros están basados en la adición de cantidades considerables de cromo y níquel a los que se suman otros elementos para conseguir otras propiedades más específicas. Son resistentes a ambientes húmedos, a agentes químicos y a altas temperaturas. Sus aplicaciones más importantes son para la fabricación de depósitos de agua, cámaras frigoríficas industriales, material clínico e instrumentos quirúrgicos, pequeños electrodomésticos, material doméstico como cuberterías, cuchillería, etc.
	Grupos 2 y 3	Aceros resistentes al calor	
Serie 5	Grupo 1	Acero al carbono para herramientas	Son aceros aleados con tratamientos térmicos que les dan características muy particulares de dureza, tenacidad y resistencia al desgaste y a la deformación por calor. Los aceros del grupo 1 de esta serie se utilizan para construir maquinaria de trabajos ligeros en general, desde la carpintería y la agrícola (aperos). Los grupos 2,3 y 4 se utilizan para construir máquinas y herramientas más pesadas. El grupo 5 se utiliza para construir herramientas de corte.
	Grupos 2, 3 y 4	Acero aleado para herramientas	
	Grupo 5	Aceros rápidos	
Serie 8	Grupo 1	Aceros para moldeo	Son aceros adecuados para moldear piezas mediante vertido en moldes de arena, por lo que requieren cierto contenido mínimo de carbono con el objetivo de conseguir estabilidad. Se utilizan también para el moldeo de piezas geométricas complicadas, con características muy variadas, que posteriormente son acabadas en procesos de mecanizado.
	Grupo 3	Aceros de baja radiación	
	Grupo 4	Aceros para moldeo inoxidable	

Ilustración 38: Norma UNE-3610 para la clasificación de los aceros.

Si se observa la tabla siguiente se puede llegar a la conclusión de que los aceros con mayor soldabilidad y correctas propiedades estructurales serán los aceros más adecuados para la fabricación del chasis. El acero es un muy buen material para la realización del modelo multitubular, ya que se pueden encontrar multitud de aleaciones con diferentes durezas y límites elásticos. También se debe a sus grandes propiedades como pueden ser la conformabilidad, dureza, resistencia a la tracción u otras que se adaptan perfectamente a las necesidades del chasis de una motocicleta. En definitiva,

debido al bajo precio del material en comparación con los otros materiales, su facilidad a la hora de conformabilidad y soldabilidad, y sus buenas propiedades de resistencia y dureza son unos grandes puntos a favor del acero para la realización de este proyecto, pero sacrificando una gran característica como es el peso.

Algunos de los aceros más comunes para la fabricación de chasis son los aceros al cromo-molibdeno, ya que este tipo de aceros presentan cierta facilidad a la soldabilidad y una gran resistencia, estas propiedades son características de los aceros que contienen un porcentaje de carbono menor al 0.25%, por lo que se deberá trabajar con algún acero que cumpla con estas características.

5.3. Aluminio

Las principales propiedades del aluminio son las siguientes:

Límite de elasticidad (MPa)	250
Módulo de Young (GPa)	70
Densidad (Kg/m³)	2700
Precio (€/Kg)	2.7

El aluminio es un material muy dúctil y sin ser aleado con ningún otro material es bastante débil. Por este motivo el aluminio se clasifica en distintas series según el material con el que sea aleado, ya que el aluminio sin aleaciones no tiene muchas utilidades y además de ser débil es bastante difícil de soldar, por lo que las aleaciones con los diferentes materiales le permiten adquirir distintas propiedades físicas y mecánicas que hacen del aluminio un material mucho más útil y demandado en distintas aplicaciones.

Serie	Composición	Características	Usos
Serie 1000	Casi puro. Prácticamente un 99% es aluminio	<ul style="list-style-type: none"> · Alta resistencia a la corrosión · Excelente maleabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> · Recipientes · Materiales de radiación
Serie 2000	Aleaciones con cobre	<ul style="list-style-type: none"> · Alta resistencia mecánica · Buena maquinabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> · Suspensiones y llantas de camiones · Fuselaje de aviones
Serie 3000	Aleaciones con manganeso	<ul style="list-style-type: none"> · Buena resistencia mecánica · Buena maleabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> · Utensilios de cocina · Intercambiadores de calor · Mobiliario
Serie 4000	Aleaciones con silicio	<ul style="list-style-type: none"> · Alta resistencia al calor 	<ul style="list-style-type: none"> · Aplicaciones arquitectónicas · Fabricación de pistones de motores
Serie 5000	Aleaciones con magnesio	<ul style="list-style-type: none"> · Buena resistencia mecánica · Muy buena soldabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> · Adornos y ornamentales · Estructuras de automóviles

Serie 6000	Aleaciones con magnesio y silicio	<ul style="list-style-type: none"> · Buena resistencia mecánica · Buena maquinabilidad y soldabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> · Aplicaciones arquitectónicas · Cuadros de bicicletas · Estructuras soldadas
Serie 7000	Aleaciones con zinc	<ul style="list-style-type: none"> · Alta resistencia mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> · Estructuras de los aviones · Equipos móviles · Otras partes altamente forzadas
Serie 8000	Aleaciones con otros elementos		

Las aleaciones de aluminio también se clasifican según el proceso de conformado aplicado para su fabricación o si han sufrido algún post tratamiento térmico para mejorar sus propiedades. El tratamiento más común es el temple, el cual consiste en el endurecimiento del metal mediante la modificación de la estructura interna del metal. Esta modificación de la estructura se consigue gracias a un elevado calentamiento de la pieza y un enfriamiento brusco.

Sistema normalizado	
F	Material extruido sin ningún post tratamiento
O	Recocido mediante tratamiento térmico
H	Endurecimiento mediante tratamiento mecánico
T	Temple obtenido por tratamiento térmico

Los diferentes procesos de temple que pueden sufrir las aleaciones se determinan mediante la terminación T4, T5 o T6.

Observando las características de las series del aluminio se puede llegar la conclusión de que la serie 6000 es de las más adecuadas para la fabricación y para las necesidades de la estructura del chasis, sobre todo observando las características de los T6 ya que aportan mayor resistencia sin afectar a su densidad. La aleación 6082 es una muy buena opción para la realización de la estructura del chasis debido a su elevada resistencia, su excelente soldabilidad y maleabilidad, si se necesitara aumentar la resistencia del material sería conveniente buscar algún aluminio de la serie 7000, aunque esto incrementaría considerablemente el precio del material.

5.4. Selección de material

Para terminar la selección del material para la fabricación del chasis se debe destacar el aluminio es una mejor opción en cuanto a peso, pero en el factor económico el acero es mejor debido a que podemos obtener un acero con características muy similares a las del aluminio 6082 T6 pero a menor precio. Para la competición el facto del peso es mucho más importante y relevante para realizar la selección, pero según las posibilidades del equipo EPSA Moto-e se opta por seleccionar el acero debido al patrocinio con el que cuenta el equipo de una empresa de fabricación de perfiles

estructurales de acero. Esta empresa fabrica los perfiles con una gran variedad de calidades de aceros y algunos de estos aceros son más que suficientes para los requisitos de resistencia de la estructura a realizar.

Se debe aclarar que, si el equipo no contara con el patrocinio de la empresa mencionada, en la selección de material se debería optar por el aluminio 6082 T6 debido a sus grandes propiedades estructurales, ya que la diferencia de precio frente a un acero con las mismas características es considerablemente menor en relación a la diferencia de densidad entre ambos.

La fabricación de este proyecto se realizará en acero gracias a la ayuda aportada por los colaboradores del equipo, pero la selección del acero se realizará en el momento que se estudie el comportamiento estructural en las pruebas estáticas que realiza la competición, debido a que son las pruebas más exigentes para el chasis en la competición y debemos asegurar el correcto comportamiento de la estructura.

6. Metodología

En la actualidad podemos encontrar multitud de programas y métodos para la realización de un nuevo proyecto y el estudio del mismo sin necesidad de recurrir a los prototipos a escala. Gracias a la gran variedad de programas de diseño, se puede seleccionar aquel que mejor se adapte o más facilidades ofrezca frente al proyecto que se pretenda realizar. También se facilita mucho la correcta realización del proyecto haciendo uso de los programas que permiten la interacción de distintos diseños en 3D, ya que se podrá realizar un estudio de la correcta posición y en este caso, asegurar cumplir con las normativas y los objetivos.

De este modo, se realizarán los diseños en CAD de la estructura del chasis mediante el uso del programa SolidWorks. Gracias a la ayuda de las motocicletas de los diferentes campeonatos y de la geometría base, la cual ya ha sido estudiada y perfeccionada, se realizarán varios modelos de chasis con distintas características para poder observar y elegir el modelo de chasis que más se adapte a las necesidades del proyecto.

El diseño de los chasis se realiza mediante el componente de diseño “*Piezas Soldadas*” ya que facilita la construcción de estructuras tubulares y la unión entre los perfiles. Mediante el componente de diseño mencionado se permite realizar estructuras tubulares partiendo de líneas y puntos de unión, a partir de los cuales asignar un perfil determinado y así generar la estructura. En conjunto con los croquis 3D y las extrusiones realizadas en el programa se conforman todos los diseños y modelos de chasis necesarios con las diferentes características.

Con la ayuda de los ensamblajes del programa SolidWorks se realizan pruebas de distribución de componentes con los diseños en CAD del motor, las baterías o el basculante. Este proceso facilita el objetivo de poder realizar una correcta distribución de componentes eliminando espacios vacíos e inservibles por otros componentes. Por lo que

permite realizar una correcta selección del modelo de chasis que mejor se adapta a las geometrías de los componentes y que más facilita el anclaje y protección de los mismos.

Para realizar un estudio completo y así confirmar que el proyecto cumple con los principales objetivos, es necesario realizar una correcta selección del material y de la estructura a emplear para poder soportar los esfuerzos y tensiones a los que se someterá el prototipo en competición. Para cubrir esta necesidad y poder construir un prototipo seguro se requiere de un programa de simulación en el cual someter la estructura a las diferentes cargas y sujeciones para observar su comportamiento. Gracias a estas simulaciones se podrá realizar la correcta selección del tipo de acero necesario para soportar las cargas y no fracturarse ni deformarse en exceso. Al igual como permitirán realizar mejoras estructurales en caso de ser necesarias para reforzar alguna zona, eliminar concentradores de tensiones o reducir la sección del perfil en caso de ser excesiva y de este modo poder reducir el peso de la estructura.

Las simulaciones se realizan mediante el programa Ansys Workbench para observar cómo afectan a la estructura las pruebas estáticas que se realizarán en la competición, y ver cómo puede afectar a la estructura las cargas máximas que se podrá encontrar el prototipo en carrera, denominadas pruebas dinámicas. Se realizarán las pruebas en el programa Ansys ya que si se realiza el diseño en 3D mediante el componente de "piezas soldadas" el programa Solidworks simula cada una de estas piezas, en este caso perfiles circulares, como una única línea unida por puntos con las demás líneas. Es decir, no simulará las uniones soldadas entre los tubos ni los perfiles como realmente una estructura mallada, por lo que esta simulación no ofrecerá toda la información que se requiere para observar correctamente el comportamiento de la estructura. Esta simulación sería válida en caso de realizar los diseños de las estructuras como estructuras en 3D, realizando todas las uniones y formas tal como se desean. En cambio, el programa Ansys logra calcular y simular la estructura tal y como es, de una forma más potente y real, sin necesidad de realizar el modelo de la estructura en 3D al detalle. De este modo se mostrarán las tensiones en todos los puntos de los perfiles y las uniones entre estos, gracias al detallado mallado que realiza el programa de simulación.

En definitiva, se puede concluir la diferencia de cálculo entre un programa y otro teniendo en cuenta que la simulación lograda por el programa SolidWorks sería una simulación de un elemento lineal finito, y en el caso del programa Ansys Workbench la simulación es mediante un elemento tridimensional finito, el cual permite mallar tridimensionalmente la estructura y los perfiles, otorgando mucha más información de las tensiones y deformaciones en cada punto. A continuación, se observan las diferencias comentadas entre las dos simulaciones.

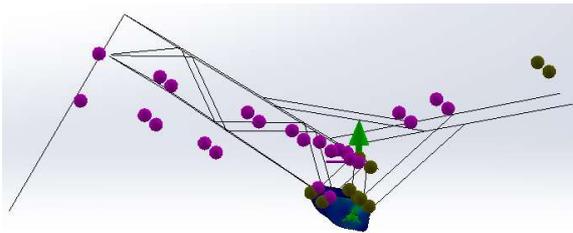


Ilustración 36: Ejemplo de simulación mediante el programa SolidWorks.

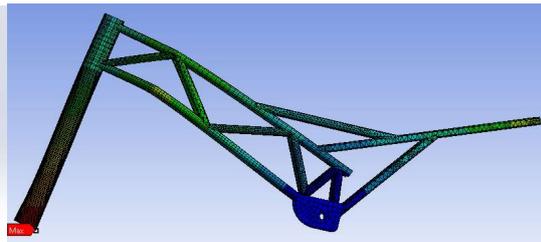


Ilustración 37: Ejemplo de simulación mediante el programa Ansys Workbench.

Las simulaciones se realizarán teniendo en cuenta el peso de los componentes de la motocicleta para realizar las simulaciones sobre la estructura del chasis lo más reales posibles. Los estudios se realizarán simulando el motor anclado a las chapas estructurales del chasis, cargando el peso de 30 Kilogramos del motor, y las baterías se simularán ancladas en los perfiles superiores justo después del ensanchamiento de la estructura, soportando los 60 Kilogramos de éstas. El peso de las baterías es una aproximación en referencia con las de la edición pasada ya que todavía no podemos conocer las baterías empleadas en esta edición. A continuación, se pueden observar los puntos donde se distribuirán los pesos de los componentes en la estructura gracias a las indicaciones en rojo.

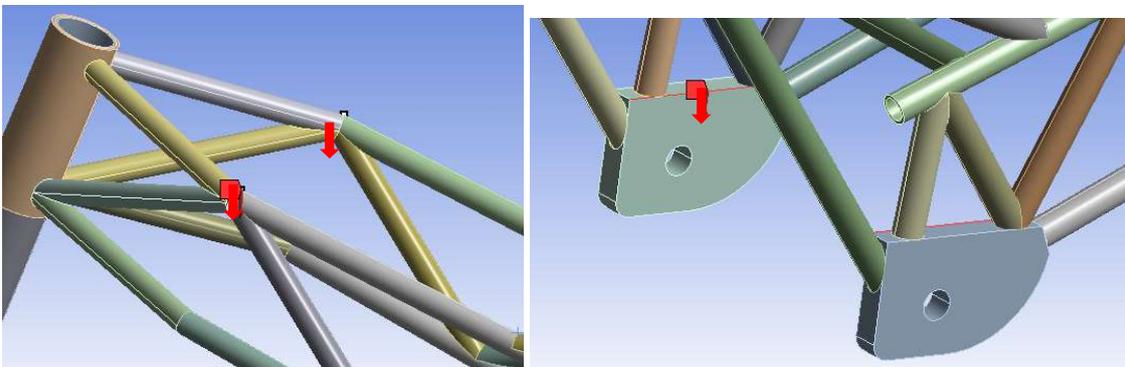


Ilustración 39: Puntos de aplicación de las cargas en las simulaciones.

Las simulaciones estáticas en el programa se realizan mediante el proceso de estudio “Static Structural” mediante el cual se importará dentro del apartado “Geometry” la estructura de chasis diseñada y seleccionada como la mejor opción. Para realizar la simulación se deberán configurar las sujeciones en la estructura según la prueba a simular, al igual que repartir las fuerzas en la dirección y lugar correcto. Estas configuraciones según la prueba a simular se explicarán y argumentarán posteriormente, pero cabe recordar y explicar el método que se empleará para el ajuste de malla, ya que este proceso se repite en todas las simulaciones y es el sistema a emplear para lograr un correcto

mallado de la pieza y así lograr obtener resultados lo más precisos posibles dentro de las limitaciones de la licencia.

Para un correcto ajuste dentro de las limitaciones, se debe partir de los 15 mm de tamaño de malla ya que, si se disminuye más el valor de la malla en toda la estructura, se alcanzará el límite de elementos permitido por la licencia de estudiante y el estudio no será lo suficientemente preciso en ciertos puntos de interés.

En el ensayo estructural se estudia la tensión equivalente de Von Mises, el factor de seguridad de la estructura y el error estructural. Mediante las soluciones aportadas por el programa se puede ajustar la malla de la estructura manualmente perfil por perfil para alcanzar un estudio más preciso en los puntos donde se alcancen las mayores tensiones y deformaciones. El modo de modificar el tamaño de malla se basa en la disminución del tamaño de la malla en aquellos perfiles donde el error estructural sea el máximo, debido a que en los perfiles o uniones el mallado no es correcto y será necesario un tipo de malla de menor tamaño y el programa no podrá calcular correctamente las tensiones. De este modo, al disminuir la malla ésta podrá adaptarse mejor a las geometrías del perfil y a las mallas de los otros perfiles, realizando correctamente las uniones estructurales.

Este proceso de disminución del tamaño de malla en los perfiles donde el error sea máximo se realizará hasta alcanzar el límite permitido por la licencia o hasta observar que el punto de máximo error estructural y el de máxima tensión coinciden y lo hacen en un punto razonable, como por ejemplo el punto de aplicación de la fuerza puntual. En este caso, por mucho que se disminuya el tamaño de malla, si la estructura ya contiene un bajo error estructural, el error no variará de posición.

7. Evolución de las diferentes alternativas

Basándose en las geometrías que se han comentado anteriormente, se deben realizar varios diseños del chasis teniendo en cuenta los objetivos a cumplir del proyecto, sin comprometer la estructura para asegurar que resistirá los esfuerzos aplicados en la competición.

Para la realización y selección de estos diseños se utilizarán los elementos auxiliares comentados anteriormente, los diseños de los diferentes chasis se realizarán sin posibilidad de modificar ninguno de estos componentes, pero realizando la distribución de componentes que mejor se adapte al chasis para encontrar la mejor opción.

Por este motivo y por necesidad de hacer uso de un sistema de refrigeración por agua para el motor, el cual no se ha utilizado en ningún prototipo del equipo, se estudiarán los distintos modelos de chasis variando su estructura hasta alcanzar la opción que mejor permita la colocación de los sistemas requeridos.

Uno de los principales objetivos es la posibilidad de distribuir correctamente los componentes de la motocicleta para eliminar espacios vacíos e inservibles, y de esta

forma poder obtener una correcta distribución de pesos en ambas ruedas y posición del centro de gravedad.

Buscando alcanzar este objetivo se plantea reducir el largo del basculante para ganar espacio en el interior del chasis. Al reducir el basculante se aumenta el largo del chasis para no modificar la distancia entre ejes, y así poder retrasar la posición del motor y aumentar el espacio disponible para las baterías y los componentes de la motocicleta.

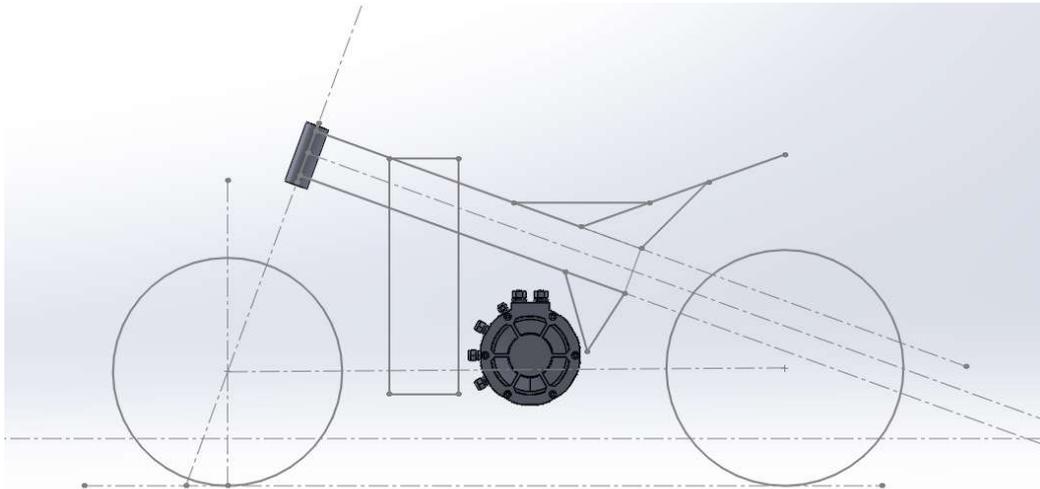


Ilustración 40: Diseños orientativos de distribución de componentes.

Como se observa en la imagen se realizó un primer boceto del chasis respetando las geometrías y las componentes, y también marcando los límites de la normativa como por ejemplo una horizontal a 12 centímetros del suelo para que los componentes no superen la línea discontinua y poder cumplir la normativa de librar al menos 10 centímetros. El boceto realizado mantiene muchas geometrías provenientes del proyecto anterior para empezar el desarrollo de diseño desde una base funcional y correcta, un ejemplo puede ser el ancho de la estructura ya que respeta los 27 centímetros de espacio interior en el chasis.

Con este primer diseño de chasis se intenta dibujar una geometría básica de una motocicleta para observar los espacios disponibles para los componentes y con la finalidad de realizar todas las modificaciones necesarias sin modificar los parámetros fijos como se ha comentado y modificar lo menos posible la posición del piloto.

7.1. Primer diseño

Para la evolución del diseño del chasis se observaron distintos modelos de chasis de varias motocicletas, para escoger las principales ideas de diseño y adaptarlas al caso de estudio. En este caso el diseño de las KTM de moto3, se caracteriza por ser un chasis resistente y ligero gracias al uso de perfiles de gran diámetro, pero realizando una estructura relativamente pequeña en comparación con los otros chasis multitubulares. Este chasis dispone de un perfil macizo en sus dos extremos finales con la finalidad de

disponer de un anclaje resistente para el basculante, el cual proporciona gran rigidez eliminando excesivas deformaciones. Este perfil además sería un gran punto de anclaje para los calapiés, el subchasis y multitud de componentes, ya que puede utilizarse para en un futuro anclar el soporte del motor.



Ilustración 41: Chasis multitubular de la marca KTM.

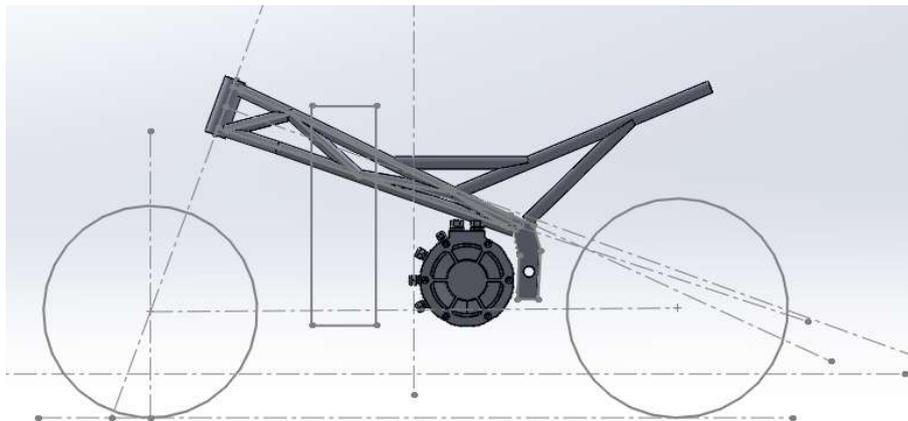


Ilustración 42: Primer diseño de chasis observando el modelo de KTM.

Observando el modelo se llegó a la conclusión de que para mejorar el reparto de pesos y obtener mayor espacio en la parte delantera de la motocicleta, se deberá retrasar la posición del motor y por consiguiente la caja de baterías, ya que sería conveniente separar un poco más el motor de la línea discontinua que marca el centro de la motocicleta. También se observa la escasa capacidad interna del chasis para albergar y proteger los componentes de la motocicleta, y la gran estructura que se debería realizar para posicionar correctamente al piloto, la cual se tendrá que reforzar y dimensionar correctamente para evitar excesivas deformaciones.

Por estos motivos se decide que este modelo de chasis no es conveniente para el prototipo del equipo. Ya que se adapta mejor a una motocicleta pequeña y relativamente corta entre ejes.

7.2. Segundo diseño

Para la realización y diseño de un chasis que se adapte mejor a las necesidades del proyecto se decide observar las motocicletas del campeonato de Moto-e, ya que son motocicletas grandes, con gran capacidad para baterías y con un buen reparto de componentes para mejorar el centro de gravedad y las inercias en la conducción.

En este primer diseño se busca ajustar el chasis a la forma del motor, de esta forma se permite rebajar la altura del chasis en sus extremos traseros sin necesidad de implementar una pletina para la sujeción del basculante como en el caso anterior. Con el diseño de este chasis se pierde un poco de rigidez y facilidad a la hora de anclar los componentes, pero el punto de anclaje del basculante se sitúa más elevado y permite retrasar aún más la posición del motor.

En este diseño se respeta el ancho interno del chasis por lo que el motor de la séptima edición encaja justo en el interior del chasis y no sobresale como en el proyecto anterior gracias a la reducción de tamaño del motor.



Ilustración 43: Chasis multitubular empleado para la competición Moto-e.

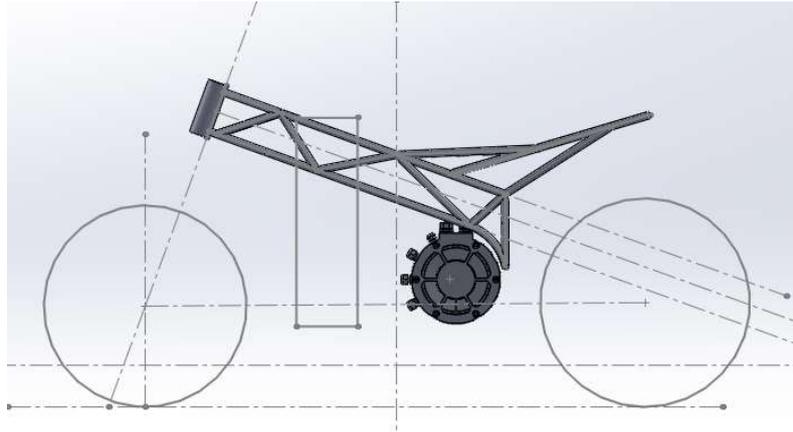


Ilustración 44: Segundo diseño de chasis teniendo en cuenta el modelo de Moto-e.

Se observa como la posición del motor se ha conseguido retrasar considerablemente respecto a los prototipos diseñados anteriormente y respecto al diseño de la motocicleta anterior. En este caso no sería posible modificar la posición del motor debido a la forma del chasis y al anclaje del basculante el cual limita el poder retrasar más la posición del motor. Esta modificación genera un gran espacio en la motocicleta para albergar las baterías y todos los componentes eléctricos además del sistema de refrigeración sin ninguna limitación de espacio. Además, permite posicionar todos los componentes eléctricos muy juntos entre si facilitando la instalación eléctrica y el rápido acceso a estos mediante la retirada del depósito de la motocicleta.

Esta estructura permite anclar correctamente los componentes en su interior y les aporta una cierta protección gracias a la gran estructura del chasis, al igual que facilita la estructura del subchasis, pero como se ha comentado anteriormente, no es una estructura especialmente rígida en el punto de anclaje con el basculante. Esto se debe a que el anclaje del chasis con el eje del basculante es débil en comparación con el modelo anterior. Otro punto negativo de este anclaje es la dificultad para anclar los diferentes componentes de la motocicleta como los comentados anteriormente, ya que se requeriría de la adición de unas chapas soldadas a modo de anclaje como se puede observar en la imagen de la motocicleta del campeonato de moto-e.

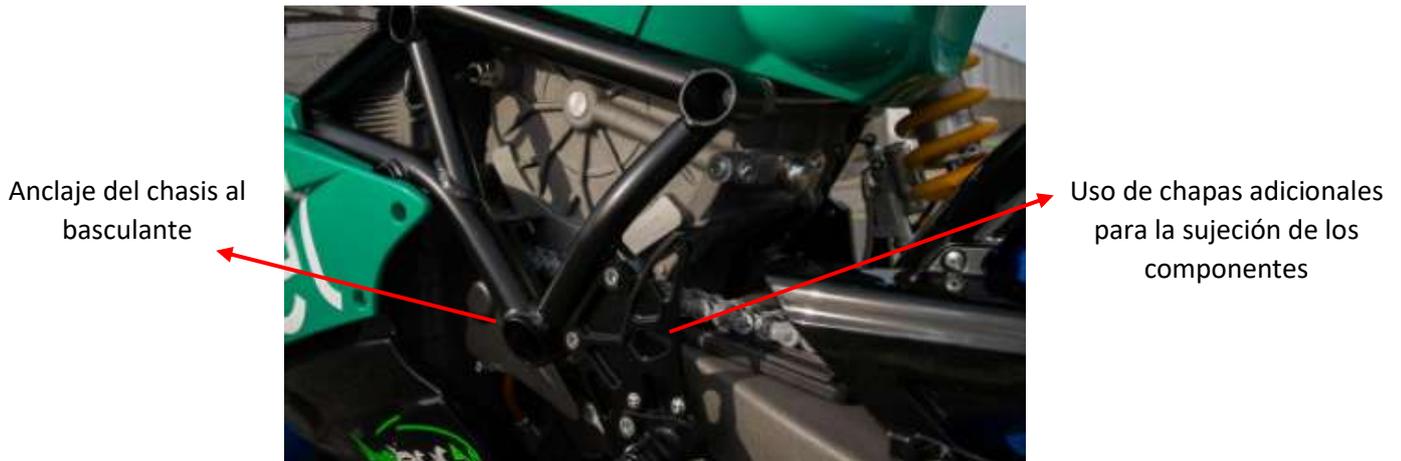


Ilustración 45:Detalle del anclaje del chasis al basculante y de los anclajes de los pequeños componentes en las motocicletas del campeonato Moto-e.

7.3. Tercer diseño

Observando las dimensiones de los componentes y cuál sería la mejor opción para su distribución, se llegó a la conclusión de realizar un diseño similar al anterior, pero con la peculiaridad del añadido de la chapa en sus extremos finales. De este modo se facilitarían en gran medida la sujeción del basculante y la de los pequeños componentes que se requieren, ya que éste también es un objetivo del proyecto, facilitar los anclajes y los diseños de los soportes para todos los componentes de la motocicleta.

Como se puede observar en la siguiente imagen, la motocicleta de la universidad de Twente en Holanda mantiene una estructura multitubular, combinada con una lámina de aluminio mecanizado en sus extremos finales. Esta lámina otorga rigidez a la estructura multitubular en la zona del anclaje del basculante y del motor, además de actuar como base de unión de ambos con el chasis. La estructura presentada por la universidad de Twente es un poco más ancha en relación a las motocicletas de competición de la categoría similar, pero esta anchura les permite anclar el motor en el interior de las dos láminas de aluminio, por encima del anclaje del basculante y de esta forma ganar en espacio libre al suelo y en espacio para baterías.



Ilustración 46: Chasis de la motocicleta Delta-XE de la universidad de Twente.

Analizando los diseños anteriores se puede observar que hay espacio suficiente entre el motor y la línea límite, por lo que sería conveniente rebajar un poco la altura del chasis en su extremo final para lograr una mejor posición del centro de gravedad y facilitar el diseño del basculante. Esta modificación en la altura del chasis permite rebajar la altura del motor y posicionarlo por debajo del anclaje del basculante al chasis. También permite posicionar el motor con mayor libertad longitudinal ya que se puede retrasar más en comparación a los diseños anteriores, la altura final del motor no limita el espacio libre al suelo de los cables que alimentan al motor ni de las mangueras de refrigeración. De este modo se permitirá la colocación del motor en cualquier sentido rotacional según las conveniencias del equipo.

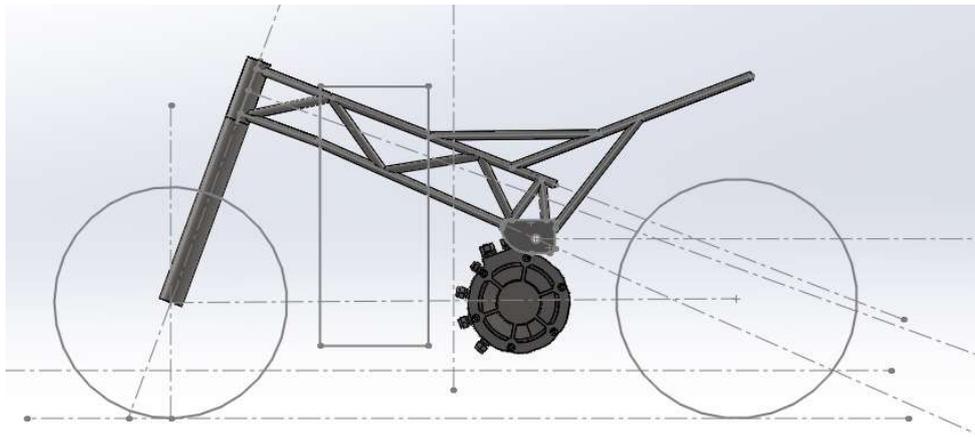


Ilustración 47: Tercer diseño y alternativa de chasis cogiendo como referencia la motocicleta de la universidad de Twente.

Para rebajar el anclaje del basculante se ha realizado el diseño dando más separación entre los tubos principales del chasis, esto se puede observar en las imágenes del prototipo gracias a las líneas discontinuas. Ya que en los diseños anteriores el chasis sigue la perpendicular de la pipa de dirección la cual se sitúa a 20° de la vertical para

formar la geometría deseada. En este diseño el chasis no sigue la perpendicular, ya que se busca alcanzar una altura menor en los extremos del chasis. Como se observa en la siguiente imagen la estructura es más ancha por lo que dispone de mayor capacidad interior para los pequeños componentes eléctricos

Teniendo en cuenta los objetivos del proyecto, esta estructura cumple con las geometrías, espacio suficiente para los componentes y facilita el anclaje de los mismos, aportando suficiente espacio en su interior para los componentes más débiles.

Observando las diferentes alternativas y las motocicletas de las que se han podido coger ideas, se llega a la conclusión de que éste último diseño presentado cumple con los requisitos del proyecto y del equipo, por lo que será el utilizado para realizar los distintos estudios estructurales y mejoras de diseño para asegurar que cumple con las necesidades estructurales y para poder seleccionar un acero adecuado para su fabricación.

7.4. Diseño final

El diseño planteado cumple con las normativas de la competición y con los objetivos del equipo y del proyecto. Sobre este diseño se realizarán los estudios estáticos y dinámicos para observar las tensiones máximas que alcanzará la estructura en las diferentes pruebas. A esta estructura también se le aplicarán mejoras de diseño dentro de lo posible para aumentar su resistencia o para mejorar sus características como puede ser el peso, ya que son los dos objetivos que faltan por intentar cumplir lo mejor posible.

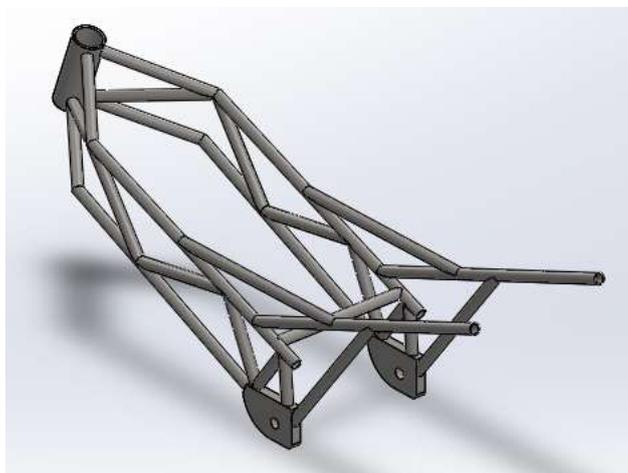


Ilustración 48: Imagen del chasis final del proyecto.

Esta estructura de chasis multitubular, se caracteriza por mantener un espacio interno de 27 centímetros, en los cuales el motor podrá ser alojado perfectamente en su interior sin necesidad de que sobresalga por ningún lateral como en ediciones pasadas.

Es un chasis relativamente largo ya que desde el centro de la pipa de dirección hasta el punto de anclaje con el basculante el chasis mide aproximadamente 745 milímetros.

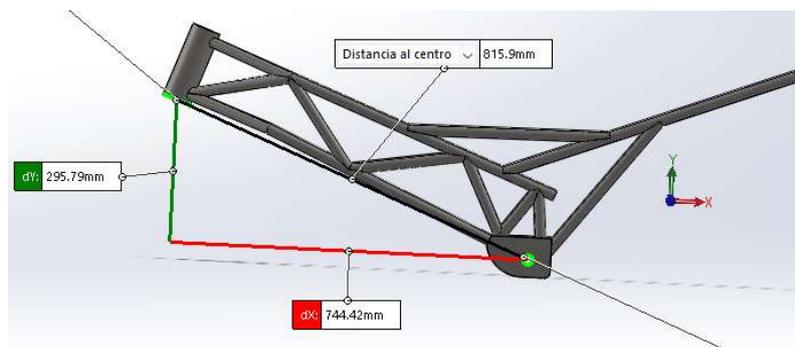


Ilustración 49: Dimensiones del chasis final.

La distancia libre al suelo desde la chapa estructural es de 414 milímetros, la cual es bastante alta, pero como se muestra en la ilustración 47 el motor se situará por debajo de este punto, por lo que es necesario mantener esta altura, la cual permite que la estructura del chasis no tenga que descender bruscamente. Las chapas estructurales comentadas tienen un grosor de 2 centímetros para que los perfiles circulares encajen y formen una unión perfecta. La estructura del subchasis mantiene las dimensiones de la moto de la pasada edición ya que el piloto eligió esa postura. Un dato importante del prototipo es que es un poco más bajo en relación con el modelo anterior, y esto permite una mejor aerodinámica y paso por curva.

8. Simulaciones

Como se ha explicado anteriormente las simulaciones se realizarán mediante el programa Ansys Workbench y su módulo de trabajo “Static Structural”. Se realizarán las simulaciones estáticas para observar que la estructura resista correctamente sin generar elevados puntos de máxima tensión, y en caso de ser necesario se realizarán mejoras y modificaciones en la estructura para mejorar la distribución de tensiones en el chasis. Si la estructura resiste correctamente sin necesidad de aplicar ninguna mejora se procederá a la simulación de las pruebas dinámicas. Se decide realizar este proceso de simulación y comprobación debido a que las pruebas estáticas obligadas por competición son las pruebas más exigentes para la estructura del chasis, ya que las tensiones a las que se somete son mucho mayores a las que puede experimentar en las pruebas dinámicas.

Para la correcta simulación de las pruebas se distribuirán las cargas de los componentes como se ha explicado anteriormente en todas las simulaciones.

El material empleado para las simulaciones en la estructura es un acero S275N con las siguientes características:

Structural steel, S275N

ANSYS Inc. provides no warranty for this data.

Density	7.85e-06 kg/mm ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2.1e+05 MPa
Poisson's Ratio	0.3046
Bulk Modulus	1.7912e+05 MPa
Shear Modulus	80484 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.196e-05 1/°C
Tensile Ultimate Strength	422.5 MPa
Tensile Yield Strength	237.4 MPa
Thermal	
Isotropic Thermal Conductivity	0.05044 W/mm·°C
Specific Heat Constant Pressure	4.794e+05 J/kg·°C

Ilustración 50: Características del acero empleado para realizar las simulaciones.

8.1. Prueba estática. Carga horizontal

Centrándonos en las pruebas estáticas y en concreto en la primera prueba, se deberá aplicar una carga de 300Kg sobre la rueda delantera generando la compresión de la estructura desde la horquilla de suspensión, la cual se sustituye en la simulación por un perfil circular estructural situado en la pipa de dirección. Se aplicará la fuerza horizontal justo a la altura del eje de la rueda delantera para simular la prueba. Esta prueba se realiza sin el piloto, por lo que en la simulación solo se deberá añadir el peso de los componentes para lograr una simulación lo más real posible.

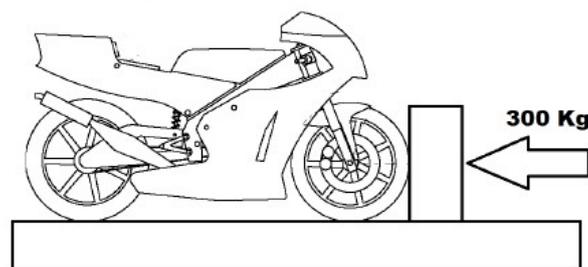


Ilustración 51: Representación de la primera prueba estática.

Para realizar la configuración del estudio se debe permitir el deslizamiento del tubo que simula la horquilla sobre el plano de planta, mediante la opción de “Displacement” y se fijará el agujero de anclaje del basculante mediante la opción “Cylindrical Support” para permitir su rotación, pero no su desplazamiento.

Con estos ajustes y los comentados anteriormente, como el peso de los componentes o el acero de la estructura, la simulación ya estaría configurada y lista para simular y ajustar el mallado.

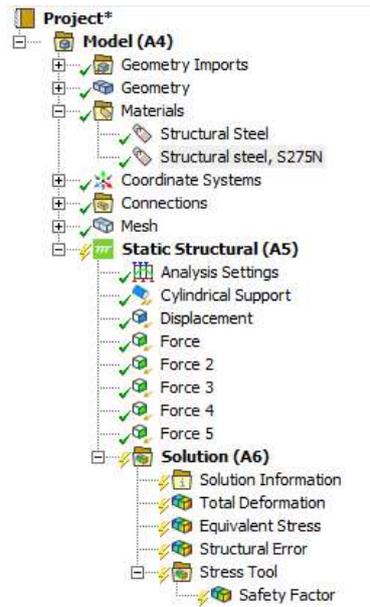


Ilustración 52: Configuración del programa para realizar las pruebas estáticas.

Como se observa en la ilustración 39, se aplican a la estructura las fuerzas de los dos componentes, una en cada lado para repartir la carga equitativamente, y se aplica también la fuerza de compresión de 300 Kg. Arriba de las fuerzas se observan las condiciones de desplazamiento explicadas, y por último se puede observar la información de interés que el programa calculará para conocer los datos de las simulaciones.

8.1.1. Resultados

8.1.1.1 Resultado de la deformación total en milímetros al aplicar las cargas:

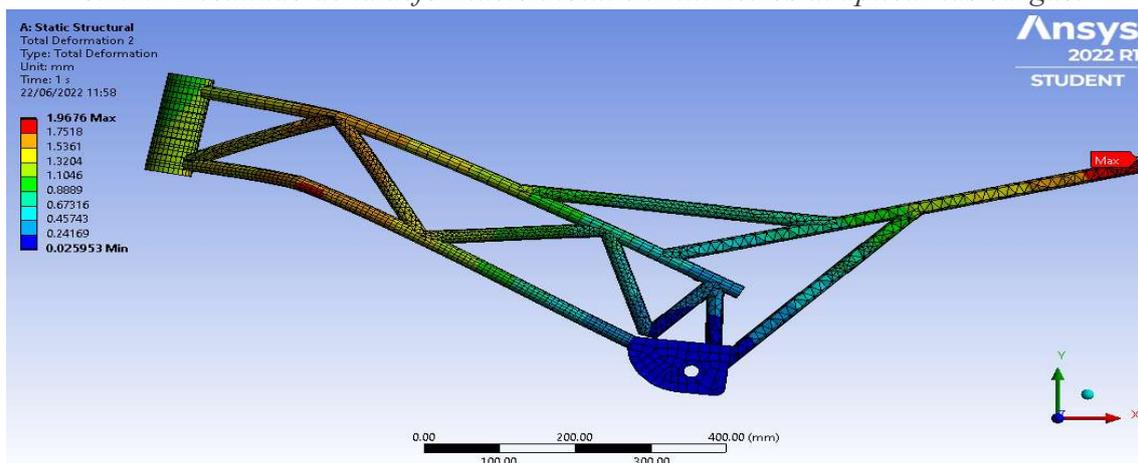


Ilustración 53: Resultados de deformación frente a la carga horizontal (mm).

Se puede observar en la imagen que la máxima deformación es localizada en el extremo del perfil del subchasis. Esta deformación es marcada por el programa debido a

que el perfil varía notablemente su posición inicial a causa de las deformaciones de la estructura, las cuales si son relevantes para conocer si la estructura puede llegar a romper o deformarse en exceso poniendo en peligro los componentes internos.

En cuanto a la deformación de la estructura según la simulación, la máxima deformación es alrededor de los 2 milímetros, pero siendo cuasi en su totalidad menor en toda su estructura. Esta deformación se podrá mejorar seleccionando un acero más resistente si es necesario, así que se observará el resultado de las tensiones equivalentes para observar la tensión máxima que sufre la estructura. Cabe remarcar que en la estructura la zona más afectada es la unión en punta de los perfiles que permiten el ensanchamiento del chasis.

8.1.1.2. Resultado de las tensiones equivalentes en MPa al aplicar las cargas:

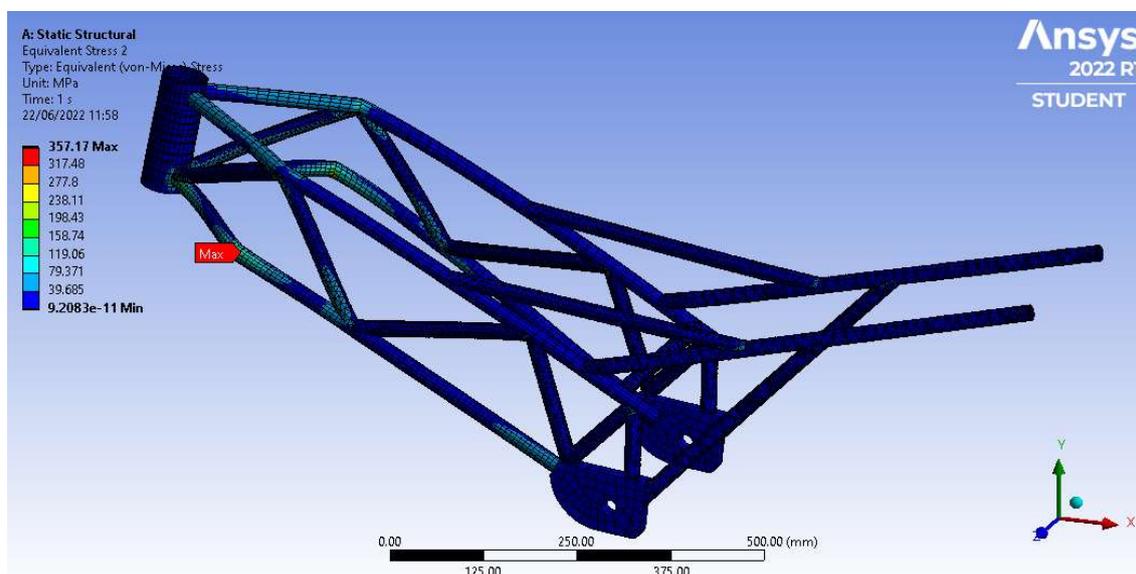


Ilustración 54: Resultados de tensiones equivalentes frente a la carga horizontal (MPa).

Observando la simulación se localiza una tensión máxima muy elevada, la cual se sitúa en el mismo punto de máxima deformación que se ha encontrado en el interior de la estructura sin tener en cuenta el subchasis.

En la estructura se pueden encontrar unas zonas de tensiones relativamente elevadas, las cuales concentran elevadas tensiones debido a la geometría de la estructura, por lo que se debería usar un acero de alta resistencia o modificar la estructura dentro de las posibilidades para disminuir las tensiones en estas zonas.

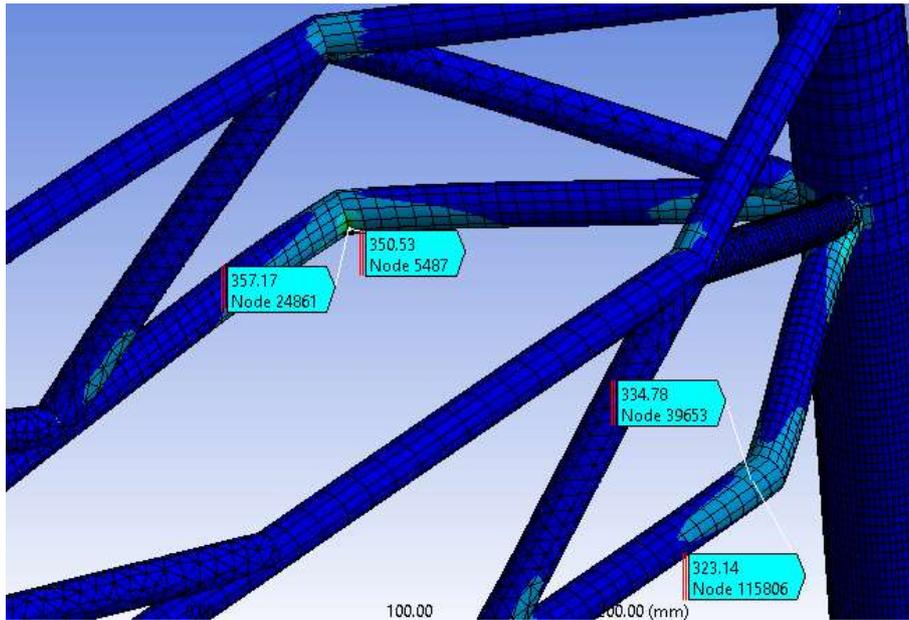


Ilustración 55: Puntos de máximas tensiones en el chasis (MPa).

Como se observa en la ilustración 55, los puntos señalados muestran los valores de las tensiones máximas en las zonas afectadas. En comparación con el resto de la estructura estos puntos han de soportar unas tensiones muy altas, y hacer uso de unos aceros de resistencia elevada sería sobredimensionar la estructura en exceso. Por este motivo se podría plantear realizar una modificación de la estructura en esta zona y así comprobar si estas modificaciones distribuyen mejor las tensiones, debido a que la geometría actual concentra elevadas tensiones.

8.1.1.3. Resultado del factor de seguridad al aplicar las cargas:

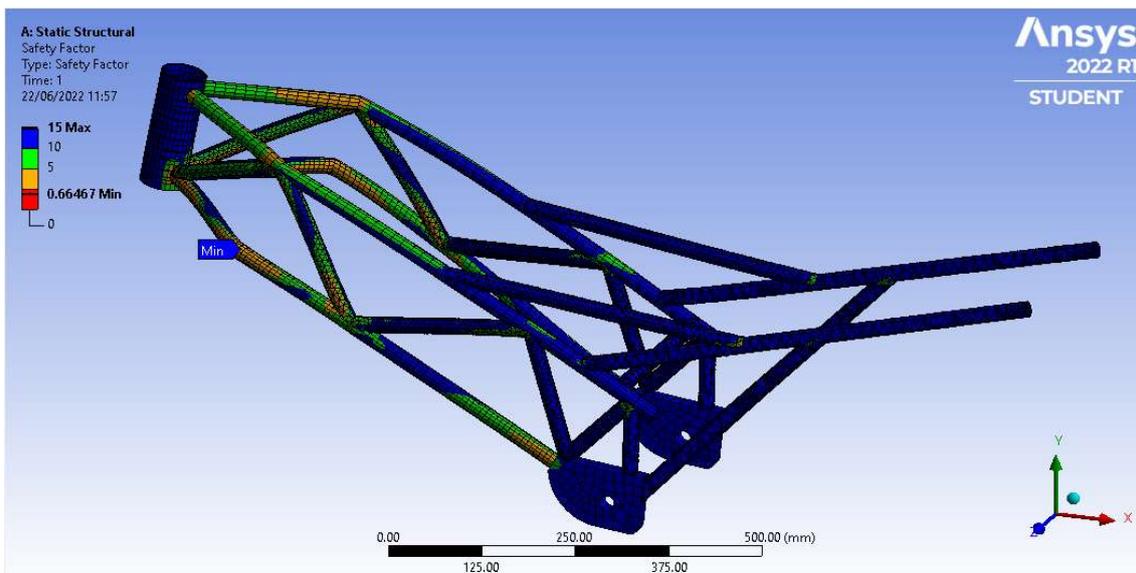


Ilustración 56: Factor de seguridad de la estructura.

La estructura como se observa en la imagen aporta un factor de seguridad bajo, y muy cercano a 1 en varias zonas, por lo que se deberá emplear un acero de mayor resistencia para la fabricación de la estructura en comparación al empleado para la simulación.

8.2. Prueba estática. Carga vertical.

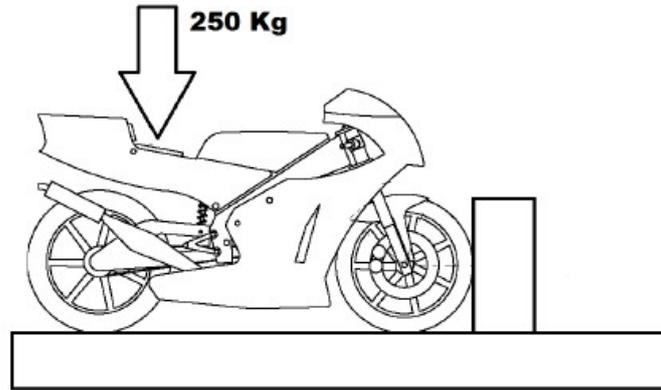


Ilustración 57: Representación gráfica de la segunda prueba estática.

La siguiente prueba estática consiste en aplicar 250 kg sobre la base del asiento. En la prueba real la fuerza se aplica sobre una superficie y no puntualmente, por lo que será distribuida sobre una pequeña superficie de los perfiles. Para realizar la prueba más restrictiva se realizará la simulación aplicando la fuerza de 250 kg puntualmente sobre la zona donde se situará el asiento del piloto. En la siguiente imagen se puede observar gracias a las flechas rojas la posición de aplicación de la carga. Se deberá realizar distintas simulaciones variando la posición de la carga puntualmente por la zona donde se situará el asiento para encontrar la simulación más exigente para la estructura y seleccionar ésta como la simulación a estudiar.

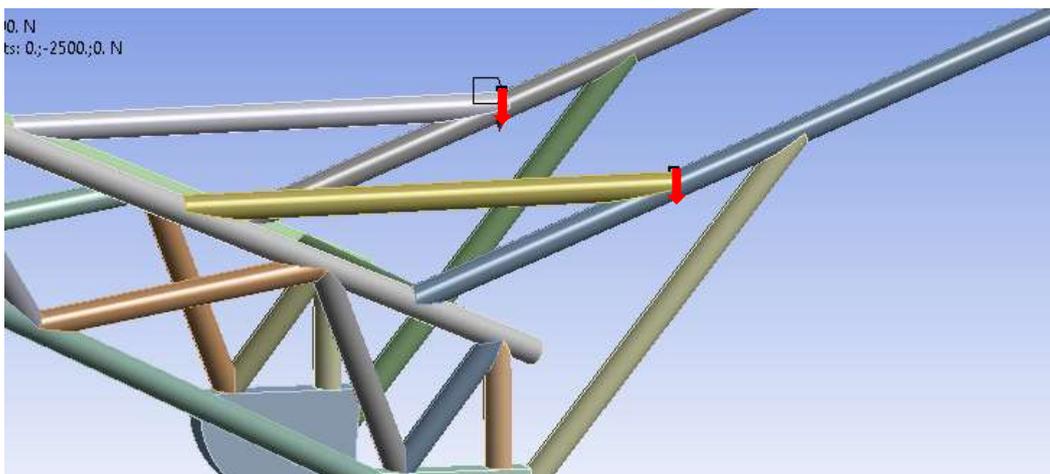


Ilustración 58: Zona de aplicación de la carga horizontal.

Se aplican las cargas de los componentes sin tener en cuenta el peso del piloto como se ha explicado, y para terminar de ajustar la simulación se debe añadir un

“CilindriacI Suport” en los agujeros del anclaje al basculante, para permitir su rotación, y también añadir un ajuste denominado “Displacement” en el perfil que simula la horquilla, ya que de este modo simularemos la prueba tal y como se realizará en la competición.

8.2.1. Resultados

8.2.1.1 Resultado de la deformación total en milímetros al aplicar las cargas:

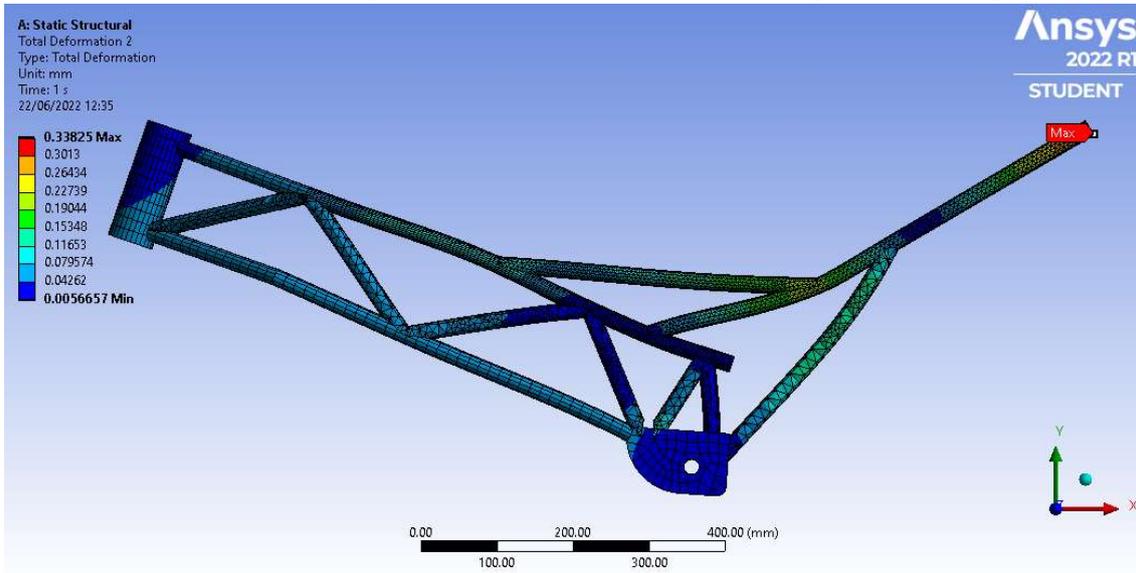


Ilustración 59: Resultados de deformaciones frente a la carga vertical (mm).

Las deformaciones que sufre la estructura se localizan en la zona de aplicación de las cargas, la máxima se sitúa en la misma posición que en la simulación anterior, pero sobre este punto no se aplica ninguna carga, por lo que no es una deformación real que pueda romper o deformar la estructura. Las deformaciones en la estructura y en las zonas de aplicación de las cargas son muy aceptables ya que la estructura se deforma poco más de 0.3 milímetros e incluso menos en los puntos que soportan las cargas.

8.2.1.2. Resultado de las tensiones equivalentes en MPa al aplicar las cargas:

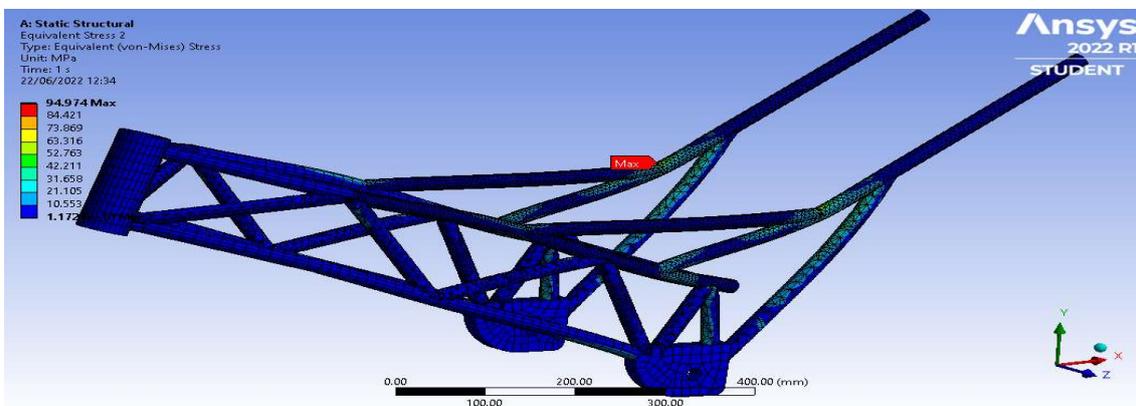


Ilustración 60: Resultados de tensiones equivalentes frente a la carga vertical (MPa).

Las tensiones máximas se encuentran en la zona de aplicación de las cargas, estas tensiones serán mayores en la simulación realizada en el presente proyecto en comparación a las pruebas que se realizarán en competición, a causa del método de aplicación de la carga, el cual ya se ha explicado y comentado.

8.2.1.3. Resultado del factor de seguridad al aplicar las cargas:

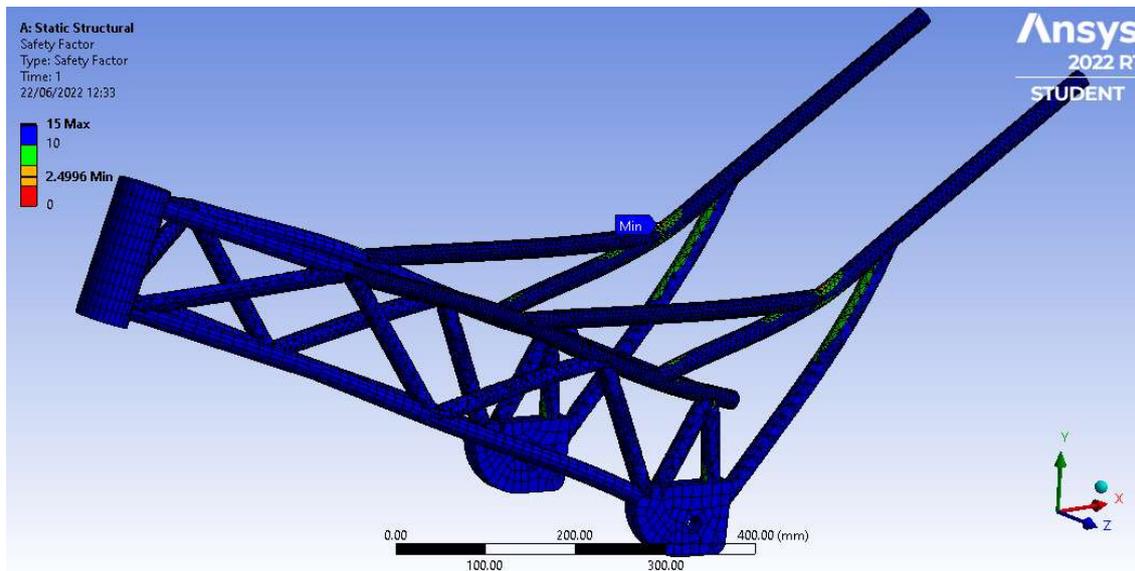


Ilustración 61: Resultados del factor de seguridad frente a la carga vertical.

El resultado del factor de seguridad es muy favorable ya que el mínimo valor es muy cercano a 2.5, y se podría llegar a la conclusión de la que la estructura esta sobredimensionada, pero como se ha podido comprobar en la prueba anterior, la estructura requiere de mayor rigidez para poder soportar todas las pruebas correctamente.

Al realizar las simulaciones y comprobar los resultados obtenidos, se puede llegar a la conclusión de que la estructura en ciertas zonas sufre deformaciones y tensiones puntuales. En la segunda prueba se observan dos zonas principalmente afectadas por la carga. Una de estas es la zona donde se aplica la carga, ya que sufre ciertas deformaciones y tensiones, pero como se ha comentado esta simulación es mucho más perjudicial que la real ya que la carga no se aplica de forma puntual, sino que se aplica sobre una superficie mayor.



Ilustración 62: Prueba estática de carga vertical con detalle del punto de aplicación de la carga.

Observando las zonas afectadas las tensiones máximas alcanzadas no superan los 100 MPa, por lo que la estructura resiste correctamente los esfuerzos incluso realizando la prueba más exigente de lo que realmente lo es. La estructura resiste correctamente y sufre unas deformaciones muy aceptables ya que no sobrepasar el medio milímetro de deformación en ninguna zona.

Una de las principales zonas afectadas por la simulación son las señalizadas en la siguiente ilustración 63. Como se puede comprobar las tensiones en estas zonas no son muy elevadas, por lo que no sería necesario utilizar un acero de alta resistencia para poder sobrepasar la prueba, ni sería necesario aplicar ningún refuerzo ni mejora.

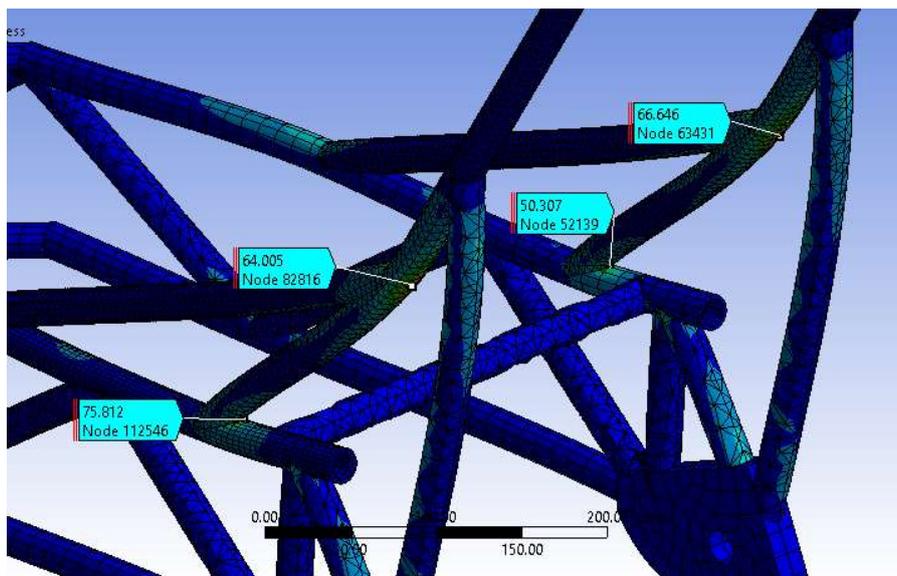


Ilustración 63: Tensiones máximas en la estructura al aplicar la carga vertical (MPa).

8.3. Mejoras del diseño final

Una vez ya se han realizado las pruebas estáticas sobre la estructura del chasis seleccionadas se puede observar que la primera prueba es muy exigente y genera unas tensiones y deformaciones muy elevadas en la estructura. Estos resultados obtenidos se deberán mejorar para que la estructura resista mejor las pruebas y para poder asegurar un mejor factor de seguridad sin tener que recurrir a un acero de elevada resistencia mecánica.

Una de las principales zonas afectadas que requieren mejoras en la estructura es la zona mostrada en la ilustración 55. Un ejemplo de posible mejora a aplicar para mejorar la distribución de tensiones es la alternativa de eliminar las uniones en vértices y doblar los tubos para lograr unas pequeñas curvaturas en la zona. En las siguientes imágenes se observan las diferencias en la estructura.

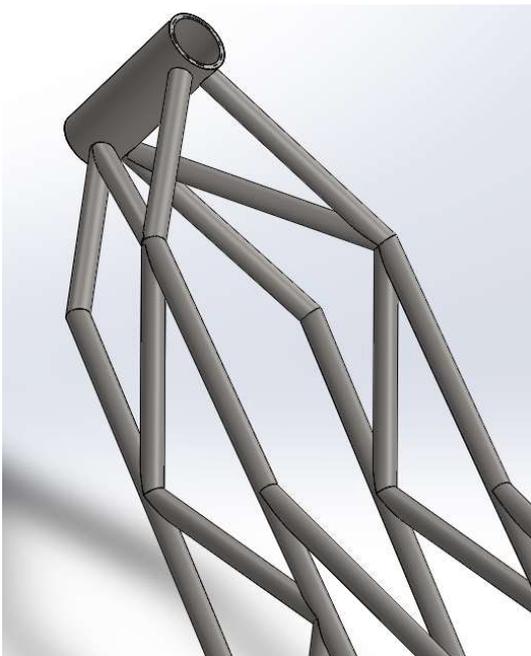


Ilustración 65: Primera versión del chasis seleccionado sin ninguna mejora.

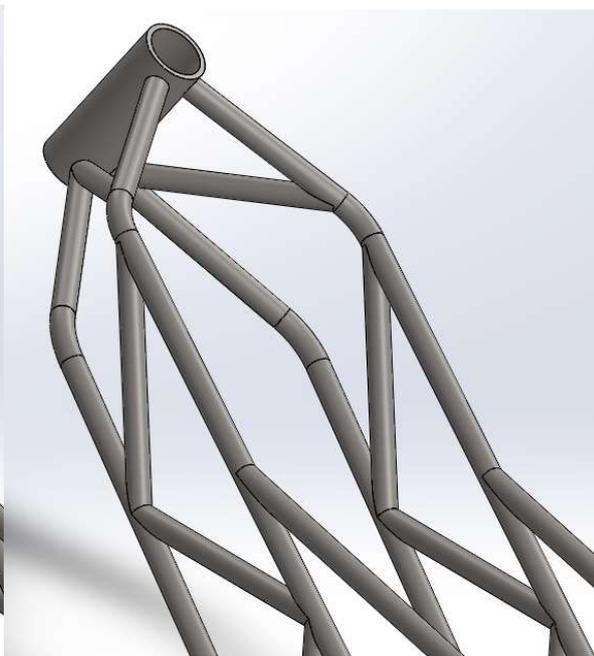


Ilustración 64: Estructura del chasis tras aplicar la primera mejora.

Al realizar las observaciones de las simulaciones en todas las superficies del chasis se determina que las piezas macizas del chasis están sobredimensionadas y aportan un peso extra a la superficie. Se deberá realizar una mejora en la zona reduciendo su tamaño y espesor, ya que era excesivo para las tensiones que sufrirá la pieza en las pruebas.

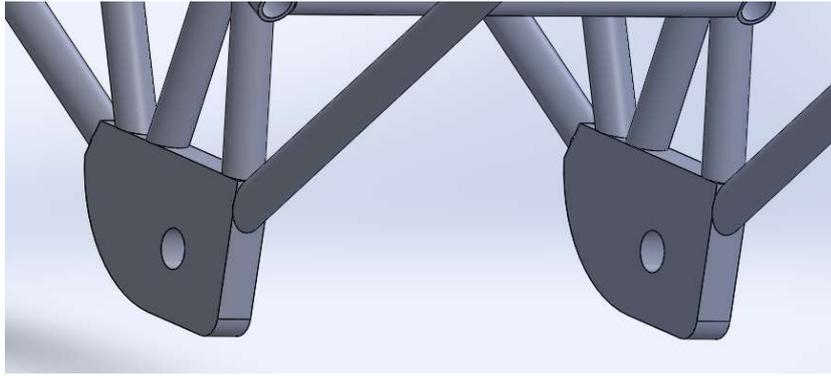


Ilustración 66: Estructuras macizas originales del primer diseño seleccionado.

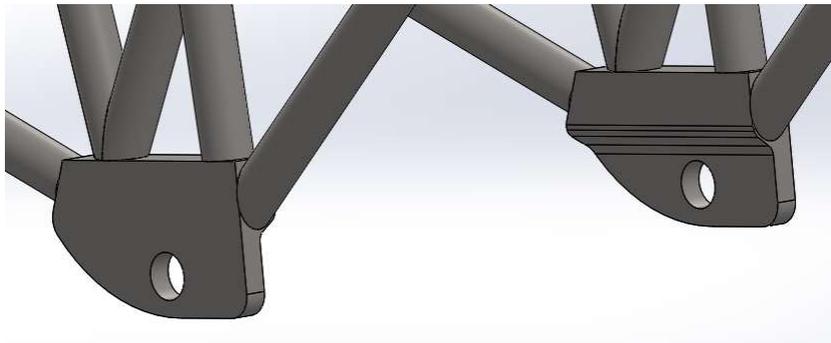


Ilustración 67: Estructuras macizas tras aplicar la mejora de diseño.

Las dimensiones y geometría del chasis no varían en los dos modelos anteriormente presentados, pero mediante un estudio estático estructural se podrá determinar cuál de las dos versiones de la estructura se comporta mejor frente a las pruebas y esfuerzos que se realizarán en la competición.

Otra modificación que se realiza al modelo estructural es más bien para ajustar el diseño a la normativa, ya que como se indica en la ilustración 11 los modelos con diseño de celosía deben unir perfectamente los perfiles. Por lo que se realiza una pequeña modificación añadiendo más perfiles en la estructura y más juntos. Gracias a las simulaciones se puede observar cómo al juntar más los perfiles y generar uniones con ángulos más cerrados, las uniones se generan mejor y no se concentran tantas tensiones en las uniones.

Se procederá a la simulación de la estructura mejorada, para poder comparar resultados y observar si requiere de nuevas mejoras o modificaciones en su estructura. Si los resultados obtenidos en las simulaciones son positivos y mejoran los obtenidos anteriormente sin necesidad de aplicar más modificaciones, se procederá a la simulación de las pruebas dinámicas.

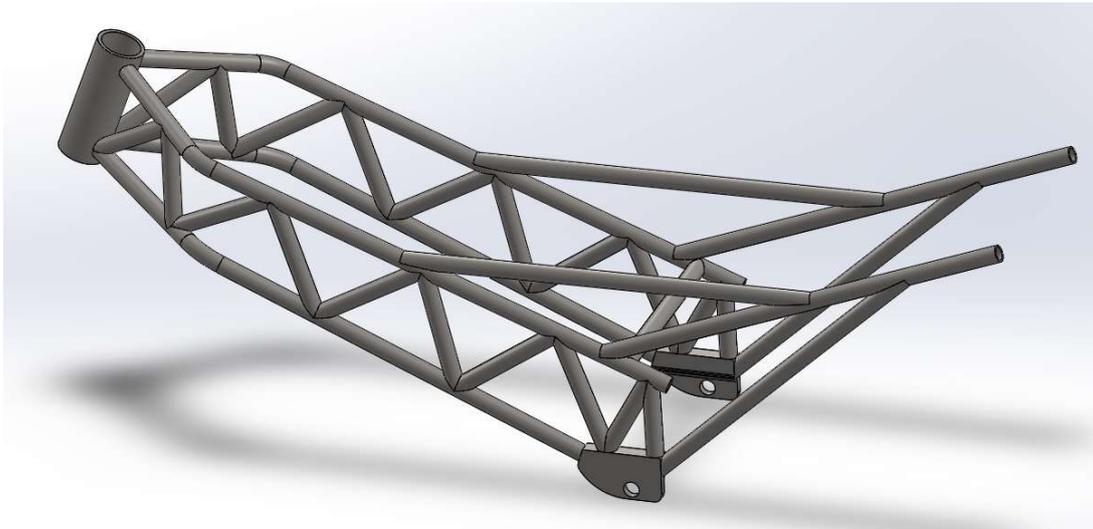


Ilustración 68: Modelo de chasis a simular tras aplicar las modificaciones.

8.3.1. Resultados tras aplicar las mejoras

Se realizarán los mismos ajustes en el programa para configurar correctamente las pruebas, ya que se repetirán sin variar ninguna carga ni sujeción para poder observar correctamente el comportamiento de la estructura y poder comparar los resultados con los anteriores.

8.3.1.1 Prueba estática. Carga horizontal

8.3.1.2.1. Resultado de la deformación total en milímetros al aplicar las cargas:

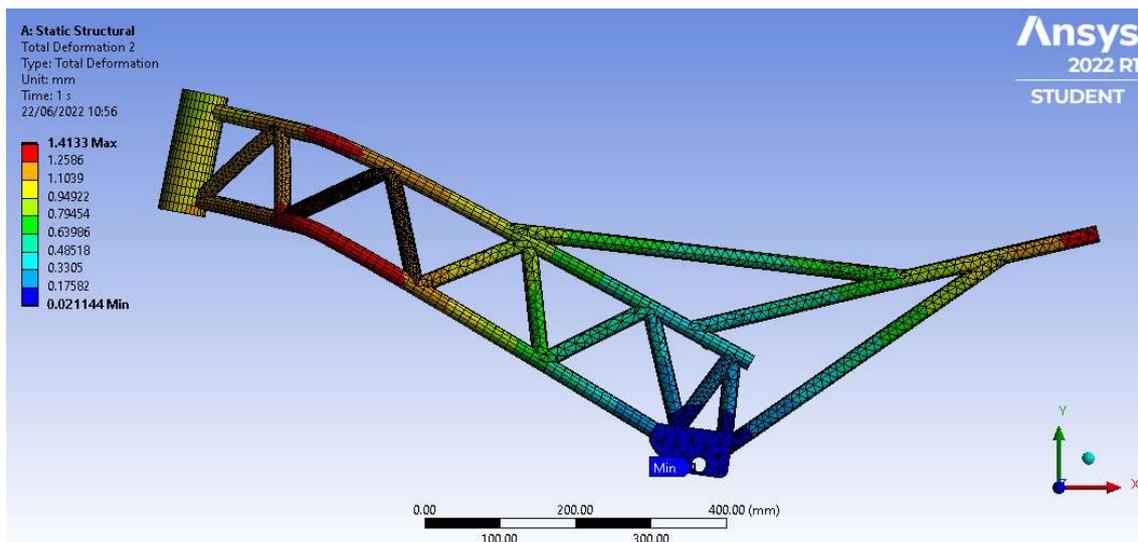


Ilustración 69: Resultados de las deformaciones frente a la carga horizontal (mm).

Observando la estructura se encuentran valores que no superan el 1,5 mm. Estas deformaciones son aceptables teniendo en cuenta las cargas que se aplican, y se podrán

rebajar fabricando la estructura con un acero más resistente que el utilizado para las simulaciones. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos al simular la estructura sin mejoras, cabe destacar que las deformaciones han disminuido pero no excesivamente, pero si se observa una deformación mas homogena y no tan concentrada en una zona.

8.3.1.2.2. Resultado de las tensiones equivalentes en MPa al aplicar las cargas:

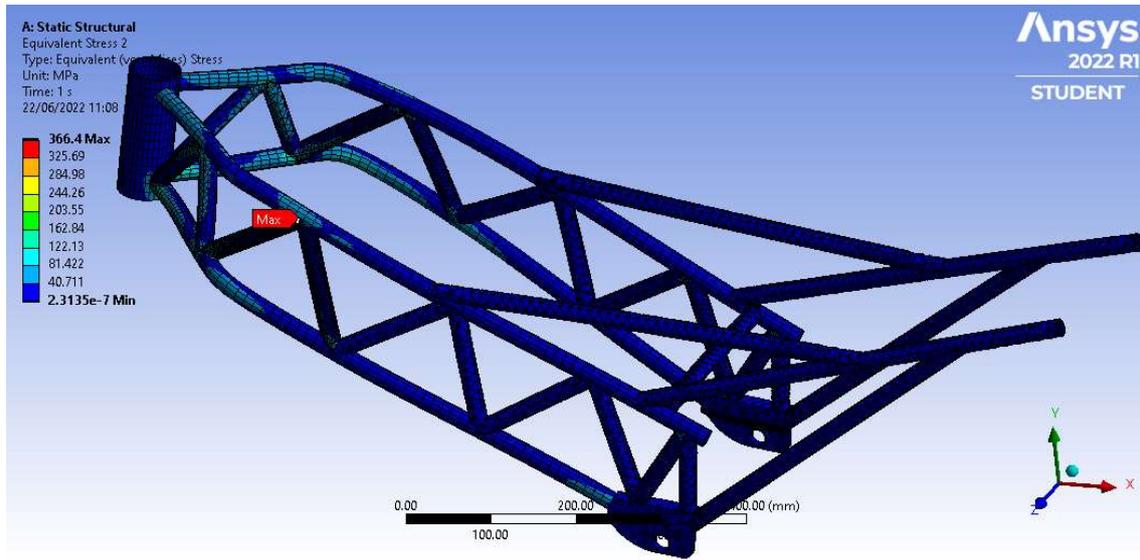


Ilustración 70: Resultados de tensiones equivalentes frente a la carga horizontal (MPa).

El resultado de las tensiones es muy similar al obtenido sin aplicar las mejoras, pero las tensiones máximas no se concentran en las mismas zonas que en las simulaciones anteriores sin aplicar mejoras estructurales. Si se contemplan las zonas más afectadas o que sufrían mayores tensiones en el modelo anterior se encuentran tensiones máximas mucho menores a las anteriores.

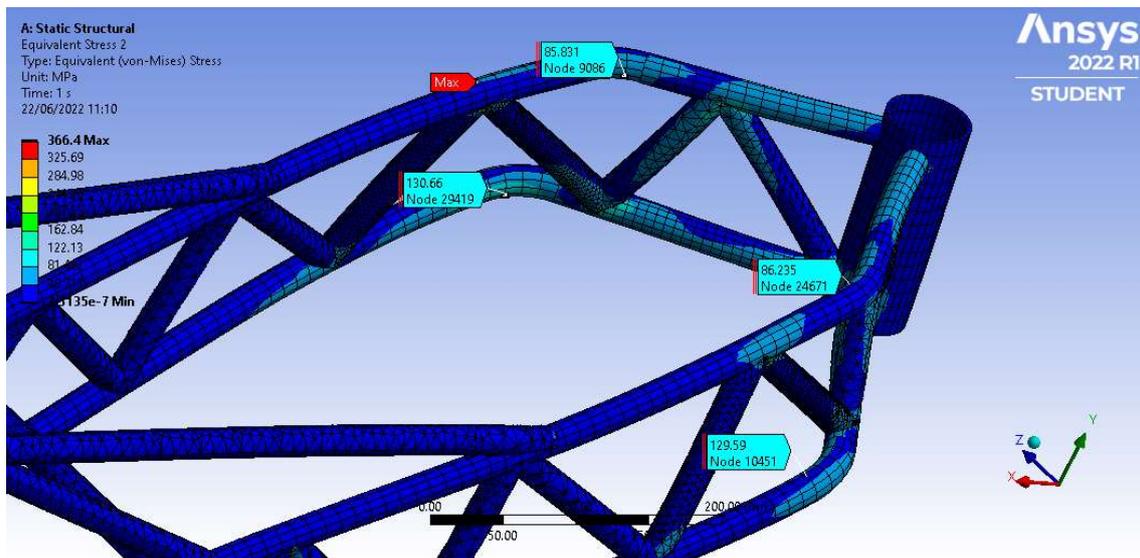


Ilustración 71: Máximas tensiones en las zonas mejoradas de la estructura.

Como se observa en la imagen anterior, las tensiones localizadas en las zonas de interés son mayores en el modelo de chasis con vértices, por lo que se puede llegar a la conclusión de que la mejor opción para la estructura del chasis es la segunda, ya que soporta los esfuerzos distribuyendo mejor las cargas y elimina unas zonas de máxima tensión donde la estructura puede sufrir una rotura.

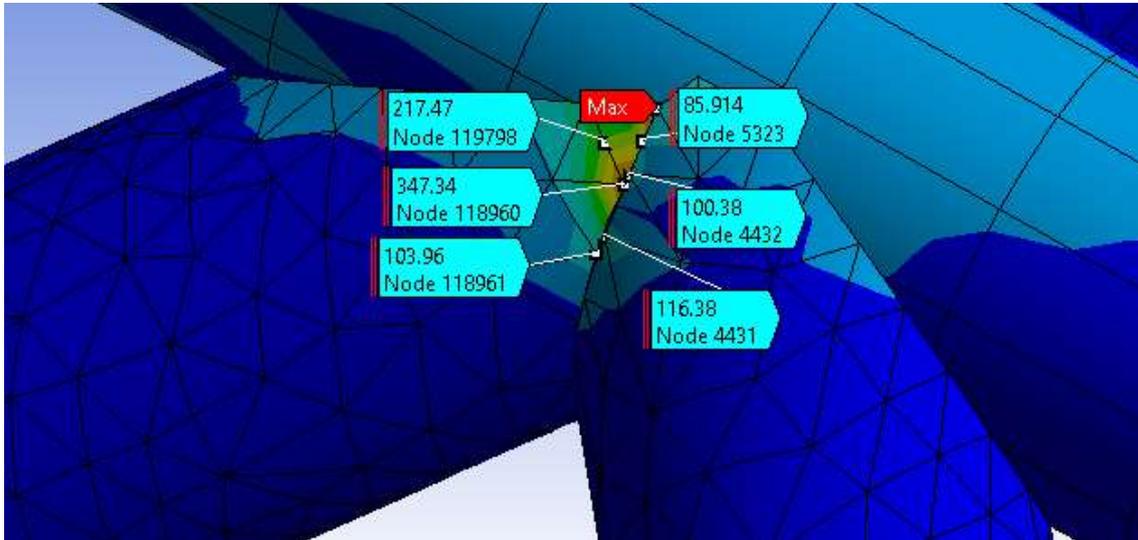


Ilustración 72: Detalle de las tensiones máximas sufridas por la estructura en la prueba de la prensa horizontal.

Tal y como muestra la ilustración, las tensiones máximas señalizadas por la estructura son causadas por concentradores de tensión situados en las uniones de los perfiles. Estos puntos de máximas tensiones son causados por un error de mallado en las uniones, ya que por limitación de la licencia de estudiante no se permite realizar un mallado más preciso y de menor tamaño. Al observar las tensiones de alrededor y la variación entre las tensiones de un perfil y el otro, se puede afirmar el error de mallado ya que la zona afectada es muy puntual y solo con observar las tensiones cercanas se encuentra una gran disminución de las mismas. Al igual que se observa como los perfiles cercanos o la estructura de alrededor no sufre unas tensiones tan elevadas a causa de las cargas aplicadas.

8.3.1.2.3. Resultado del factor de seguridad al aplicar las cargas:

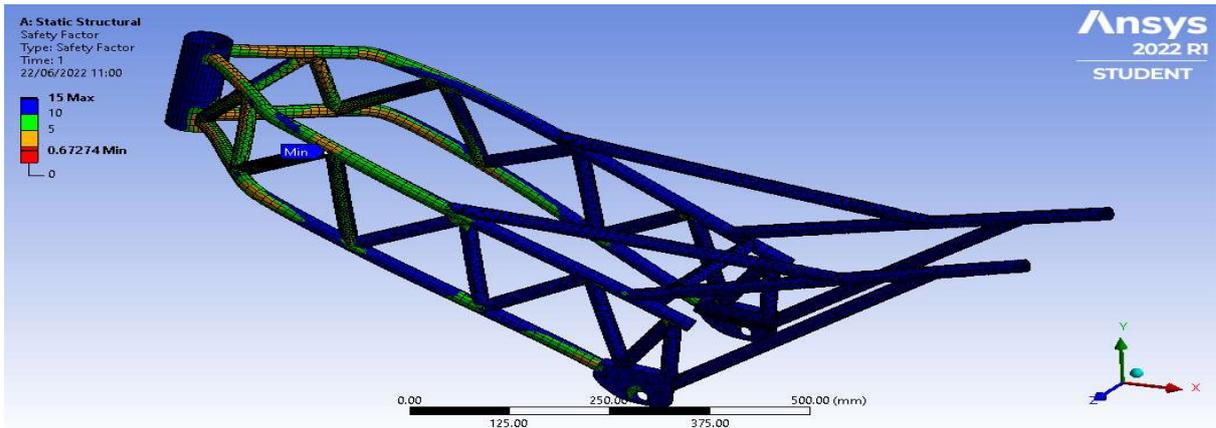


Ilustración 67: Resultados del factor de seguridad frente a la carga horizontal.

En cuanto a los resultados del factor de seguridad, se puede observar como las zonas en color naranja son menores en este modelo de chasis en comparación con el anterior. Si se observa con detalle el valor del factor de seguridad, éste es superior a 1.5 en la mayor parte de la estructura, lo que garantiza que la estructura soporta correctamente. Para las zonas con valores más cercanos a 1 o incluso inferiores se deberá mejorar el valor mediante el uso de un acero de mayor resistencia, ya que la estructura no se puede reforzar y mejorar mucho más sin cargar más perfiles para no aumentar considerablemente su peso final ni desaprovechas espacio útil.

8.3.1.3. Prueba estática. Carga vertical.

8.3.1.3.1. Resultado de la deformación total en milímetros al aplicar las cargas:

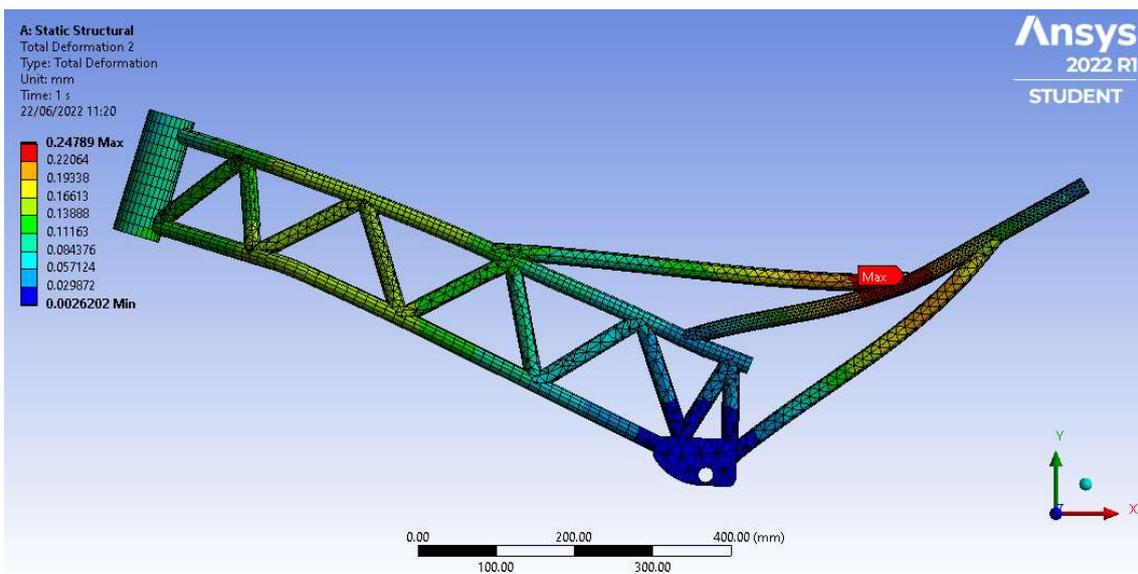


Ilustración 73: Resultados de las deformaciones frente a la carga vertical (mm).

La deformación total de la estructura es menor gracias a añadir más perfiles en el interior de la estructura, esta deformación es muy pequeña por lo que las mejoras han reforzado la estructura y se puede decir que soporta correctamente las cargas verticales sin necesidad de ninguna mejora ni modificación del material.

8.3.1.3.2. Resultado de las tensiones equivalentes en MPa al aplicar las cargas:

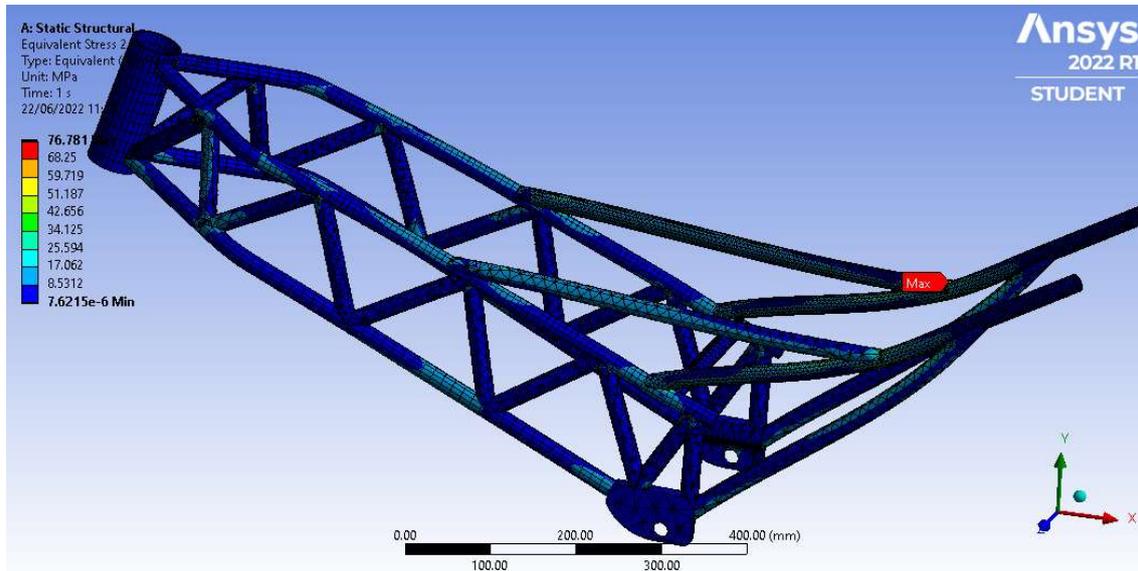


Ilustración 74: Resultados de las tensiones equivalentes frente a la carga vertical (MPa).

Las tensiones máximas se localizan en el punto de aplicación, pero los valores alcanzados son relativamente bajos y muy aceptables para el acero y la estructura. Si se observan las zonas más afectadas sin tener en cuenta la zona de aplicación de la carga, los valores de las tensiones son considerablemente menores a los que se obtenían al simular la estructura sin las mejoras, por lo que se recalca una vez más el gran beneficio que aportan las modificaciones a la estructura.

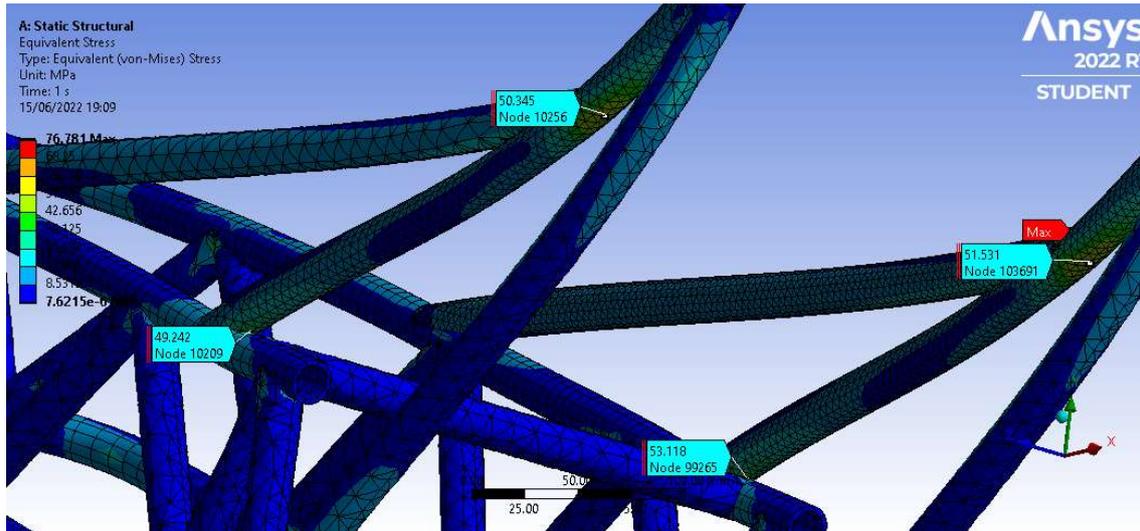


Ilustración 75: Tensiones máximas localizadas en la estructura tras aplicar la carga vertical.

La comparación entre cargas máximas de la estructura se puede observar fácilmente en la imagen 63 y la imagen 75.

8.3.1.3.3. Resultado del factor de seguridad al aplicar las cargas:

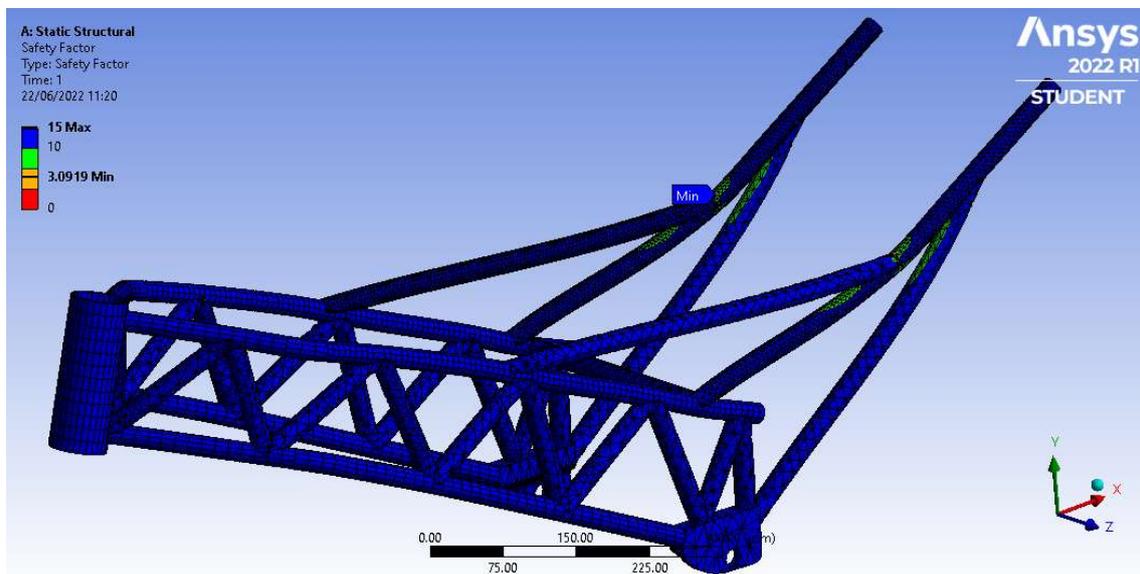


Ilustración 76: Resultados del factor de seguridad frente a la carga vertical.

El valor del factor de seguridad tras aplicar la carga vertical es un valor muy por encima de 1, por lo que la estructura resistirá correctamente la prueba sin peligro a rotura.

Una vez realizadas las pruebas estáticas en el chasis y observado que la estructura resiste correctamente tras aplicar las mejoras necesarias, se procederá al estudio de las pruebas dinámicas para comprobar que en estas situaciones la estructura resiste correctamente.

8.4. Pruebas dinámicas

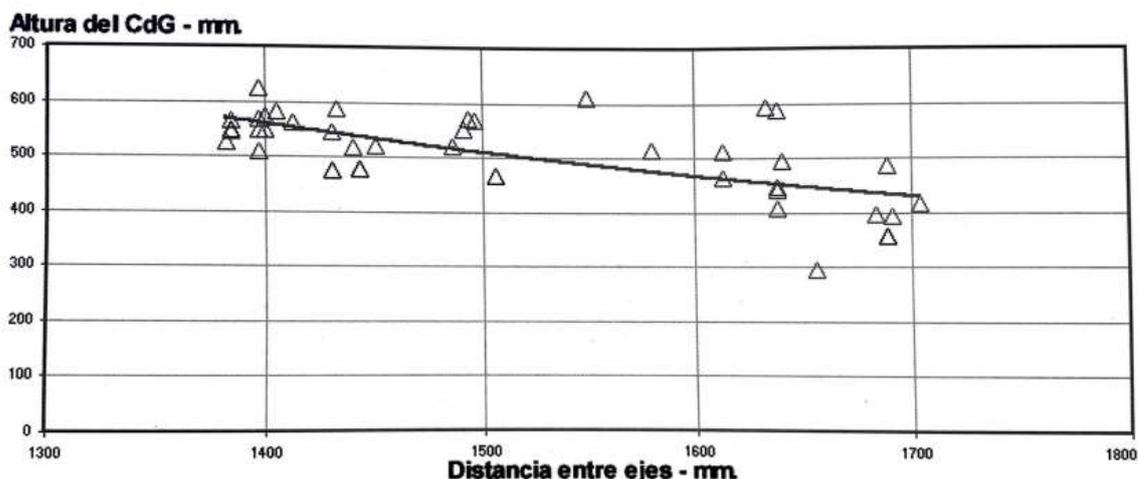
Estas pruebas simulan los esfuerzos máximos que puede llegar a experimentar la estructura en todas sus fases de la conducción. Estos esfuerzos son ocasionados principalmente por las transferencias de carga que se producen en las aceleraciones, cambios de sentido o frenadas.

Para realizar el estudio dinámico lo más realista posible se deberán de tener en cuenta todos los pesos de los componentes de la motocicleta, de la propia estructura y del piloto. Con estas cargas se podrían simular las pruebas, pero se necesitaría localizar correctamente el punto de aplicación de la carga en cada situación, por lo que para facilitar las simulaciones y los cálculos se escogerá el punto de gravedad combinado, entre la motocicleta y el piloto para aplicar todas las fuerzas y así simular las transferencias de carga.

- **Disposición del centro de gravedad:**

Para localizar el punto de gravedad, como todavía no son conocidos todos los componentes de la motocicleta como por ejemplo las baterías o el sistema de refrigeración, no se podrá calcular el centro de gravedad real, pero si una aproximación. Gracias a Tony Foale y a su libro “Motocicletas. Comportamiento dinámico y diseño de chasis” y gracias a la referencia del prototipo anterior, se logrará posicionar el centro de gravedad de la motocicleta.

Observando las relaciones entre la altura del centro de gravedad y la distancia entre ejes de las motocicletas de fabricación, se posicionaría el prototipo cerca de 1400 mm de distancia entre ejes, distancia que comparte con muchos modelos de motocicletas.



*Ilustración 77: Relación entre la altura del centro de gravedad y la distancia entre ejes.
Tony Foale, Motocicletas.*

La altura de referencia del centro de gravedad se encuentra entre 500 y 600 milímetros según los valores obtenidos comparando modelos de todo tipo de motocicletas.

Si se observa el prototipo anterior, se localiza un centro de gravedad cercano a los 550 milímetros de altura, con una distancia entre ejes de 1430 mm. Por lo que se puede coger como referencia una altura de 550 o un poco superior al tener en cuenta que el nuevo prototipo es un poco más corto entre ejes, y por lo general esto hace que el centro de gravedad suba.

Para terminar de confirmar la suposición de la altura del centro de gravedad se observará la siguiente tabla, en la cual se indica la relación entre la altura del centro de gravedad y la distancia entre ejes de cada uno de los modelos de motocicleta usados para realizar el estudio.

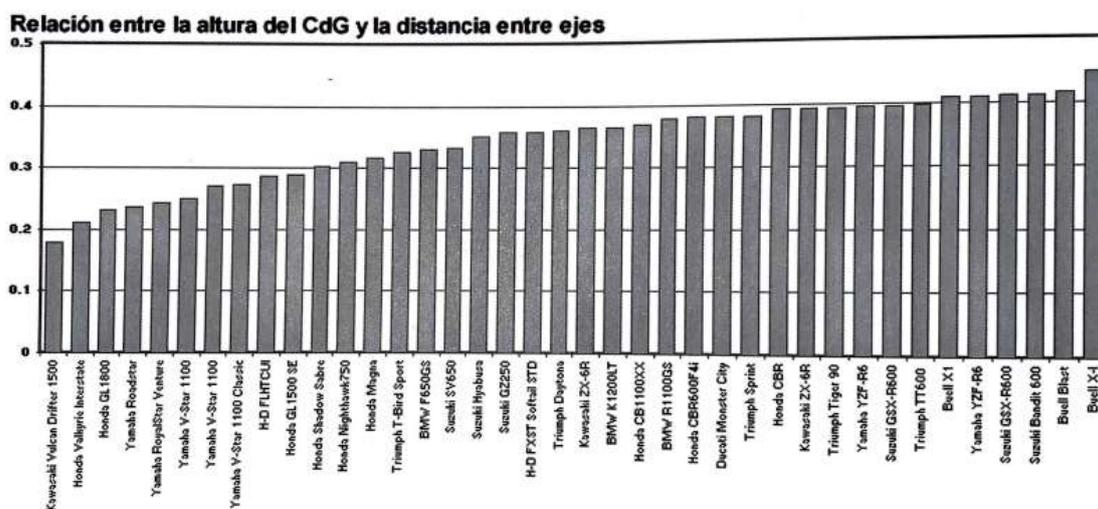


Ilustración 78: Valores de relación entre los parámetros de cada modelo de motocicleta. Tony Foale, Motocicletas.

Con una altura de 550 mm la relación del prototipo será de 0.39, valor muy cercano a modelos como la Suzuki GSX-R600 o la Honda CBR. Modelos de motocicletas deportivas y de unas dimensiones y pesos similares al prototipo desarrollado, por lo que se puede afirmar que la altura del centro de gravedad es correcta y muy similar a la que finalmente tendrá la motocicleta.

En cuanto a la posición del centro de gravedad, se debe indicar que anteriormente se buscaba lograr un reparto de masas equitativo para las dos ruedas, 50% de la carga en cada rueda, pero se descubrió que incrementar el peso en la rueda delantera para motocicletas deportivas mejoraba la estabilidad y respuesta de la dirección. Este incremento de peso en la rueda delantera se encuentra entre el 55% y 50%.

Teniendo en cuenta que si se aumenta el peso en la rueda delantera la estructura del chasis soportaría más cargas, se decide adelantar el centro de gravedad hasta un 5% de la distancia entre ejes para aplicar mayor carga de la motocicleta en la rueda delantera y así adelantar el centro de gravedad para realizar las simulaciones lo más exigentes posibles para la estructura. Finalmente, el centro de gravedad será simulado a una altura de 550 mm y una distancia de 634.5 mm desde la rueda delantera.



Ilustración 79: Centro de gravedad del prototipo.

Tras localizar el centro de gravedad de la motocicleta, se podrán realizar las simulaciones dinámicas aplicando las cargas de la motocicleta sobre este punto y añadiendo la carga del piloto, ya que de esta forma se podrán estudiar los casos de forma más real y exigente para la estructura. Si la estructura resiste las cargas y no sufre excesivas deformaciones se podrá concluir afirmando que la estructura es resistente y válida para su fabricación y utilización en la séptima edición del campeonato MotoStudent.

Para las simulaciones se utilizará un peso de la motocicleta de 180 kg, debido a que la moto anterior alcanzaba un peso de 150Kg. De esta forma al aplicar un coeficiente de seguridad de 1.2 se alcanzan los 180 kilogramos mencionados. La carga total a aplicar será la suma del peso de la motocicleta 180Kg junto al peso del piloto 70Kg, por lo que finalmente se aplicará una carga:

$$W = (m_{moto} + m_{piloto}) * g$$
$$W = (180 + 70) * 9.81 = 2452.5 N$$

8.4.1. Frenada Máxima

Una de las principales pruebas dinámicas que se realizan en la competición y que experimentará la motocicleta en conducción es la frenada máxima. En competición se realiza una prueba en la que se debe alcanzar los 80 Km/h y frenar en la menor distancia posible, pero en competición se alcanzan velocidades mucho más altas y se debe frenar muy fuerte para lograr un buen tiempo por vuelta. Por este motivo se realizará un cálculo de desaceleración de la moto de la pasada edición, la cual logró la mejor frenada y por tanto, la más exigente para la estructura, y para confirmar que la estructura resiste se aplicará un coeficiente de seguridad de 1,2.

El prototipo que alcanzó la mejor puntuación logró frenar la motocicleta desde 85 Km/h hasta 0 Km/h en 28.8 m. Para obtener la fuerza de desaceleración que experimentó el prototipo se resolverá con las siguientes ecuaciones:

$$85 \text{ km/h} = 23.61 \text{ m/s}$$

$$x = x_0 + v_0 * t + \frac{1}{2} * a * t^2$$
$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

$$28.8 = 0 + 23.61 * t + \frac{1}{2} * a * t^2$$
$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{-V_i}{t}$$

Al despejar las incógnitas los resultados son los siguientes:

$$t = 2.4396 \text{ s} \qquad a = -9.6778 \text{ m/s}^2$$

Si se aplica el coeficiente de seguridad, la aceleración de máxima frenada será la siguiente:

$$a = 9.6778 \text{ m/s}^2 * 1.2 = 11.61336 \text{ m/s}^2$$

Con la aceleración a la que se realizará la deceleración calculada, tan solo faltaría calcular la fuerza que sufrirá el prototipo en el centro de aplicación de la carga, en este caso el centro de gravedad.

$$F = m * a \rightarrow F = 250Kg * 11.61336 \frac{m}{s^2} = 2903.34 \text{ N}$$

Simulación

Para la realización de la simulación se deberá aplicar esta fuerza resultante en el centro de gravedad, como también se deberá aplicar un “Cylindrical support” en los agujeros del anclaje del basculante, y se deberá aplicar una restricción de movimiento en el perfil que simula la horquilla de suspensión. La restricción de movimiento se aplicará mediante el componente “Fixed Support”, el cual no permitirá el desplazamiento del perfil y simulará como si la rueda delantera estuviera parada. Esta simulación será lo más exigente posible ya que simularía un levantamiento de la rueda trasera y por tanto una mayor carga y deformaciones en el chasis.

Resultados

8.4.1.1. Resultado de la deformación total en milímetros al aplicar las cargas:

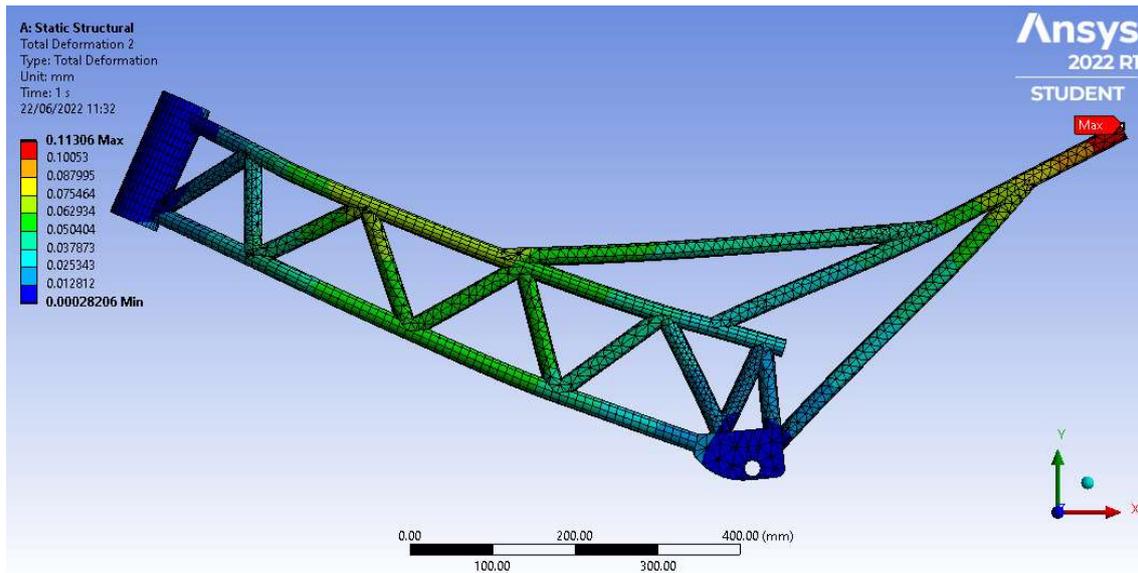


Ilustración 80: Resultados de las deformaciones frente a las cargas de frenada máxima (mm).

Las cargas aplicadas sobre la estructura en el centro de gravedad alcanzan valores máximos levemente superiores a 0.1 milímetros de deformación. Como se puede observar esta deformación se encuentra en el extremo del subchasis, esta deformación no afecta a la estructura y no es significativa, porque la deformación señalizada en este punto no causaría una deformación estructural. Las deformaciones estructurales relevantes, las cuales pueden significar una posible rotura o deformación, se encuentran en el centro de la estructura. En las zonas verdes o incluso amarillas de los perfiles cercanos al centro de gravedad, ya que es el punto de aplicación de las fuerzas. Como se puede observar en estas zonas, las deformaciones son muy bajas, por lo que la estructura resiste correctamente los esfuerzos en una frenada fuerte.

8.4.1.2. Resultado de las tensiones equivalentes en MPa al aplicar las cargas:

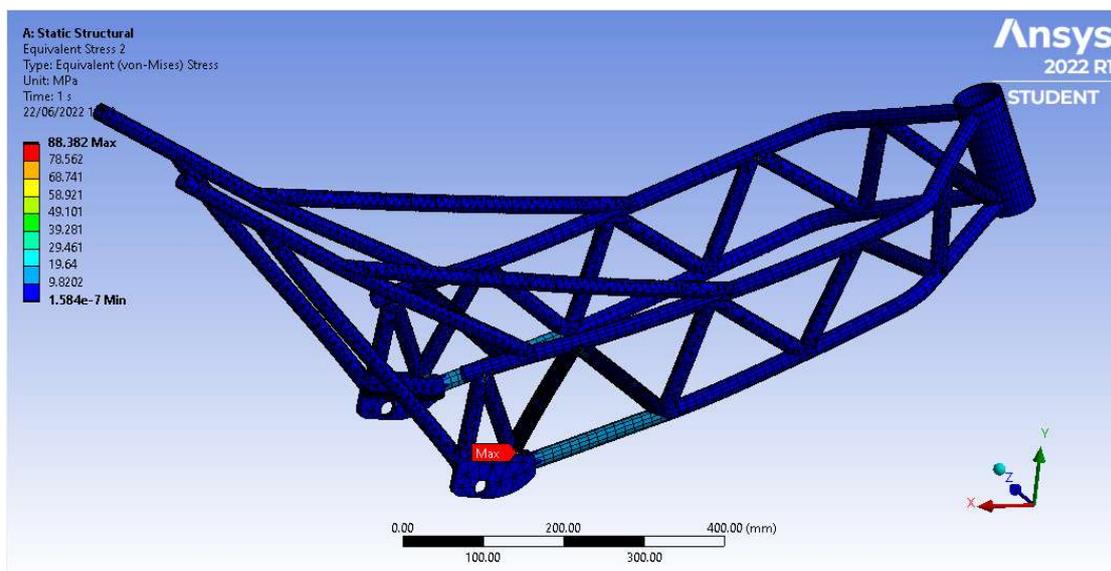


Ilustración 81: Resultados de las tensiones equivalentes frente a las cargas de frenada máxima (MPa).

Las tensiones máximas que soporta la estructura son muy aceptables teniendo en cuenta el valor obtenido en la simulación. Tras observar los resultados se pueden encontrar pequeños concentradores de tensiones, pero sin llegar a causar grandes valores de tensiones. Estos concentradores se localizan en las uniones de los perfiles con las piezas macizas de la parte final del chasis. En la siguiente ilustración se observan en detalle.

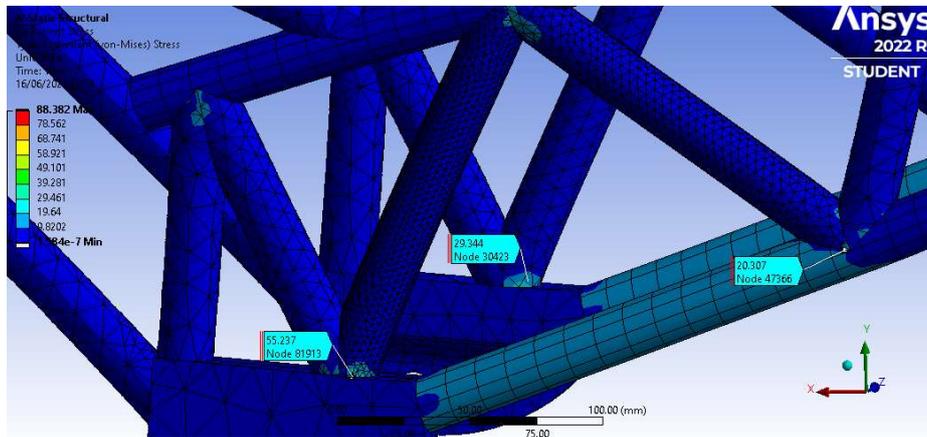


Ilustración 82: Tensiones localizadas tras el estudio de la frenada máxima (MPa).

Las principales zonas afectadas por concentraciones de tensiones se encuentran en las uniones de los distintos elementos que conforman el chasis. Tras observar la estructura se encuentran distintos valores de tensiones, para una misma zona de la estructura, pero de distinto lado. En las zonas afectadas y señalizadas se puede determinar que son las zonas donde se concentrarán las mayores tensiones como bien señala el programa de simulación, pero no se verán afectadas por tensiones muy elevadas o superiores a 100 MPa. Esto se debe gracias a la gran cantidad de refuerzos que contiene la estructura, por los cuales se repartirán correctamente las tensiones. Y también es debido a que los elevados valores obtenidos en la simulación son muy puntuales y concentrados, fruto de una mala conexión entre los mallados de las piezas, error que explica la diferencia entre los valores de una misma zona de un lado del chasis y el otro, por lo que las tensiones reales que generará la prueba sobre la estructura serán menores al valor máximo obtenido en la simulación.

8.4.1.3. Resultado del factor de seguridad al aplicar las cargas:

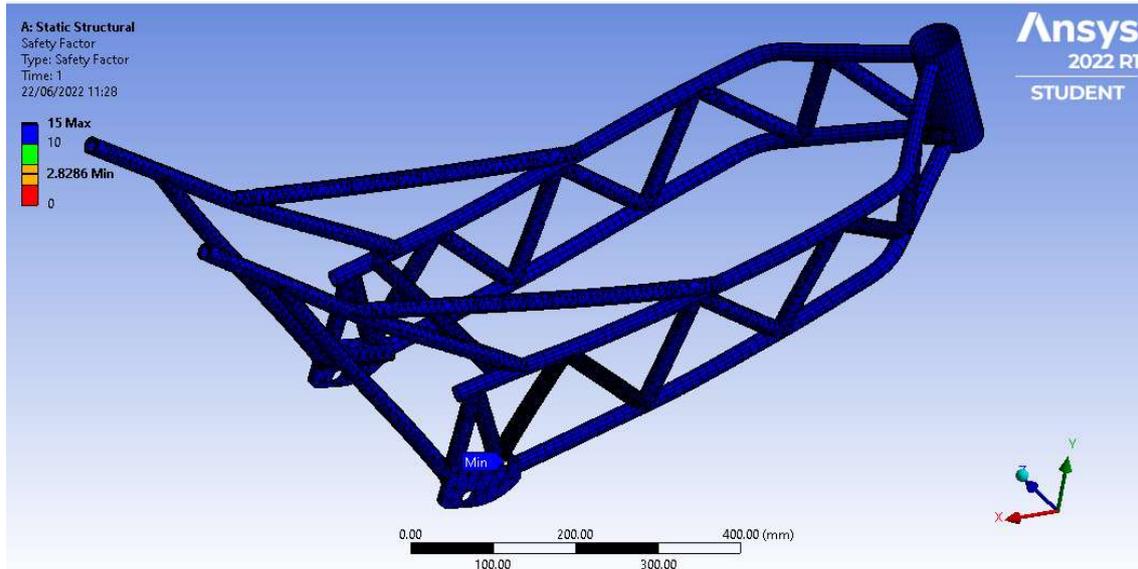


Ilustración 83: Resultados del factor de seguridad frente a las cargas de frenada máxima.

Tras observar el factor de seguridad se debe concluir el estudio afirmando que la estructura resiste correctamente las fuerzas aplicadas tras sufrir una transferencia de cargas al realizar una frenada lo más fuerte posible.

8.4.2. Paso por curva

Para realizar el estudio del paso por curva de una motocicleta se requiere de un estudio de todas las fuerzas que intervienen en la acción y depende de muchos factores como la posición del piloto en cada momento, la inclinación de la moto, la aceleración o incluso el leve giro de manillar que realice el piloto en el paso por curva.

Debido a la alta complejidad de cálculo y del estudio de fuerzas, se realizará un estudio de la fuerza centrípeta resultante y de los momentos de fuerza que actúan sobre el centro de gravedad, tal y como se ha realizado en la simulación anterior. Para el cálculo de las fuerzas en el centro de gravedad se deberán desestimar ciertas variables como el posible movimiento del piloto sobre la moto para tomar la curva, o el ángulo de giro del manillar, ya que en una curva cerrada como la que se estudiará este ángulo es muy cercano a cero.

El estudio se realizará para una curva de 60 metros de radio a 100km/h de velocidad.

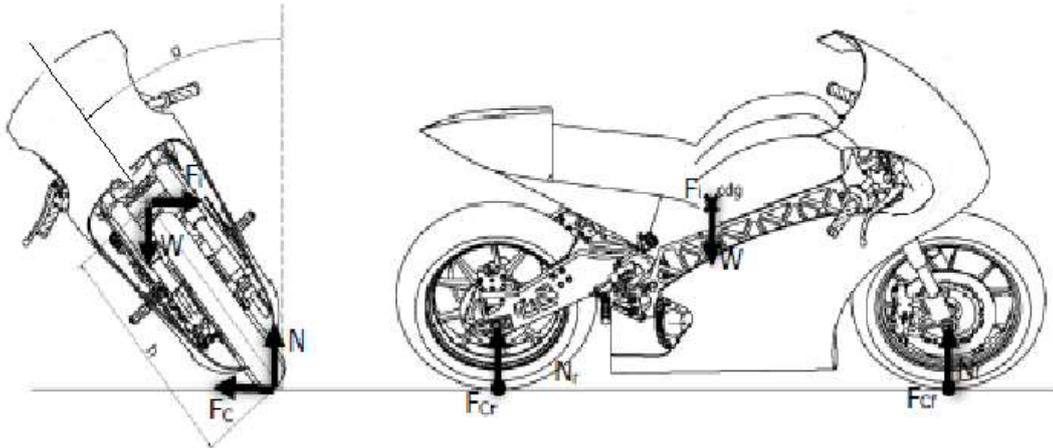


Ilustración 84: Fuerzas resultantes en el paso por curva.

El estudio del propuesto caso requiere del cálculo de las reacciones en el centro de gravedad para realizar la simulación. Para el estudio y cálculo de las fuerzas resultantes se usará la premisa de una curva de 60 metros de radio a 100 km/h.

$$v = 100\text{km/h} = 27.7 \text{ km/h}$$

La realización de los cálculos se basa en la aceleración centrípeta que experimenta un cuerpo al realizar una trayectoria circular sin variar su velocidad y por tanto manteniendo la aceleración tangencial igual a cero.

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

$$F_c = m * a_c = m \frac{v^2}{r}$$

$$F_c = (180 + 70) \frac{27.7^2}{60} = 3197.04 \text{ N}$$

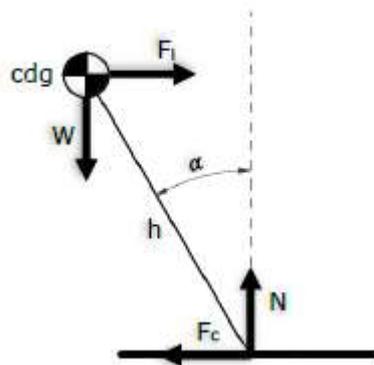


Ilustración 85: Descomposición de las fuerzas tras la inclinación de la motocicleta y del centro de gravedad.

En cuanto a la inclinación de la motocicleta, esta se calculará a partir de la fuerza centrípeta que sufre el prototipo en la hipótesis comentada.

$$\alpha = \arctan \frac{F_c}{N}$$

$$\alpha = \arctan \frac{3197.04}{250 * 9.81} = 52.5^\circ$$

Tras conocer la fuerza centrípeta y el ángulo de inclinación en el paso por curva, se descompondrán las fuerzas en los ejes Y y Z del prototipo haciendo uso de las siguientes expresiones.

$$F_z = N * \sin \alpha - F_c * \cos \alpha$$

$$F_z = 250 * 9.81 * \sin 52.5 - 3197.04 * \cos 52.5 = 0.54 \text{ N} \approx 0 \text{ N}$$

$$F_y = N * \cos \alpha + F_c * \sin \alpha$$

$$F_y = 250 * 9.81 * \cos 52.5 + 3197.04 * \sin 52.5 = 4029.37 \text{ N}$$

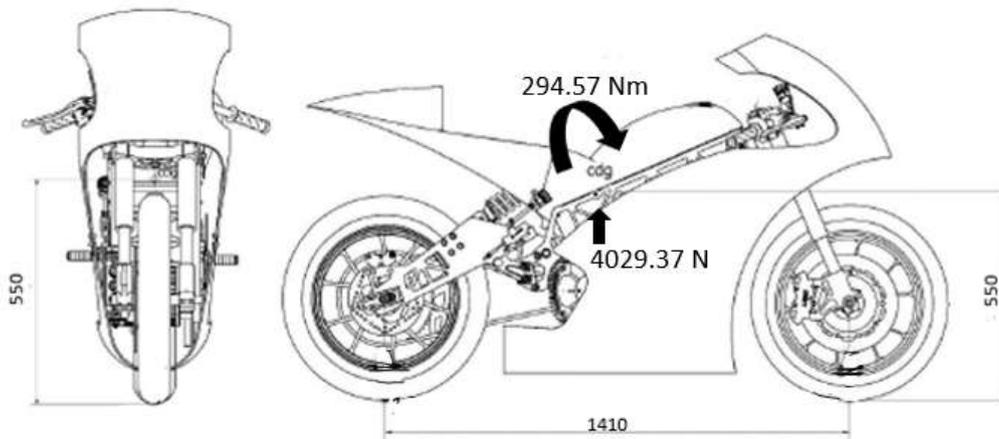
Las fuerzas descompuestas son las resultantes en el centro de gravedad de la motocicleta, estas fuerzas deberán ser aplicadas en el eje correspondiente, pero si observamos la ilustración 85 se puede analizar y extraer un sistema de ecuaciones para calcular el momento torsor que sufre el centro de gravedad y que también se debería aplicar en la estructura.

$$M_z = N * h * \sin \alpha - F_c * h * \cos \alpha$$

$$M_z = 250 * 9.81 * 550 * \sin 52.5 - 3197.04 * 550 * \cos 52.5 = -294.57 \text{ Nm}$$

El resultado del momento torsor sobre el eje Z es negativo debido a realizar el estudio tomando la curva en sentido antihorario, pero en la simulación se podrá aplicar el momento en el sentido calculado anteriormente o en el sentido contrario, ya que se estaría simulando la torción del chasis al realizar la curva en el otro sentido, y por tanto, al ser un chasis simétrico los resultados obtenidos serán los mismos pero simétricos. Las fuerzas a aplicar se dividirán en dos para poder aplicar las cargas por igual en los dos laterales del chasis justo en el punto del centro de gravedad, y así no deformar y aplicar las fuerzas en solo una mitad del chasis.

Si se pretende buscar una correcta distribución de fuerzas en la estructura se deberán aplicar las fuerzas y el momento justo en la posición del centro de gravedad, el cual se ha estudiado anteriormente y para lograr una distribución de cargas del 55% en la rueda delantera se deberá situar a 550 milímetros del suelo y a 634.5 milímetros de la rueda delantera.



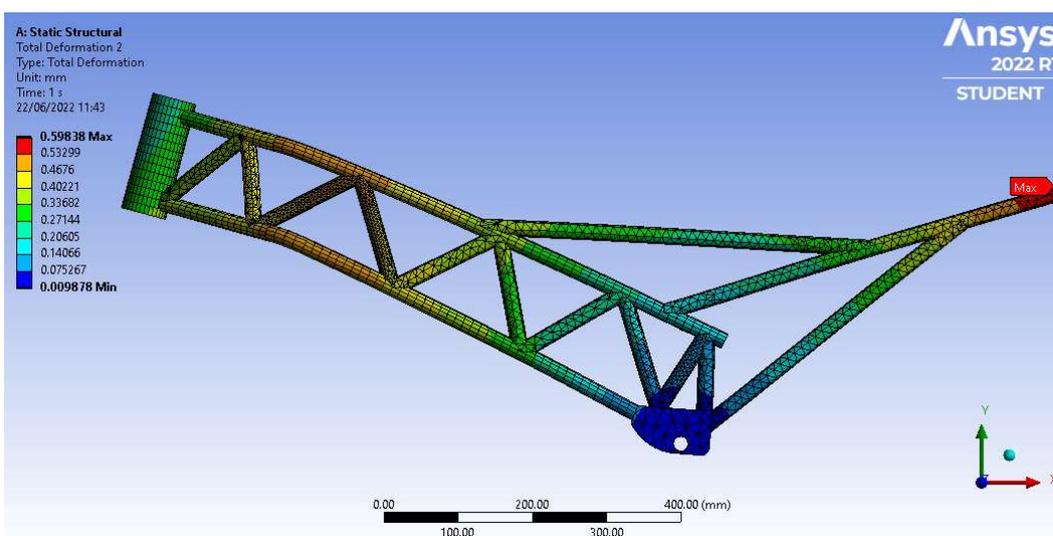
Il·lustració 86: Moments i forces resultants en el centre de gravetat al tomar una curva.

Simulació

Tras realizar el estudio de fuerzas en el paso por curva, se deberá realizar un análisis de la situación de la estructura al realizar un paso por curva, para entender y encontrar las sujeciones que se deberán aplicar a la estructura en las simulaciones. Al igual que se ha realizado en las otras simulaciones, se aplicará un “Cylindrical Support” en los agujeros de anclaje al basculante, y un “Displacement” en el perfil que sustituye a la horquilla de suspensión. De este modo, los anclajes permitirán el movimiento y deformación de la estructura soportando las cargas aplicadas. Los resultados obtenidos al simular la acción del paso por curva son los siguientes:

Resultados

8.4.2.1. Resultado de la deformación total en milímetros al aplicar las cargas:



Il·lustració 87: Resultados de las deformaciones frente a las cargas de paso por curva (mm).

8.4.2.2. Resultado de la tensión equivalente en MPa al aplicar las cargas:

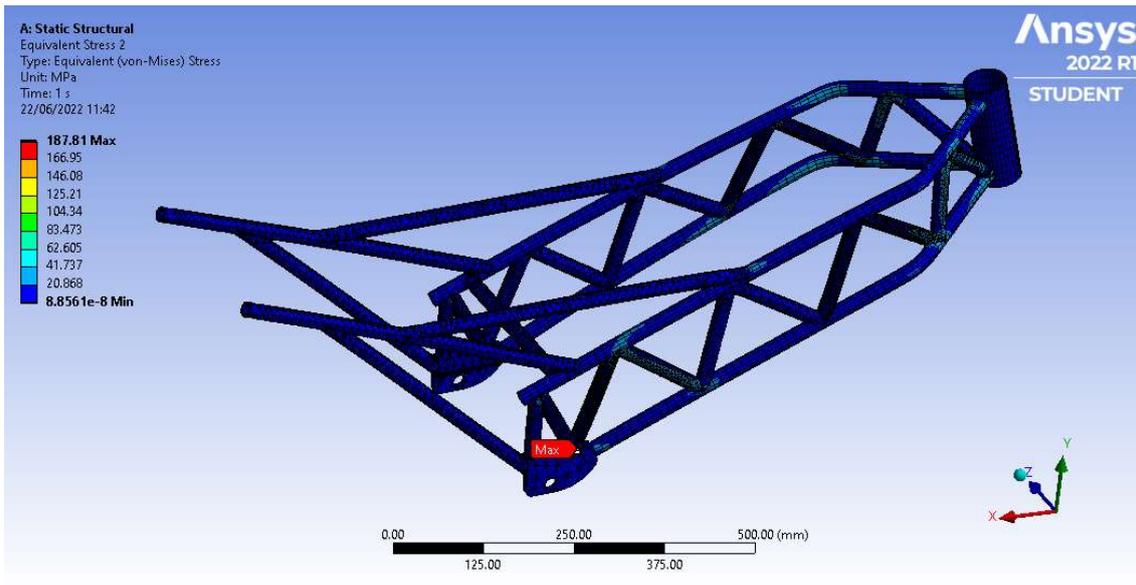


Ilustración 88: Resultados de las tensiones equivalentes frente a las cargas de paso por curva (MPa).

8.4.2.3. Resultado del factor de seguridad al aplicar las cargas:

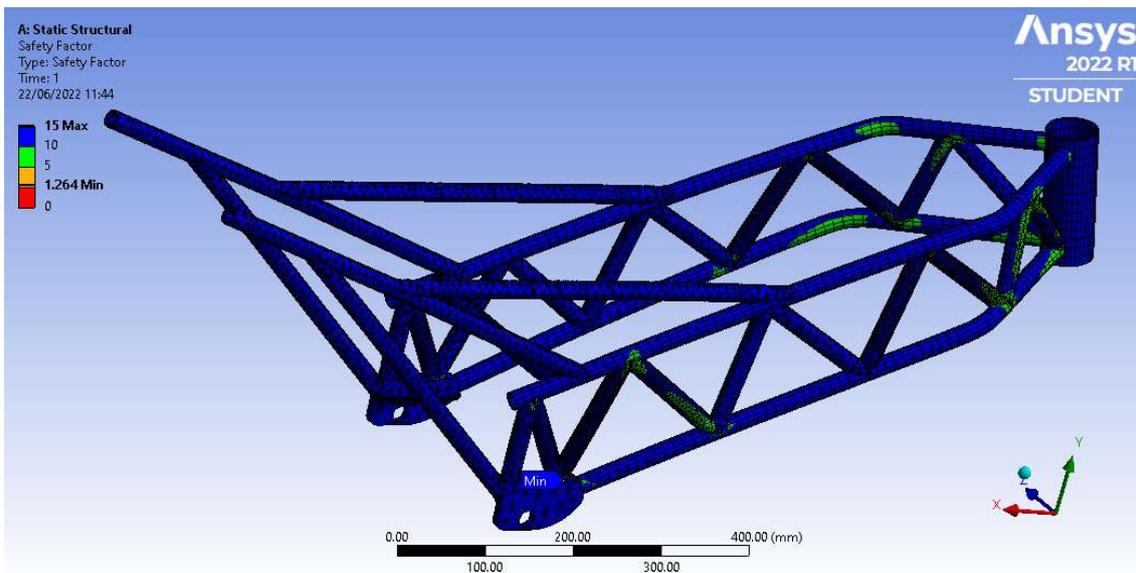


Ilustración 89: Resultados del factor de seguridad frente a las cargas de paso por curva.

Los resultados obtenidos afirman la correcta rigidez del chasis, y no se encuentra ninguna deformación ni tensión excesiva en ningún punto que requiera una mejora. Las tensiones máximas resultantes sí que son un poco excesivas, ya que al observar la estructura en detalle se encuentran los valores de tensiones máximas en una zona muy puntual, sin afectar a los dos laterales de la estructura por igual, teniendo en cuenta que las cargas se han distribuido por igual y ser un chasis simétrico se deberían distribuir las cargas por igual.

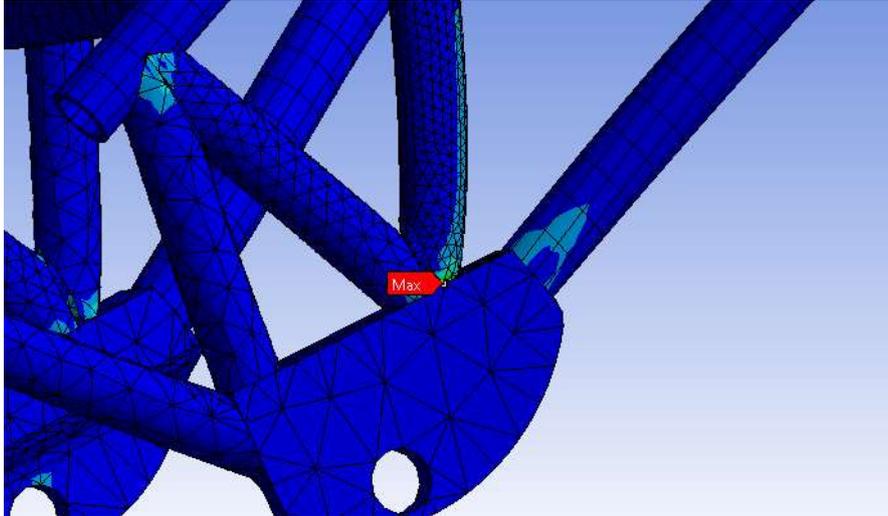


Ilustración 90: Zona de máximas tensiones en paso por curva.

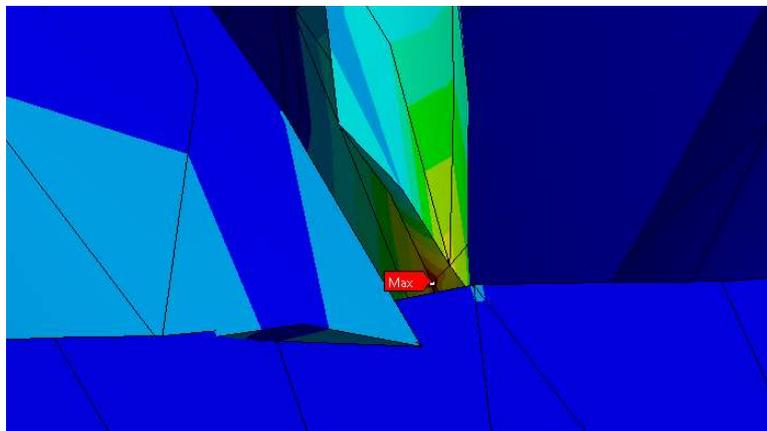


Ilustración 91: Detalle de la zona de máximas tensiones en paso por curva.

En las siguientes ilustraciones se observa en detalle la zona afectada. Si aumentamos la escala de deformación, encontramos como la estructura tiende a separarse y romperse, provocando que el mallado de las piezas no encaje y causando un error de mallado que conlleva un pico de tensiones. Por lo que se puede entender observando las tensiones de alrededor y del otro lado, que la estructura no sufrirá tensiones tan elevadas al realizar un paso por curva. Esta idea se puede reforzar observando los valores del coeficiente de seguridad, el cual es superior a 1 en toda la estructura, y muy superior en la mayor parte de esta, incluso en las zonas cercanas a la afectada.

8.5. Resultados y conclusión tras observas las simulaciones

	Prensa horizontal	Prensa vertical	Frenada máxima	Paso por curva
Tensión max. (MPa)	366.40	76.78	88.38	187.81
Deformación max. (mm)	1.41	0.25	0.11	0.60
Coef. de seguridad	0.67	3.09	2.83	1.26

Tras la realización de las simulaciones y mejoras en la estructura, los valores obtenidos se ven reflejados en la tabla anterior. En la cual se puede observar como la prueba de la prensa horizontal frente a la estructura, es la más restrictiva y destructiva debido a las elevadas tensiones y deformaciones.

Tal y como indican las simulaciones, si se requiere construir una estructura resistente para el proyecto desarrollado, esta deberá sobrepasar las pruebas gratificadamente, sin fisurar la estructura ni llegar a deformarse, por lo que se deberá seleccionar un material de fabricación suficientemente resistente.

Tras comunicarse con los patrocinadores del proyecto y presentarles las necesidades del prototipo, se ha llegado a la conclusión de emplear un acero DP800 para la estructura principal del chasis, ya que es la que más tensiones debe sobrepasar, y gracias a la elevada resistencia mecánica del material aportado por el patrocinador alcanzaríamos un coeficiente de seguridad levemente superior a 2, valor más que suficiente y aceptable para asegurar que el prototipo resistirá las pruebas y demandas de la competición sin limitar al equipo.

El acero aportado por la empresa patrocinadora Flinsa-Gonvarri, ubicada en Ibi, Alicante, es un acero de automoción de 20 milímetros de diámetro y 2 milímetros de espesor, con un error del ± 0.5 mm, tal y como el empleado en las simulaciones del proyecto, para no modificar las dimensiones finales del chasis. Las principales propiedades del acero a emplear para la fabricación del proyecto son las siguientes:

Legend

CR = cold-rolled CP = complex phase DP = dual phase LY = low yield HY = high yield GI = hot-dip galvanised

Mechanical properties

Grade	Specification	Test direction	Yield strength R_{eL} (MPa)	Tensile strength R_{mL} (MPa)	Elongation A_{50} (%) min	n-value min	r-value min	BH ₂ min (MPa)
CR DP800-GI HyperForm	Tata Steel specification	L or T	450-550	780-900	18	0.13	0.6	35
		T	485	823	20	0.162	0.88	52
	Tata Steel typical	L	471	820	21	0.165	0.66	48
CR440Y780T-DH	VDA 239-100	L	440-550	780-900	18	0.13	-	30

Chemical composition

	C	Si	Mn	P	S	Al _{tot}	Cr+Mo
Typical Tata Steel properties	0.15	0.42	2.06	0.008	0.002	0.57	0.408
CR DP800-GI HyperForm	≤0.16	≤0.50	≤2.20	≤0.015	≤0.005	≤0.70	≤0.45
EN 10346:2009, HCT780X	≤0.18	≤0.80	≤2.50	≤0.080	≤0.015	≤2.00	≤1.00
VDA 239-100 CR440Y780T-DP	≤0.18	≤0.80	≤2.50	≤0.080	≤0.015	0.015-2.00	≤1.40

Values provided in mass percentages

Ilustración 92: Propiedades del material de fabricación a emplear.

9. Proceso de fabricación

En este apartado se explicarán los diferentes procesos que se requieren para la fabricación de la estructura del proyecto. También se realizará el presupuesto de fabricación teniendo en cuenta los materiales necesarios, las ayudas de los patrocinadores y los costes de fabricación.

La estructura del chasis de la motocicleta se puede dividir en dos partes iguales gracias a su simetría, pero en cuanto a su fabricación se pueden distinguir tres estructuras o piezas que conforman el total del chasis.

La primera parte de la estructura y la más grande es la estructura tubular, la cual está conformada por perfiles tubulares de 20 x 2 mm y soldada entre sí mediante soldadura TIG con aporte, ya que, este proceso de soldadura no genera escorias en el cordón, permite realizar las soldaduras en cualquier posición y facilita el trabajo, ya que en la estructura a fabricar hay muchas soldaduras y algunas de difícil acceso. Y, por último, cabe remarcar que este proceso de soldadura no afecta a la composición química y a las propiedades de los materiales soldados.

Otra de las partes que conforman el chasis de la motocicleta es conocida como la pipa de dirección, la cual se fabricará a partir de un cilindro macizo de acero y con la ayuda de un torno se mecanizará hasta lograr las dimensiones y rugosidad deseada. Se especificará en los planos toda la información necesaria para facilitar el trabajo y para asegurar un buen acabado, ya que en su interior se albergarán dos rodamientos cónicos que conforman la horquilla de suspensión, los cuales se sitúan mediante apriete como indica la ilustración 25 del montaje de la pipa de dirección.

Por último, para terminar de fabricar la estructura del prototipo se requiere fabricar la chapa de anclaje al basculante, la cual se fabricará partiendo de un bloque de acero de poco más de 20 milímetros de espesor y de 120 x 70 aproximadamente. Para otorgar la forma deseada se empleará una fresadora con la cual rebajar el bloque y realizar todas las curvaturas requeridas para que los perfiles acoplen lo mejor posible en la pieza y de esta forma rebajar el material insuficiente con la finalidad de rebajar el peso de la pieza.

La unión entre las diferentes piezas se realizará mediante soldadura TIG, con ayuda de aporte donde sea necesario y asegurando una buena profundidad de la soldadura para evitar fisuras en las uniones al realizar las pruebas en competición.

Las distancias marcadas en los planos de cada perfil circular es la distancia exacta o la distancia mayor ente los extremos del tubo para permitir al fabricante conocer las dimensiones de todos los tubos y así poder realizar posteriormente el corte en semiluna mediante el muescador de tubos y asegurar una perfecta unión entre los tubos, sin dar permiso a un posible error de medición ni acople entre los perfiles.

Cabe mencionar que se requerirá de una dobladora de tubo para hacer los cuatro perfiles en ángulo que conforman la estructura tubular principal del chasis, tal y como se indica en los planos, para poder conformar una de las principales mejoras aplicadas a la estructura final.

9.1. Presupuesto

TECNOMECANICA FERRER, S.L.

0

DOCUMENTO	NÚMERO	PÁGINA	FECHA
Presupuesto	1	000011	1 04/07/2022

N.I.F.	AGENTE	FORMA DE PAGO
--------	--------	---------------

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	SUBTOTAL	DTO.	TOTAL
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 193 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 40 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 617 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 521 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 546 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 425 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 499 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 53 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 218.5	2,00	24,00	48,00		48,00

TIPO	IMPORTE	DESCUENTO	PRONTO PAGO	PORTES	FINANCIACIÓN	BASE	I.V.A.	R.E.

OBSERVACIONES:

TOTAL:

TECNOMECANICA FERRER, S.L.

0

DOCUMENTO	NÚMERO	PÁGINA	FECHA
Presupuesto	1 000011	2	04/07/2022

N.I.F.	AGENTE	FORMA DE PAGO

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	SUBTOTAL	DTO.	TOTAL
	MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 165 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 130 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 160 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	10,00	24,00	240,00		240,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 120 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 105 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	MECANIZAR PIPETA EN ACERO F-114 CON ALOJAMIENTOS PARA RODAMIENTOS	1,00	115,00	115,00		115,00
	MECANIZAR CHAPA DE ANCLAJE SEGÚN PLANO	1,00	192,00	192,00		192,00
	6 METROS DE TUBO DE ACERO 20x2 DT800	1,00	180,00	180,00		180,00
	TRABAJOS DE SOLDADURA PARA EL ENSAMBLAJE					

TIPO	IMPORTE	DESCUENTO	PRONTO PAGO	PORTES	FINANCIACIÓN	BASE	I.V.A.	R.E.

OBSERVACIONES:

TOTAL:

TECNOMECANICA FERRER, S.L.

DOCUMENTO	NÚMERO	PÁGINA	FECHA
Presupuesto	1	000011	3
			04/07/2022

0

N.I.F.	AGENTE	FORMA DE PAGO

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	SUBTOTAL	DTO.	TOTAL		
	DE CHASIS SEGÚN PLANO SUMINISTRADO	1,00	750,00	750,00		750,00		
TIPO	IMPORTE	DESCUENTO	PRONTO PAGO	PORTES	FINANCIACIÓN	BASE	I.V.A.	R.E.
21,00 10,00 4,00	2.149,00					2.149,00	451,29	
OBSERVACIONES:						TOTAL:	2.600,29	

El coste de fabricación del proyecto, indicado y desglosado como se muestra anteriormente, se ha realizado con el apoyo de las empresas colaboradoras, con ayuda de los planos y sus tarifas de precios. El coste indicado es el coste real de los materiales y los procesos de fabricación totales necesarios. El coste final de 2.600,29 € sería el coste el cual el equipo debería hacer frente para la fabricación del chasis de la motocicleta, pero gracias a la ayuda de los colaboradores del equipo y los patrocinadores, el coste final a

pagar por el equipo es de, 2195.29 €. Esta reducción se debe a la ayuda aportada por la empresa Flinsa-Gonvarri, la

cual proporciona de forma gratuita los perfiles tubulares DP800 de 20x2, y también gracias a la empresa encargada de realizar las soldaduras de la estructura. Esta empresa en concreto, Carrozados La Moderna, colabora con el proyecto realizando todo tipo de piezas y procesos que no se pueden realizar en el campus, y en este caso aplica un 30% de descuento al coste total de soldadura en colaboración con el proyecto.

10. Conclusión

Para concluir el proyecto desarrollado, se deben destacar los principales objetivos mediante los cuales se han buscado alcanzar las necesidades y mejoras del prototipo. Tal y como se ha indicado, las mejoras, análisis de alternativas y estudio de posibilidades, se han desarrollado desde las necesidades del equipo EPSA Moto-e, y desde la normativa a cumplir.

Gracias a los conocimientos adquiridos en la universidad por parte del grado de ingeniería mecánica, y al equipo de estudiantes y profesores que desarrollan el proyecto de la motocicleta eléctrica, se ha logrado desarrollar un proyecto competitivo y ambicioso en busca de mejoras y resultados cada año más evolucionados. Estos resultados son fruto de aplicar y desarrollar todos los conocimientos aprendidos por parte de los integrantes, y de las dificultades y limitaciones encontradas en las anteriores ediciones.

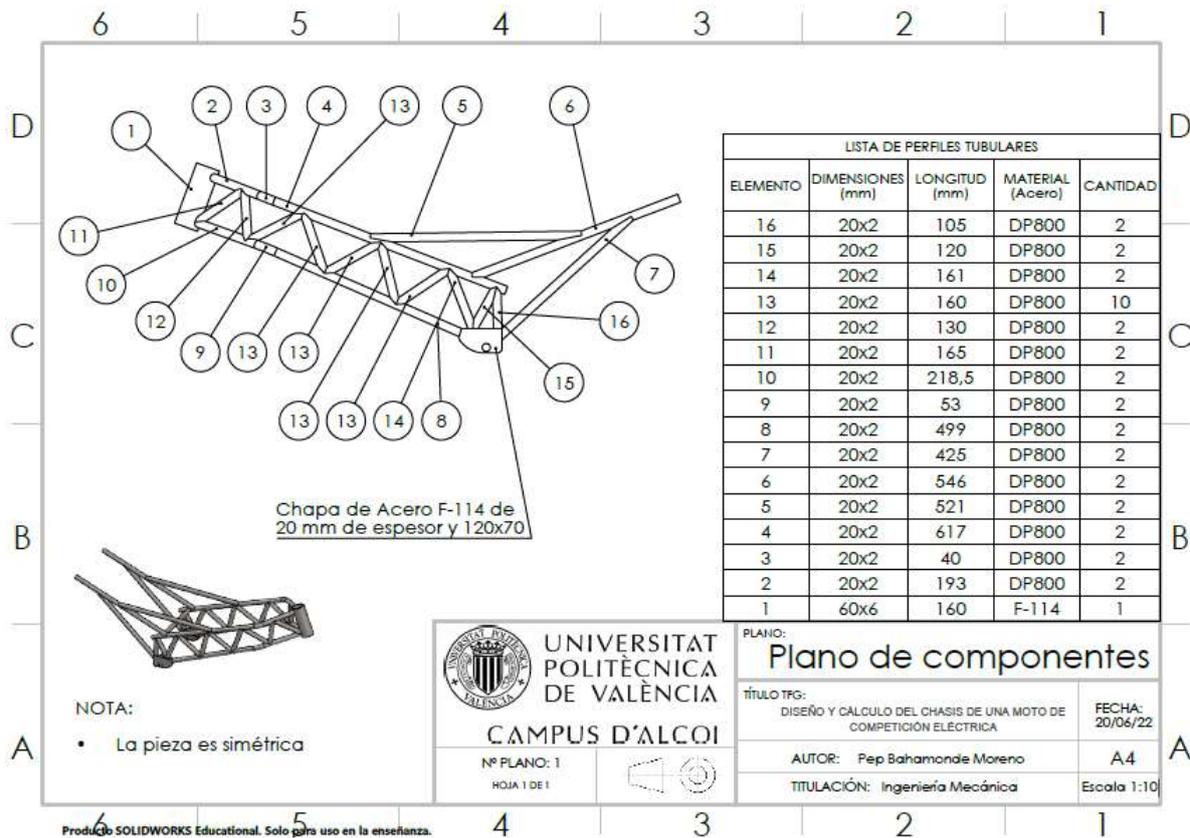
Tras estudiar el proyecto en detenimiento, se han logrado marcar unos objetivos competitivos y realistas, los cuales se buscarán alcanzar mediante el desarrollo del presente proyecto, el cual cumple gratificadamente con los requerimientos del equipo marcados a principio de temporada. Tal y como y se han desarrollado las necesidades y objetivos del trabajo, se han ido alcanzando uno a uno de la mejor manera posible dentro de las limitaciones económicas y técnicas a la hora de su fabricación.

El resultado final del proyecto es una estructura multitubular desarrollada para una motocicleta eléctrica, la cual conseguirá competir en la séptima edición de la competición motostudent. Gracias al cumplimiento de su normativa y gracias al desarrollo de un prototipo evolucionado y estudiado con detenimiento para de esta forma ser competitivo.

11. Planos

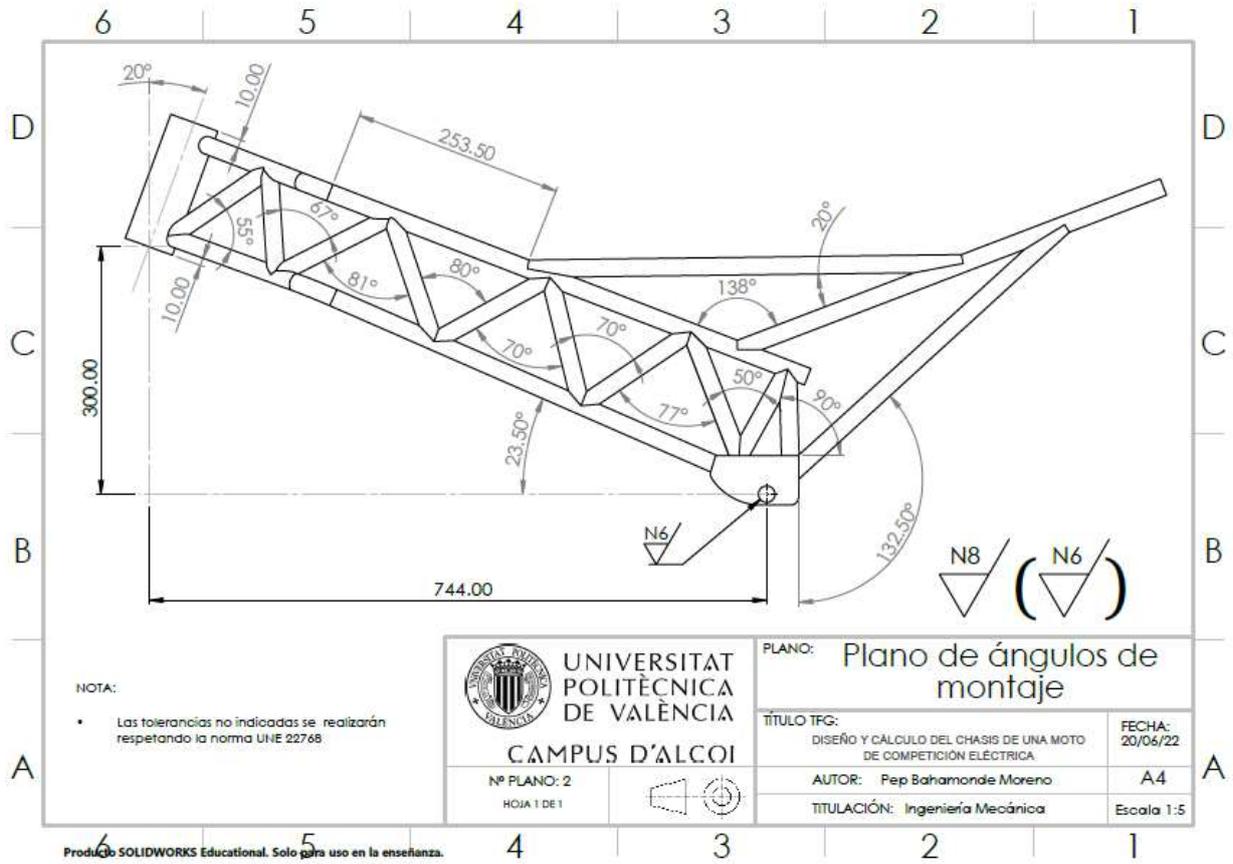
En el siguiente anexo de planos se incluirán todos los planos necesarios para la correcta fabricación de la estructura, los cuales se enviarán al fabricante para que pueda realizar la estructura correctamente.

11.1. Plano de componentes

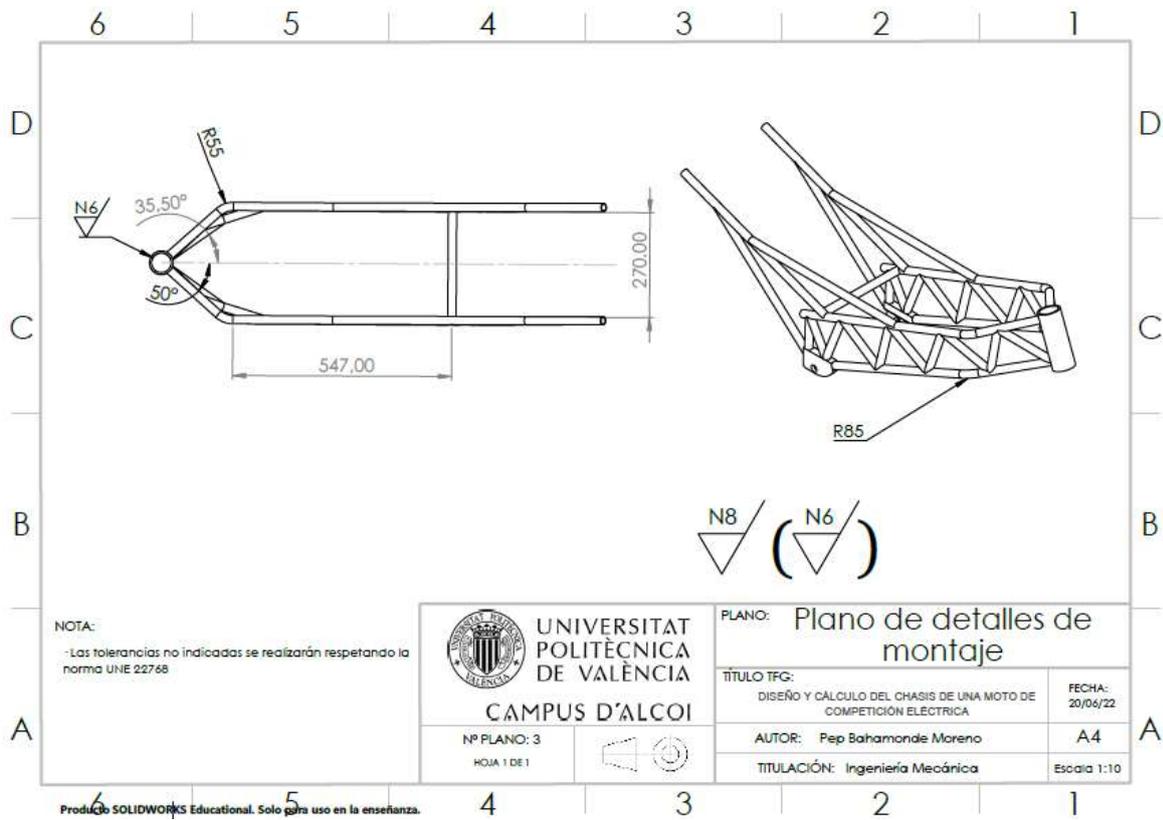


Gracias al plano de componentes se facilita la numeración de todos los perfiles y piezas necesarias para la fabricación del proyecto. En este plano se indican las magnitudes de todos los componentes a emplear.

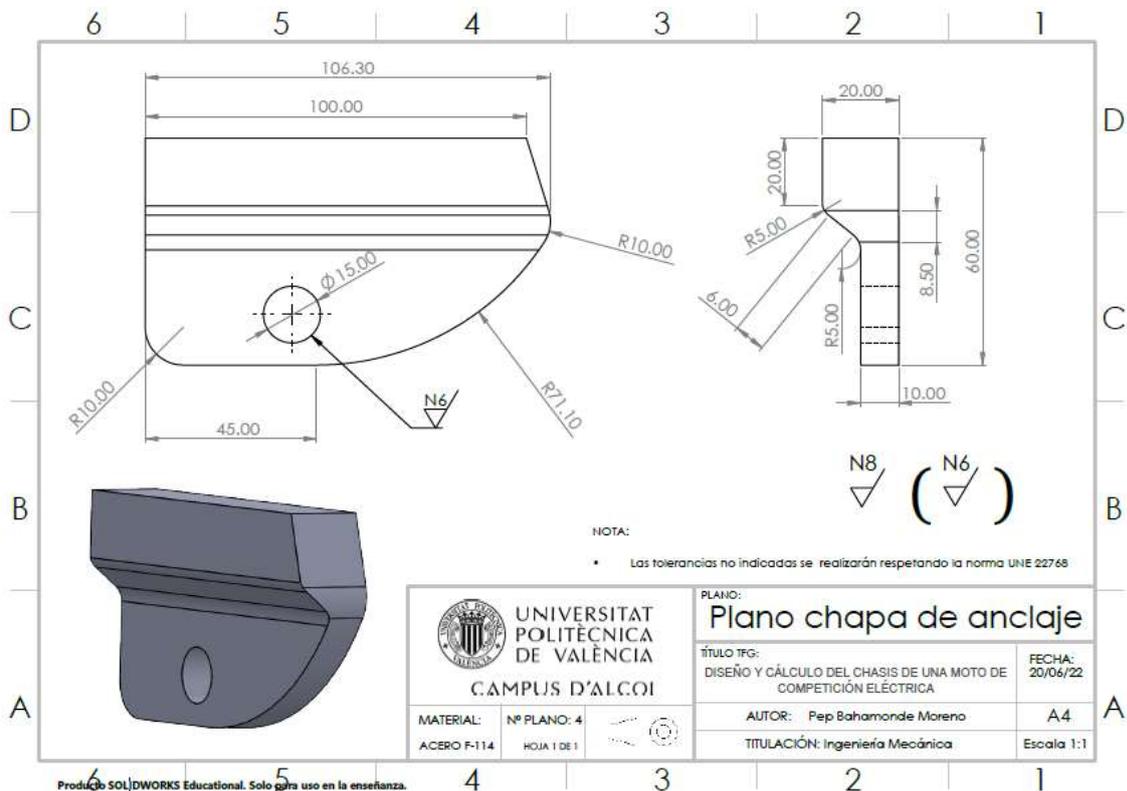
11.2. Plano de ángulos de montaje



11.3. Plano de detalle de montaje



11.4. Plano de chapa de anclaje



Plano detalle de la pieza de anclaje del basculante con la estructura tubular. Tras el cual poder mecanizar y trabajar la pieza para asegurar el correcto ajuste de los componentes.

12. Bibliografía y webgrafía

Cabe destacar que la realización del proyecto se ha apoyado y reforzado con los contenidos aportados por los libros de la biblioteca de la Universidad de Valencia.

Los libros y webs empleadas son:

- Cossalter, V. (2006). *Motorcycle dynamics* (second edition). Lulu.
- Ernest, A. (2003). *Motocicletas. Comportamiento Dinámico Y Diseño De Chassis. EArte Y La Ciencia*. Foale.
- <https://www.ozmotorbike.com/it/ruote/gass-series/gass-rs-a-rear>
- <https://www.pruebaderuta.com/tipos-de-chasis-en-la-motocicleta.php>
- <https://www.bike-parts-honda.es/>
- <https://electricdriveengineering.com.au/>
- <https://www.caracteristicas.co/acero/>
- <https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/el-aluminio/>
- <https://www.mipsa.com.mx/sabias-que/clasificacion-del-aluminio/>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

[DISEÑO Y CÁLCULO DEL CHASIS DE UNA MOTO DE COMPETICIÓN ELÉCTRICA]

ANEXO DE PLANOS PRESENTADO POR:

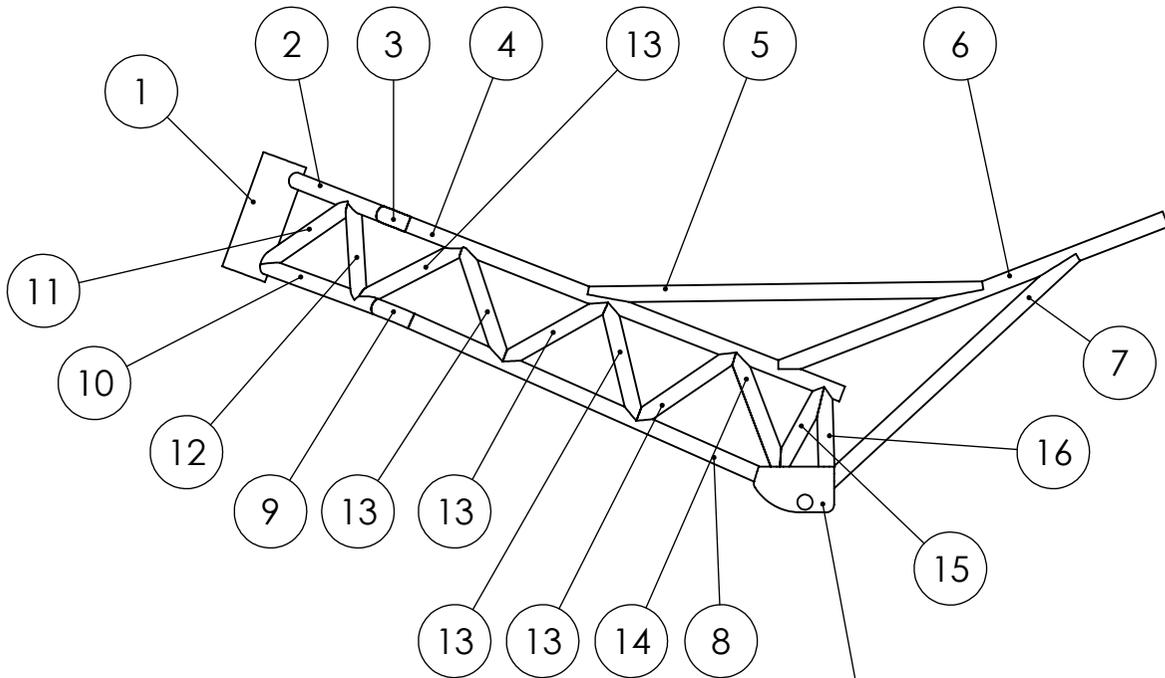
[Pep Bahamonde Moreno]

TUTOR/A:

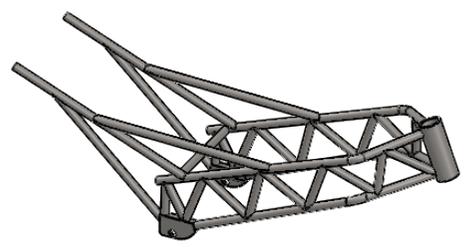
[Jorge Gabriel Segura Alcaraz]

GRADO en [*Ingeniería Mecánica*]

Convocatoria de defensa: [julio de 2022]



Chapa de Acero F-114 de 20 mm de espesor y 120x70



NOTA:
 • La pieza es simétrica

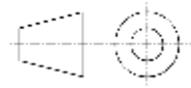
LISTA DE PERFILES TUBULARES				
ELEMENTO	DIMENSIONES (mm)	LONGITUD (mm)	MATERIAL (Acero)	CANTIDAD
16	20x2	105	DP800	2
15	20x2	120	DP800	2
14	20x2	161	DP800	2
13	20x2	160	DP800	10
12	20x2	130	DP800	2
11	20x2	165	DP800	2
10	20x2	218,5	DP800	2
9	20x2	53	DP800	2
8	20x2	499	DP800	2
7	20x2	425	DP800	2
6	20x2	546	DP800	2
5	20x2	521	DP800	2
4	20x2	617	DP800	2
3	20x2	40	DP800	2
2	20x2	193	DP800	2
1	60x6	160	F-114	1



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Nº PLANO: 1
 HOJA 1 DE 1

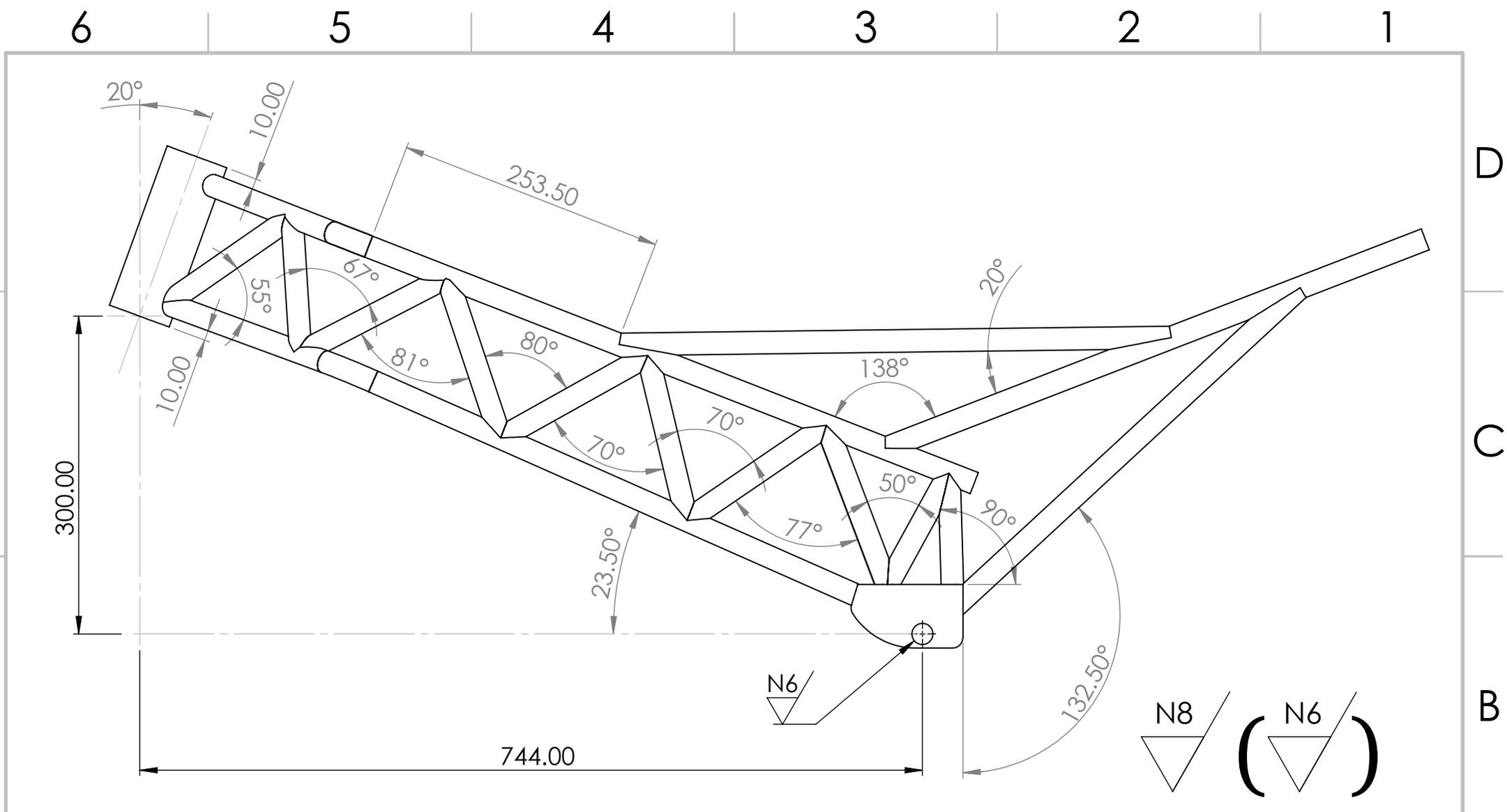


PLANO:
Plano de componentes

TÍTULO TFG: DISEÑO Y CÁLCULO DEL CHASIS DE UNA MOTO DE COMPETICIÓN ELÉCTRICA
 FECHA: 20/06/22

AUTOR: Pep Bahamonde Moreno
 A4

TITULACIÓN: Ingeniería Mecánica
 Escala 1:10



NOTA:

- Las tolerancias no indicadas se realizarán respetando la norma UNE 22768

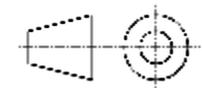


UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Nº PLANO: 2

HOJA 1 DE 1



PLANO:

Plano de ángulos de montaje

TÍTULO TFG:

DISEÑO Y CÁLCULO DEL CHASIS DE UNA MOTO DE COMPETICIÓN ELÉCTRICA

FECHA:

20/06/22

AUTOR: Pep Bahamonde Moreno

A4

TITULACIÓN: Ingeniería Mecánica

Escala 1:5

6 5 4 3 2 1

D

C

B

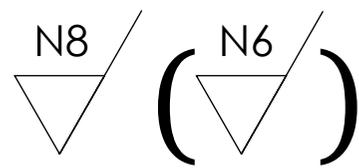
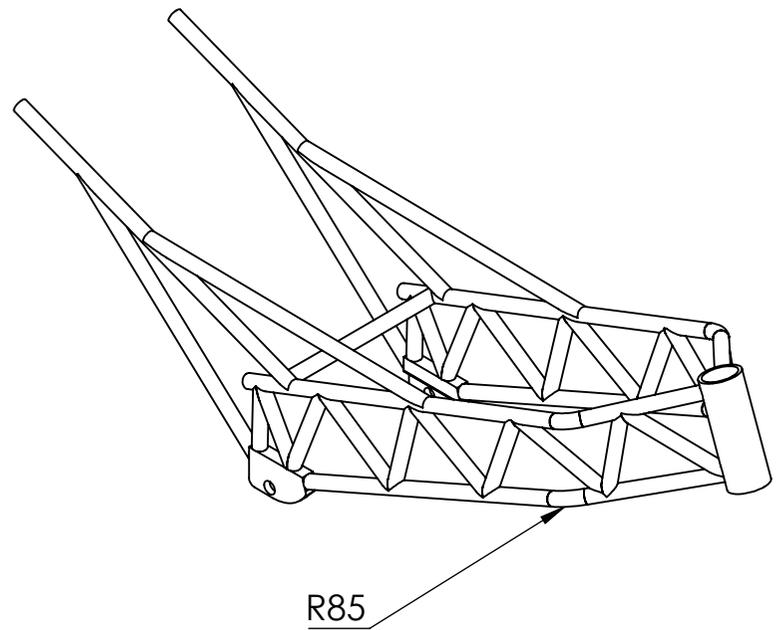
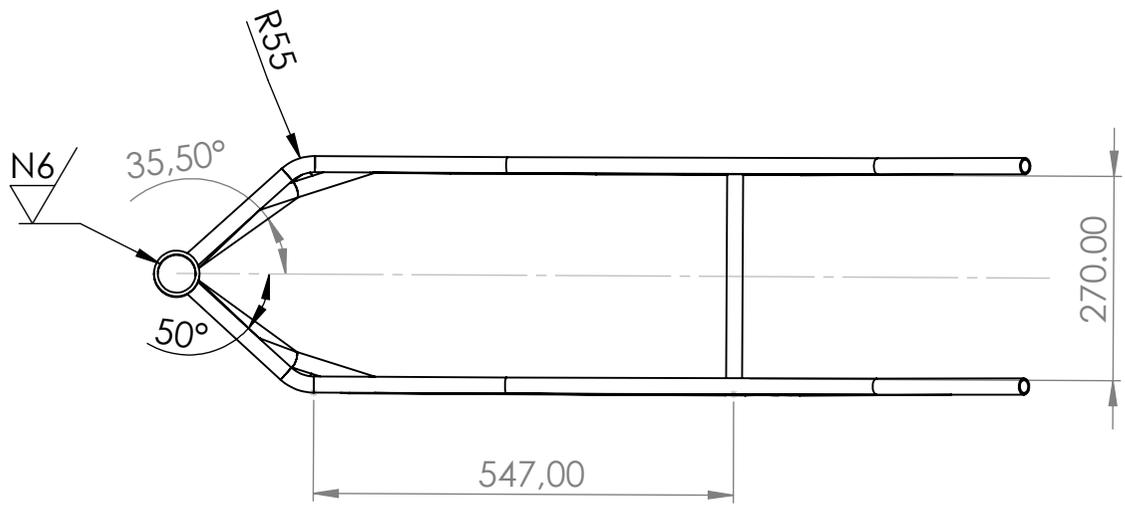
A

D

C

B

A



NOTA:
 · Las tolerancias no indicadas se realizarán respetando la norma UNE 22768



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Nº PLANO: 3
 HOJA 1 DE 1



PLANO: **Plano de detalles de montaje**

TÍTULO TFG: DISEÑO Y CÁLCULO DEL CHASIS DE UNA MOTO DE COMPETICIÓN ELÉCTRICA	FECHA: 20/06/22
AUTOR: Pep Bahamonde Moreno	A4
TITULACIÓN: Ingeniería Mecánica	Escala 1:10

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

D

C

B

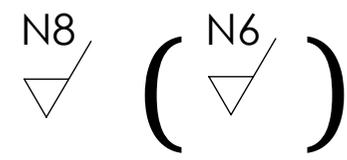
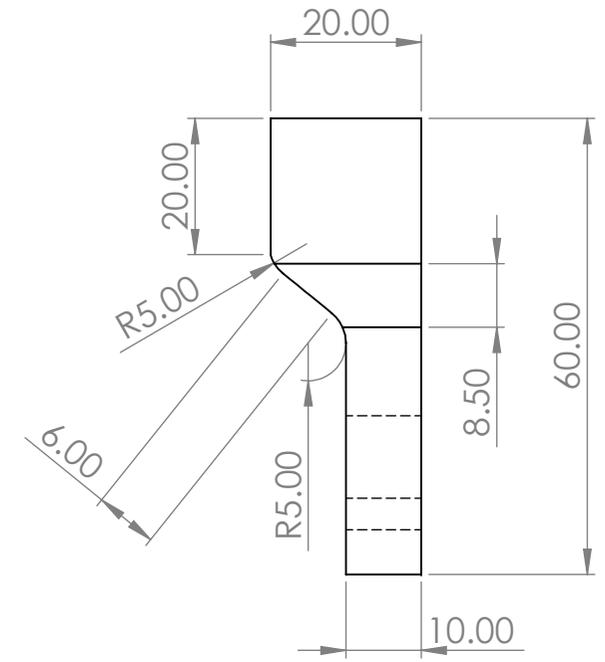
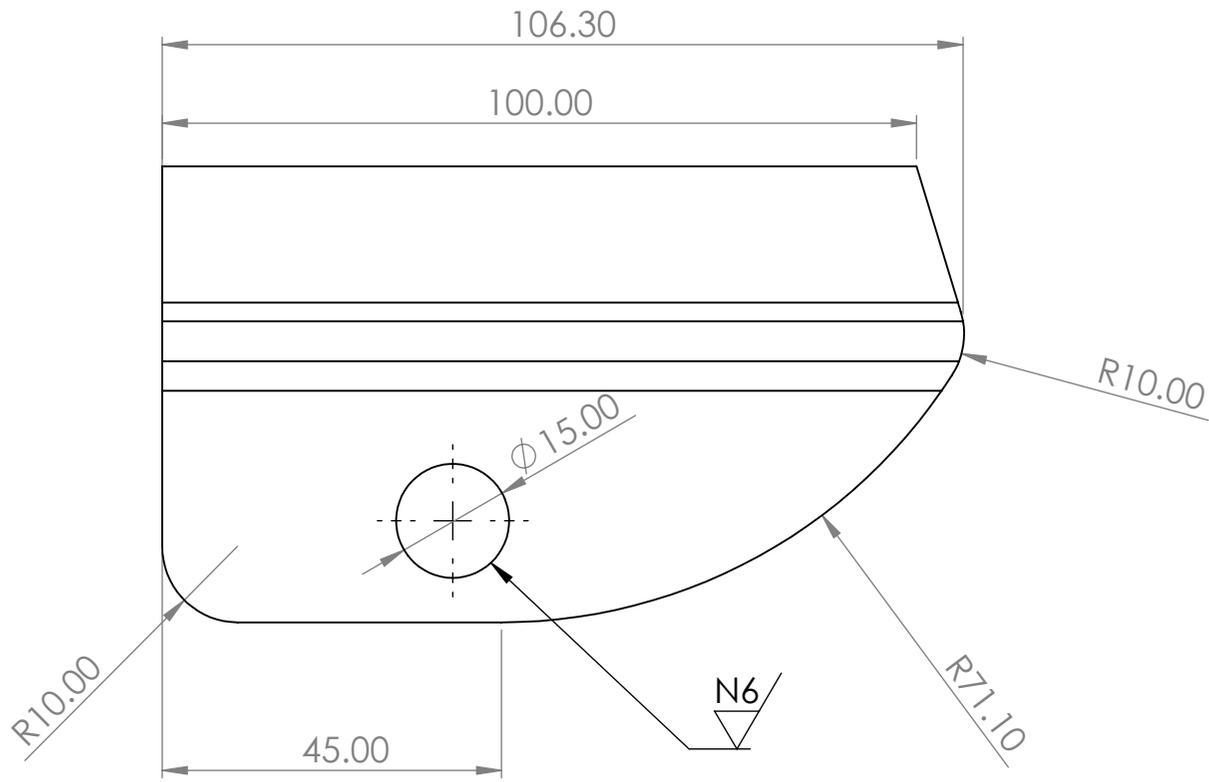
A

D

C

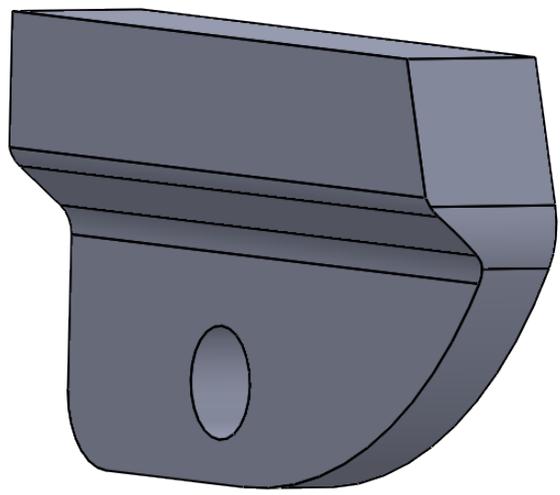
B

A



NOTA:

- Las tolerancias no indicadas se realizarán respetando la norma UNE 22768



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

PLANO:

Plano chapa de anclaje

TÍTULO TFG:

DISEÑO Y CÁLCULO DEL CHASIS DE UNA MOTO DE
COMPETICIÓN ELÉCTRICA

FECHA:

20/06/22

MATERIAL:

ACERO F-114

Nº PLANO: 4

HOJA 1 DE 1



AUTOR: Pep Bahamonde Moreno

A4

TITULACIÓN: Ingeniería Mecánica

Escala 1:1

6 5 4 3 2 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

[DISEÑO Y CÁLCULO DEL CHASIS DE UNA MOTO DE COMPETICIÓN ELÉCTRICA]

ANEXO DE PRESUPUESTO PRESENTADO POR:

[Pep Bahamonde Moreno]

TUTOR/A:

[Jorge Gabriel Segura Alcaraz]

GRADO en [*Ingeniería Mecánica*]

Convocatoria de defensa: [julio de 2022]

0

DOCUMENTO	NÚMERO	PÁGINA	FECHA
Presupuesto	1 000011	1	04/07/2022

N.I.F.	AGENTE	FORMA DE PAGO
--------	--------	---------------

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	SUBTOTAL	DTO.	TOTAL
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 193 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 40 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 617 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 521 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 546 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 425 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 499 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 53 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 218.5	2,00	24,00	48,00		48,00

TIPO	IMPORTE	DESCUENTO	PRONTO PAGO	PORTES	FINANCIACIÓN	BASE	I.V.A.	R.E.

OBSERVACIONES:

TOTAL:

0

DOCUMENTO	NÚMERO	PÁGINA	FECHA
Presupuesto	1 000011	2	04/07/2022

N.I.F.	AGENTE	FORMA DE PAGO
--------	--------	---------------

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	SUBTOTAL	DTO.	TOTAL
	MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 165 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 130 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 160 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	10,00	24,00	240,00		240,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 161 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 120 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	CORTAR TUBO DE 20x2 A UNA LONGITUD DE 105 MM E INGLETAR SEGUN COTAS DE PLANO PARA CHASIS	2,00	24,00	48,00		48,00
	MECANIZAR PIPETA EN ACERO F-114 CON ALOJAMIENTOS PARA RODAMIENTOS	1,00	115,00	115,00		115,00
	MECANIZAR CHAPA DE ANCLAJE SEGÚN PLANO 6	1,00	192,00	192,00		192,00
	METROS DE TUBO DE ACERO 20x2 DP800	1,00	180,00	180,00		180,00
	TRABAJO DE SOLDADURA PARA EL ENSAMBLAJE					

TIPO	IMPORTE	DESCUENTO	PRONTO PAGO	PORTES	FINANCIACIÓN	BASE	I.V.A.	R.E.

OBSERVACIONES:

TOTAL:

TECNOMECANICA FERRER, S.L.

0

DOCUMENTO	NÚMERO	PÁGINA	FECHA
Presupuesto	1 000011	3	04/07/2022

N.I.F.	AGENTE	FORMA DE PAGO
--------	--------	---------------

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	SUBTOTAL	DTO.	TOTAL
	DE CHASIS SEGÚN PLANO SUMINISTRADO	1,00	750,00	750,00		750,00

TIPO	IMPORTE	DESCUENTO	PRONTO PAGO	PORTES	FINANCIACIÓN	BASE	I.V.A.	R.E.
21,00 10,00 4,00	2.149,00					2.149,00	451,29	

OBSERVACIONES:

TOTAL: 2.600,29