

GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGIA INDUSTRIAL  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

***<DISEÑO DEL CHASIS MOTO STUDENT 2018>***

**Alumno:** <Alonso, Vaamonde, Pablo>

**Director:** <Fernández, de Bustos, Igor>

**Curso:** <2017-2018>

**Fecha:** <Bilbao, 29, 06, 2018>

## RESUMEN TRILINGÜE

### Castellano

Este trabajo consiste en el diseño de un chasis para el prototipo de motocicleta de competición del proyecto Bizkaia-ESI Bilbao que tomará parte en la quinta edición de la competición Moto Student.

El trabajo empieza con el diseño preliminar del chasis partiendo de la experiencia que el equipo ha reunido en anteriores ediciones de la competición, y teniendo como guía diseños de otros años. Para comprobar la calidad del diseño y optimizar el mismo se harán unos análisis por elementos finitos que servirán para medir las deformaciones en determinados casos de cargas para el posterior cálculo de rigidez del chasis, la cual se ajustará a unos valores determinados.

Una vez conseguido un diseño competitivo se procederá a la fabricación a mano del mismo mediante las herramientas disponibles en el taller partiendo del material necesario.

**Palabras clave:** chasis, diseño, moto.

### Euskara

Lan hau lasterketa motorra baten prototipoaren txasisaren diseinuan datza, Moto Student txapelketaren bostgarren edizioan parte hartuko duena Bizkaia-ESI Bilbao proiektuaren barnean.

Lana, txasisaren hasierako diseinu batekin abiatuko da, iraganeko edizioetan taldeak irabazitako esperientziaz baliatuz eta beste urteotako diseinuak kontuan hartuta. Egindako diseinuaren kalitatea konprobatzeko eta diseinua hobetzeko elementu finituen metodoaren bidezko kalkuluak egingo dira, hala nola, txasisaren zurruntasuna kalkulatzeko erabiliko diren desplazamenduak neurtzeko karga kasu jakin batzuetan. Lortutako zurruntasuna balio jakin batzuetara hurbilduko da.

Behin diseinu lehiakor bat lortuta, fabrikazioa hasiko da, behar diren materialetatik abiatuz eta tailerrean eskuragarri dauden erramintekin.

**Hitz gakoak:** txasis, diseinu, motorra.

### English

This work is faced to the design of the frame of the prototype racing motorcycle for the Bizkaia-ESI Bilbao project that will take part in the fifth edition of the Moto Student competition.

This will begin with a basic design of the frame based on the experience the team has gathered throughout the previous editions of the competition, taking into account earlier

designs. To measure the quality of the work done and to master the design, an analysis is to be made by the finite element method in order to calculate the stiffness of the frame by measuring the proper displacements in several load cases and fit them to a proper value.

Once a competitive design is achieved, the manufacturing process will begin with the necessary materials and the tools available at the garage.

**Key words:** frame, design, motorcycle.

## INDICE

RESUMEN TRILINGÜE.....	2
1 INTRODUCCION.....	7
2 CONTEXTO.....	9
3 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO .....	12
4 BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO .....	14
5 ANALISIS DE ALTERNATIVAS .....	15
5.1 CHASIS DE SIMPLE CUNA.....	15
5.2 CHASIS DE DOBLE CUNA.....	16
5.3 CHASIS MULTITUBULAR.....	17
5.4 CHASIS MONOVIGA O DE ESPINA CENTRAL.....	17
5.5 CHASIS DE DOBLE VIGA PERIMETRAL.....	19
5.6 CHASIS DE DOBLE VIGA PERIMETRAL CERRADO .....	19
5.7 CHASIS MONOCASCO.....	20
6 SELECCION DE LA SOLUCION PROPUESTA Y DISEÑO.....	22
6.1 SELECCION DE LA SOLUCION PROPUESTA .....	22
6.2 BASES DE DISEÑO.....	23
7 FASES DE DISEÑO.....	25
7.1 PRIMER DISEÑO E IDEALIZACIÓN DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS .....	25
7.2 ANALISIS RESITENTE.....	27
7.2.1 ANALISIS RESISTENTE: FRENADA.....	27
7.2.2 ANALISIS RESISTENTE: CURVA.....	28
7.3 PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA LOS CALCULOS DE RIGIDEZ.....	29
7.3.1 RIGIDEZ LATERAL.....	30
7.3.2 RIGIDEZ TORSIONAL.....	31
7.3.3 RIGIDEZ LONGITUDINAL .....	31
7.4 COLOCACION DE LOS MONTANTES.....	32
7.5 OPTIMIZACION DEL DISEÑO.....	34

7.5.1	CHAPAS TRASERAS.....	35
7.5.2	ESTRUCTURA TUBULAR.....	36
8	FABRICACION .....	40
8.1	PREPARACION DE LOS TUBOS .....	40
8.2	PREPARACION DE LAS CHAPAS.....	41
8.3	SOLDADURA.....	42
8.3.1	PROCESO DE SOLDADURA.....	43
9	DIAGRAMA DE GANTT .....	44
9.1	DESCRIPCION DE LAS TAREAS.....	44
10	ASPECTOS ECONOMICOS: PREUSPUESTO .....	46
11	CONCLUSIONES.....	47
11.1	CUMPLIMIENTO DE LOS BENEFICIOS.....	48
12	BIBLIOGRAFIA.....	49
	ANEXO I: PLIEGO DE CONDICIONES.....	50
	ANEXO II: PLANOS.....	52
	CHASIS .....	52
	SOPORTE.....	55
	<i>Ilustración 1: Logotipo del equipo Bizkaia-ESI Bilbao .....</i>	<i>9</i>
	<i>Ilustración 2: Foto de todos los equipos de la segunda edición.....</i>	<i>10</i>
	<i>Ilustración 3: Chasis de simple cuna .....</i>	<i>15</i>
	<i>Ilustración 4: Chasis de doble cuna.....</i>	<i>16</i>
	<i>Ilustración 5: Chasis multitubular .....</i>	<i>17</i>
	<i>Ilustración 6: Chasis de espina central (con doble cuna y anclajes para el motor).....</i>	<i>18</i>
	<i>Ilustración 7: Chasis de doble viga perimetral.....</i>	<i>19</i>
	<i>Ilustración 8: Chasis de doble viga perimetral cerrado (con basculante y semichasis) .....</i>	<i>20</i>
	<i>Ilustración 9: Chasis monocasco.....</i>	<i>20</i>
	<i>Ilustración 10: esquema principal para el análisis del chasis.....</i>	<i>25</i>
	<i>Ilustración 11: Resultados del análisis resistente en el caso de la frenada.....</i>	<i>28</i>
	<i>Ilustración 12: Resultados del análisis resistente en curva.....</i>	<i>29</i>
	<i>Ilustración 13: Caso de carga para el cálculo de la rigidez lateral.....</i>	<i>30</i>
	<i>Ilustración 14: Caso de carga para el cálculo de la rigidez torsional.....</i>	<i>31</i>
	<i>Ilustración 15: Caso de carga para el cálculo de la rigidez longitudinal .....</i>	<i>32</i>
	<i>Ilustración 16: Esbozo de los montantes laterales .....</i>	<i>33</i>

<i>Ilustración 17: Visualización de los montantes .....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 18: Chapas traseras con agujeros .....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 19: Chapas traseras sin agujeros.....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 20: Dobladora de tubos .....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 21: Montaje del chasis en el soporte (sin montantes) .....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 22: Chasis terminado montado en el prototipo .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 1: Resultados de rigidez para diferentes ángulos de los montantes.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 2: Comparación de rigideces con y sin agujeros .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3: Comparación de las diferentes rigideces en función del espesor de los tubos .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4: Comparación de las diferentes rigideces en función del espesor de los montantes.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 5: Comparación de las diferentes rigideces en función de los diámetros de los tubos.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 6: Longitudes de corte de los montantes .....</i>	<i>41</i>

## 1 INTRODUCCION

---

En este trabajo se explica en detalle el procedimiento a seguir para el correcto diseño y posterior fabricación del chasis de un prototipo de motocicleta de competición.

Se empieza analizando el contexto en el cual se encuentra este proyecto y de donde viene la necesidad de realizar este trabajo, así como señalar los diferentes objetivos que se han de cumplir y el alcance total del trabajo. Después se comentan los beneficios que aporta este trabajo, tanto para el equipo como en el ámbito personal.

Una vez contextualizado tanto el trabajo como el proyecto al que pertenece, se procede a hacer un análisis de posibles alternativas para el chasis en cuestión. Esto es importante ya que una mala elección puede resultar en un problema tanto de fabricación como de fiabilidad o rendimiento. Seguido se comenta la selección del equipo y se establecen unas bases para realizar el diseño, como las medidas de las que se parte, la geometría básica o los rangos en los que se deberían encontrar las tres rigideces que se explican más adelante.

El siguiente bloque es el más importante, ya que en él se explica en detalle todo el procedimiento llevado a cabo para el diseño del chasis, empezando por el primer diseño y explicando el modelo que se va a utilizar para los análisis por elementos finitos. A continuación, se presentan los casos de cargas que se han usado para el análisis y cuáles son los desplazamientos importantes de los que se calcularán las rigideces pertinentes. También se busca mejorar la geometría secundaria (los montantes) para conseguir los mejores resultados de rigidez. Para terminar este apartado, se busca la optimización del diseño mediante la reducción de peso, lo cual es muy importante en el ámbito de la competición. Esto se hace buscando huecos que se puedan vaciar o reduciendo las secciones de los materiales que se van a usar para la fabricación.

Una vez conseguidos los objetivos de diseño, se explica todo el proceso de fabricación, prestando atención en los pasos más importantes. También se resaltan los puntos que requieren de una mayor precisión y por tanto un mayor cuidado a la hora de fabricar el componente al que pertenecen. Se hace una separación por componentes y se comenta cada uno por separado, como ha de ser preparado para encajar en el conjunto y con que medios (herramientas, máquinas...) se va a fabricar.

Después, se calcula el presupuesto necesario para llevar a cabo este trabajo, teniendo en cuenta tanto el coste de los materiales como el de fabricación. Al ser este parte de un prototipo, no se realizará ningún análisis de rentabilidad, ya que no tiene sentido para proyectos de esta índole.

Por último, se resumen las conclusiones obtenidas a lo largo del trabajo, tanto en las fases de diseño como en la fabricación del chasis y se analiza si se han completado los objetivos

mencionados con anterioridad, no solo en cuanto al trabajo se refiere sino que también se hará hincapié en el ámbito personal.



## 2 CONTEXTO

---

La necesidad de este chasis surge del proyecto Bizkaia-ESI Bilbao, de la Escuela de Ingeniería de Bilbao. Este proyecto, que ya se ha llevado a cabo con éxito en anteriores ediciones de la competición Moto Student, tiene como propósito el aprendizaje por parte de los participantes de diferentes métodos de diseño y fabricación, muy importantes en el ámbito laboral, mediante el desarrollo de un prototipo de motocicleta de competición que será puesto a prueba en la competición del evento final.



**Ilustración 1: Logotipo del equipo Bizkaia-ESI Bilbao**

La competición Moto Student promovida por la fundación Moto Engineering Foundation (MEF) es un desafío entre equipos universitarios de distintas universidades de todo el mundo. Consiste en diseñar y fabricar un prototipo de moto de competición de pequeña cilindrada (250 cc, 4 tiempos), que competirán en unas jornadas que se llevan a cabo en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón, Alcañiz.

La competición surge como respuesta a varios problemas: el incremento desmesurado de los costes involucrados en la participación en la competición Formula Student, la necesidad de ingenieros de pista especializados para los mundiales de motociclismo y la necesidad de ingenieros con formación en dinámica de vehículos de dos ruedas en el ámbito del estado, que ha supuesto una importante reducción de la competitividad de las empresas del sector de la moto y la bicicleta.

La Formula Student es una competición universitaria de amplio reconocimiento a nivel internacional. Este reconocimiento ha provocado el que la difusión en los medios sea tan grande que ha disparado los presupuestos de los equipos llegando a ser comparables con los de los equipos que participan en el mundial de motociclismo. Esto ha hecho extremadamente complicada la participación en la competición tanto por parte de universidades que tradicionalmente no lo han hecho, dado que la cantidad de dinero que

pueden lograr en patrocinios los primeros años es reducida en comparación, como de universidades que no cuentan con presupuestos tan elevados como los equipos grandes. Moto Student pretende resolver este problema mediante una serie de normas que consiguen que se pueda participar en la competición con un presupuesto reducido con posibilidades incluso de ganar, lo que supone una motivación muy importante para los alumnos involucrados. Por ejemplo, el bloque motor lo suministra la organización y no se puede modificar, ya que es un elemento que, con una inversión fuerte en dinero permite lograr una ventaja competitiva importante.

Además, de esta forma se evita que los ingenieros en los mundiales de motociclismo tengan que pasar por un periodo de adaptación, ya que tradicionalmente provienen de la competición Formula Student, y al mismo tiempo empresas dedicadas al sector de la motocicleta pueden contar con ingenieros formados en la dinámica de vehículos de dos ruedas.

La competición se celebra por primera vez en 2010 con una participación sorprendentemente alta, entre la que se incluían una veintena de equipos de universidades nacionales y dos de universidades extranjeras. En 2012, el número de participantes apenas presentó variación. En 2014 se completa la internacionalización del proyecto, con la inclusión de una decena de equipos extranjeros, algunos incluso de países americanos. En 2016 se introduce la posibilidad de motorización eléctrica y se completa la internacionalización de la competición, con más de 10 equipos extranjeros. En 2018 el evento ya tiene un atractivo internacional desde el punto de vista deportivo y se cuenta con una participación de 70 equipos de 14 países diferentes repartidos en las dos categorías, 45 en Moto Student Petrol y 25 en Moto Student Electric.



**Ilustración 2: Foto de todos los equipos de la segunda edición**

El propósito de la competición es que el equipo (formado por 7-15 participantes) se considere como una empresa fabricante de motos de competición para diseñar y fabricar

un prototipo teniendo en cuenta las condiciones técnicas dadas por la organización. La organización entrega a todos los equipos un kit compuesto por varios elementos (entre ellos el motor, llantas y frenos), con el objetivo de reducir la ventaja de equipos con mayor capacidad económica. El diseño y la fabricación, o en su caso la búsqueda y compra de los demás componentes (exceptuando el chasis y el basculante que deben ser originales para cada participante), queda a cargo del equipo. Para ello la búsqueda de posibles patrocinadores es fundamental para la realización de este proyecto, y de esta forma se pone en contacto a los alumnos con empresas del sector mucho antes de terminar los estudios.

El proyecto Bizkaia-ESI Bilbao de la Escuela de Ingeniería de Bilbao cuenta con la experiencia de haber participado en todas las anteriores ediciones de la competición. En él, se trata de involucrar al mayor número posible de alumnos interesados en el proyecto, además de diseñar y fabricar el mayor número de piezas posible, así como de otros proyectos paralelos que puedan ser de utilidad tanto en la edición actual como en futuras ediciones.

### 3 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

---

El objetivo principal de este trabajo es el de diseñar un chasis competitivo para la competición Moto Student que se adapte tanto a nuestras exigencias como a nuestras limitaciones (sobre todo en el ámbito de la fabricación).

Para ello se empezará por comparar las diferentes alternativas con las que nos podríamos encontrar teniendo en cuenta que no debe ser demasiado difícil de fabricar, que tiene que ser lo más ligero posible además de resistente y que su diseño debe ser flexible para adaptarlo a los demás componentes de la moto ya que este es el elemento en el que se anclan la mayoría de los demás. De entre todas ellas se elegirá la más conveniente teniendo en cuenta las diferentes ventajas y/o desventajas que nos aportaría.

Una vez hecha la elección, se procederá al diseño del chasis. Partiendo de la experiencia del equipo obtenida en ediciones anteriores de la competición, se hará un primer diseño sobre el cual se irán haciendo modificaciones para la optimización del mismo. Los parámetros principales a ajustar de cualquier chasis de competición son las rigideces longitudinal, lateral y torsional, ya que de ellas depende en gran parte el comportamiento de la moto.

Se realizará pues, un análisis por elementos finitos del chasis para calcular estas tres rigideces y adaptarlas a los intervalos en los cuales se consideran aceptables para el correcto funcionamiento del mismo. Dichos intervalos están basados en los mencionados en el libro *“Motorcycle Dynamics”* y adaptados en función de los usados en otros años que hayan traído buenos resultados. Para ello se aplicarán cargas unitarias en diferentes puntos y se medirán los desplazamientos correspondientes para calcular la rigidez en cada caso.

A diferencia del chasis de un coche, en una moto no se busca la mayor rigidez posible, ya que se espera que este elemento tenga la capacidad de absorber vibraciones cuando la moto esta inclinada y la suspensión no trabaja bien al no estar en su plano principal. Nótese que esto en un coche no pasa, ya que este no se inclina para tomar las curvas de la misma forma que un vehículo de dos ruedas.

Además de las rigideces, se tendrán en cuenta las demás características importantes previamente mencionadas. En cuanto a la fabricación, se busca que sea lo más simple posible, dado que en su mayoría se hará a mano y se pretende minimizar el error cometido en el proceso. El peso también será algo importante a tener en cuenta ya que este año se pretende bajar el peso total de la moto con respecto a la edición anterior, siempre y cuando la reducción del mismo no comprometa las rigideces previamente dichas u la normativa impuesta por la organización. El diseño también tiene que ser flexible a diferentes cambios inesperados (tanto a priori como a posteriori) y accesible, ya que el resto de elementos de

la moto irán anclados a él y será necesario montar y desmontar algunos de ellos en repetidas ocasiones.

Este proceso de diseño es iterativo, ya que a cada cambio realizado debe comprobarse si ha sido para bien o para mal y han de tenerse en cuenta todas las diferentes alternativas que puedan llevar a un mejor resultado. De esta forma se espera conseguir un buen chasis, que sea competitivo y que se adapte tanto a nuestras necesidades como a nuestras limitaciones, que contribuya al buen comportamiento de la moto y que sirva al equipo para conseguir una buena clasificación en la competición.

## 4 BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

---

La realización de este trabajo aporta numerosos beneficios para el equipo Bizkaia-ESI Bilbao. El chasis, al ser un elemento fundamental en el desarrollo del prototipo, merece ser estudiado a fondo y su diseño ha de ser optimizado para obtener el mejor rendimiento posible de cara a la competición. Este trabajo ha de llevarse a cabo de la forma más meticulosa posible ya que si el producto final no resultara ser adecuado, supondría una gran pérdida de tiempo y esfuerzo de cara al evento final de la competición, ya que todo el proceso habría de repetirse. Además, al ser este el componente base al que se une el resto, supondría un retraso en el diseño de los demás componentes y en la optimización de los mismos o del rendimiento general de la moto, ya que tiene que estar completamente lista para probarla. Por tanto, la optimización del diseño del chasis es un trabajo muy importante tanto para conseguir buenos resultados como para garantizar la validez del mismo, lo que lleva a invertir el tiempo necesario en esta tarea de forma que no sea necesario empezar desde cero una vez esté fabricado.

De esta forma se optimiza un elemento fundamental de la moto sin el cual su funcionamiento es imposible. Además, permite aumentar el conocimiento sobre este elemento en concreto y de la dinámica de vehículos de dos ruedas, ya que unos conocimientos básicos en ese tema son cruciales para el correcto diseño del chasis.

Además, el hecho de formar parte del equipo Bizkaia-ESI Bilbao da la oportunidad de realizar un proyecto real que va ser puesto a prueba en una competición internacional, contando con la experiencia adquirida en anteriores ediciones. Esto resulta en una motivación extra para llevar a cabo el proyecto de forma satisfactoria, por parte no sólo del que lo realiza sino de todo el equipo.

## 5 ANALISIS DE ALTERNATIVAS

El chasis es el elemento estructural de la motocicleta. Es una parte fundamental de ella ya que es la parte en la que irán anclados el resto de componentes de la moto y la que sujetará el conjunto.

A la hora de diseñar este elemento, hay que tener en cuenta que tenga una buena accesibilidad para que sea útil y manipulable para poder montar y desmontar los diferentes componentes.

El chasis tiene que ser resistente; es decir, tiene que soportar las cargas dinámicas que irán actuando durante la utilización de la motocicleta de forma que no haya ningún tipo de rotura, pero a la vez tiene que ser relativamente ligero, ya que en competición interesa minimizar el peso lo máximo posible (siempre y cuando se supere el peso mínimo de la moto impuesto por la organización).

Además de soportar las cargas, es fundamental que tenga una gran rigidez en varias direcciones para que el funcionamiento del conjunto sea bueno y no se deforme en exceso, lo que provocaría inestabilidad, y al mismo tiempo que no sean demasiado elevadas para la absorción de vibraciones cuando la moto está en curva y la suspensión no trabaja bien, esto último supondría una pérdida de agarre. A continuación, se describen las distintas opciones a tener en cuenta y se valora cada una para decantarse por la más apropiada para este proyecto.

### 5.1 CHASIS DE SIMPLE CUNA

Este tipo de chasis se fabrica con perfiles en un solo plano vertical que discurren desde la pipa de la dirección hasta unirse con el eje del basculante. Se caracteriza porque tiene un tubo principal que desciende por debajo del motor de la moto, en forma de “cuna” y de esta forma la estructura al completo se puede decir que envuelve al motor.



Ilustración 3: Chasis de simple cuna

Las prestaciones de este tipo de chasis suelen ser bastante bajas y no aporta una rigidez demasiado elevada, por esto suele usarse sólo en motos de gama baja. Actualmente se utilizan solamente en scooters y en motos que no necesiten grandes potencias, por lo que no sería una buena elección para este proyecto.

## 5.2 CHASIS DE DOBLE CUNA

Se puede decir que este tipo de chasis es una evolución del anterior. En este caso, desde la pipa de dirección salen dos tubos hacia abajo que abrazan el motor por los laterales y llegan al eje del basculante por separado.

Al ser una mejora del chasis de simple cuna cerrado, quiere decir que tienen prestaciones mejoradas. De hecho, esta variante de chasis tiene una rigidez más elevada que el caso anterior ya que forma una estructura bastante más sólida y sujeta la moto por sus laterales.

El problema que surgió de este tipo de chasis fue que normalmente se usaban con motores monocilíndricos, y cuando el cárter del motor era más ancho de lo habitual se montaban más elevados, lo que implicaba que el centro de gravedad fuera más alto. En este caso no sería un gran problema ya que se dispone de un motor monocilíndrico de un tamaño



Ilustración 4: Chasis de doble cuna

pequeño, pero de todas maneras este tipo de chasis suele ser bastante pesado.

En muchos casos, para que la tarea de extraer el motor sea más sencilla, los elementos del chasis se atornillan en vez de ser soldados. De esta forma se consigue que sea mucho más sencillo desmontar el chasis y acceder al interior.



### 5.3 CHASIS MULTITUBULAR

Esta variante de chasis consiste en dos tubos que rodean el motor por cada lado, uniendo así la moto desde la pipa de dirección hasta el anclaje con el basculante. Para aumentar la rigidez, se triangulan entre sí mediante montantes formando una celosía, de esta forma los tubos trabajan a tracción o a compresión en su mayor medida.



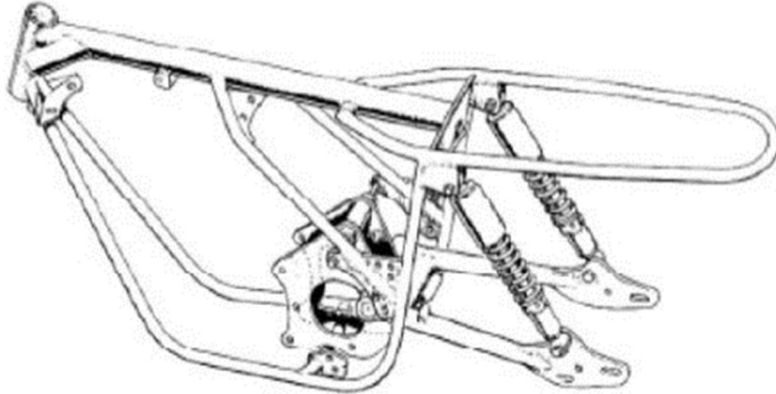
**Ilustración 5: Chasis multitubular**

Al emplearse tubos de una sección bastante pequeña se consigue que el chasis tenga una muy buena relación rigidez-peso que aporta un buen comportamiento a la moto. Además, en este caso el mismo motor suma rigidez al conjunto, elevando aún más las prestaciones del conjunto. Cabe destacar que esta disposición es característica de Ducati, aunque su uso esté extendido.

### 5.4 CHASIS MONOVIGA O DE ESPINA CENTRAL

Este chasis está formado principalmente por un elemento (normalmente tubular) de gran sección para conseguir una rigidez elevada y un buen comportamiento a torsión y flexión.

El tubo de mayor sección se coloca en la parte superior de la moto (justo por debajo del depósito), de esta forma el motor se cuelga de la viga y se pueden añadir tanto unos soportes laterales como una cuna para mantener el motor bien sujeto.



**Ilustración 6: Chasis de espina central (con doble cuna y anclajes para el motor)**

Al no estar el motor rodeado, surgen problemas a la hora de diseñar motocicletas con un motor grande ya que se deben desarrollar métodos para la correcta sujeción del mismo. En este caso no sería un problema dado que el motor proporcionado por la organización es relativamente pequeño, pero eso no quita que haya que diseñar los anclajes para el resto de elementos de la moto, y aunque tiene buena accesibilidad y una fabricación aparentemente simple, esta última puede volverse una tarea complicada.

## 5.5 CHASIS DE DOBLE VIGA PERIMETRAL

Este diseño fue desarrollado en su día por Antonio Cobas y como su propio nombre indica, este tipo de chasis se compone de dos vigas que salen desde la pipa de dirección, una a cada lado, con una gran sección acabando en el anclaje del basculante y uniendo así la moto. Normalmente se ayudan de unos soportes secundarios para anclar bien el motor y demás elementos.



**Ilustración 7: Chasis de doble viga perimetral**

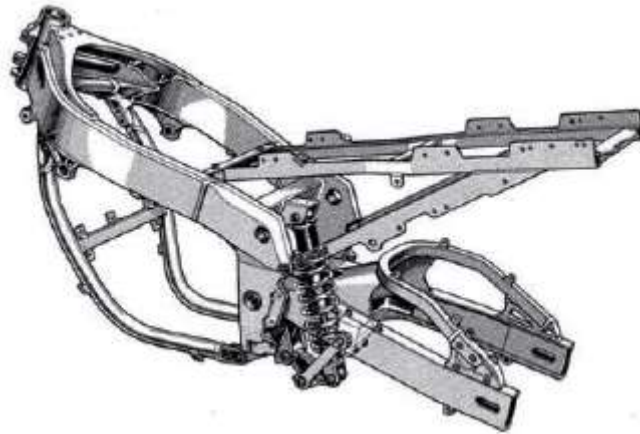
El chasis de doble viga se podría decir que es el más utilizado en motos deportivas y de competición ya que por su diseño ofrece mucho espacio para los motores, tomas grandes de "airbox" y facilidad de acceso. Por otro lado, también tiene algún aspecto negativo, como que estructuralmente no es demasiado eficiente, e incluso fabricado en aluminio el resultado es bastante poco ligero ya que para aportar la rigidez deseada hay que aumentar la sección de las vigas.

## 5.6 CHASIS DE DOBLE VIGA PERIMETRAL CERRADO

Este es una variante del chasis doble viga perimetral que obviamente apareció después para intentar solventar algún problema.

En este caso, a las vigas principales que rodean el motor, se añaden dos vigas (o tubos) de sección pequeña que salen de la pipa de dirección y se anclan al basculante por la parte

inferior del motor, recuperando así el efecto de cuna anteriormente comentado. Esto permite un mejor anclaje del motor lo que se traduce en mejor comportamiento estructural.



**Ilustración 8: Chasis de doble viga perimetral cerrado (con basculante y semichasis)**

Al incluir las vigas o tubos inferiores, se vuelve a perder parte del espacio que se ganaba con la doble viga perimetral normal por lo que esta variante no ha sido tan exitosa.

## 5.7 CHASIS MONOCASCO

Aquí se presenta el tipo de chasis que ha sido utilizado por Vespa durante muchos años. Esta opción consiste básicamente en que el carenado de la motocicleta sea el elemento que



**Ilustración 9: Chasis monocasco**

aporta rigidez al conjunto, es decir, al mismo tiempo hace de parte estructural y de carrocería. Esta misma idea se usa bastante en automóviles (carrocería autoportante).

Hay que destacar que su fabricación es bastante compleja con las maquinas a disposición dada su geometria irregular, y por lo tanto no sería una buena opción.

## 6 SELECCION DE LA SOLUCION PROPUESTA Y DISEÑO

En este apartado se explica la selección del equipo para este proyecto teniendo en cuenta los diferentes criterios y se hace una descripción de la geometría que tendrá el chasis. También se explican las bases más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de hacer el diseño.

### 6.1 SELECCION DE LA SOLUCION PROPUESTA

Los criterios para seleccionar el tipo de chasis a emplear se basan en varios aspectos. Lo primero es ver que el tipo de chasis sea eficiente para una motocicleta de competición. Es decir, que el reparto de masas sea óptimo y que aporte una buena rigidez siendo a la vez ligero. Pero además de esto, es fundamental que sea una solución lo más sencilla posible de fabricar. Este aspecto es fundamental dado que el chasis será fabricado a mano, y aunque el diseño sea muy bueno, si su fabricación es muy complicada de llevar a cabo, puede ocurrir que no se haga bien y ser una fuente de problemas tanto estructurales como de fiabilidad. De esta forma se opta por una solución conservadora para garantizar el buen comportamiento de la motocicleta y la resistencia del chasis.

La primera incógnita que se plantea es la elección de material. Las opciones son el aluminio y el acero puesto que otros materiales que se podrían tener en cuenta como el titanio o la fibra de carbono están prohibidos por la organización. El aluminio es un material mucho más ligero que el acero, pero hay que decir que esa es su única ventaja frente al acero. Es un material con peores propiedades mecánicas (en general) y con una peor soldabilidad. Al necesitar más material para conseguir la rigidez deseada, se deja menos hueco para acceder más tarde al motor u otros componentes o para la colocación y el montaje de los mismos, lo que no beneficia el proyecto.

Puesto que la única ventaja del aluminio es su peso, finalmente se ha decidido por el acero. Como el acero tiene mejores propiedades mecánicas que el aluminio, se necesita menos material para conseguir la misma rigidez, dejando así más espacio. Además, el acero es mucho más fácil de soldar que el aluminio y su precio es más barato.

En cuanto al tipo de chasis, y después de considerar las distintas opciones, finalmente se ha decidido hacer un chasis multitubular triangulado, dado que aporta una relación rigidez- peso muy buena y en consecuencia un buen comportamiento de la moto. Además, deja mucho espacio en el interior para poder colocar bien el motor de la motocicleta y el resto de componentes (tales como el radiador, depósito, cableado...). Por otra parte, esta solución es una de las más sencillas de fabricar, ya que solamente se trabajará con tubo. Para facilitar la fabricación de los montantes, dado que todos deben ir soldados a nudo como dicta el

reglamento de la competición, se opta por reducir su diámetro con respecto a la de los tubos principales para que estos no se solapen.

Para facilitar el anclaje del motor y el resto de elementos se soldarán en la parte posterior dos chapas (también de acero). Estas chapas serán el punto de anclaje tanto del basculante como del conjunto de la suspensión trasera y el motor, y se dimensionarán de acuerdo a las necesidades de espacio de los componentes que soporten.

## 6.2 BASES DE DISEÑO

Para el diseño del chasis se parte del diseño de la anterior edición, haciendo en este diferentes modificaciones para el ajuste a las necesidades de la edición actual. Una modificación importante ha sido el aumento de la batalla (distancia entre ejes) para así aprovechar la potencia del nuevo motor que será algo mayor a la del año pasado. De esta forma, este año se cuenta con un chasis más largo que aporta mayor estabilidad tanto en aceleración como en frenada, que evita (o ayuda) que ninguna de las ruedas se despegue del suelo en el proceso. Otra modificación que ha alterado por completo el proceso de diseño ha sido el ajuste del chasis (las chapas traseras para ser exactos) directamente con el motor. El objetivo de esta modificación es disminuir la distancia entre las chapas para facilitar el anclaje de la suspensión trasera. El problema que se quiere evitar es el momento que se produce en las barras transversales en las cuales se ajusta el sistema de suspensión con el chasis, y para ello basta con disminuir la distancia entre los apoyos.

Teniendo en cuenta estos ajustes la solución por la que se opta es la de doblar los tubos perimetrales estrechándolos en la parte trasera de forma que ajusten con el motor. Este diseño obliga al basculante a estar por fuera del chasis, algo que no se había hecho hasta ahora en el equipo, complicando así el diseño de las estriberas ya que deberán librar el movimiento del basculante y la cadena. Otro problema ha sido la pérdida de rigidez a causa de este estrechamiento, que se ha notado principalmente en la rigidez torsional, lo que ha llevado al aumento del espesor de las chapas traseras para su compensación.

Para la validación del chasis se tendrán en cuenta las tres rigideces principales: lateral, torsional y longitudinal. El cálculo de estas se llevará a cabo mediante el análisis por elementos finitos del chasis. Para ello se diferenciarán tres casos de cargas que servirán para calcular cada una de ellas de la forma más precisa posible. Los valores que estas han de tener están basados en los que aparecen en el libro *“Motorcycle dynamics”* y adaptados para este caso en particular. Hay que tener en cuenta que en el libro la cilindrada a tener en cuenta es de 1000 cc, mientras que en el caso del prototipo la cilindrada sólo es de 250 cc y que se trata de una moto bastante pequeña y ligera, por lo que las rigideces necesarias serán bastante más bajas. A lo largo de los años en los que el equipo ha tomado parte en la

competición, los valores de rigidez han ido modificándose a gusto del piloto. Estos intervalos se especifican más adelante, al explicar en detalle cada caso de carga.

Durante el proceso de diseño se considerarán diferentes diámetros y espesores para tubos principales y montantes, así como la reducción de material en las chapas traseras. Todo ello estará dirigido a la reducción de peso teniendo en cuenta que es primordial mantener unos mínimos de rigidez para que el chasis proporcione un buen comportamiento a la motocicleta.

Las medidas escogidas para el diseño preliminar de los tubos y las chapas son las siguientes:

- Tubos principales
  - $D_{\text{ext}} = 25 \text{ mm}$
  - $D_{\text{in}} = 21 \text{ mm}$
- Montantes
  - $D_{\text{ext}} = 16 \text{ mm}$
  - $D_{\text{in}} = 12 \text{ mm}$
- Chapas traseras
  - Espesor = 10 mm

Las medidas de los tubos se toman de diseños anteriores como punto de partida, ya que han dado buenos resultados, y el espesor de las chapas se amplía en comparación con otras ediciones ya que el estrechamiento de la parte trasera trae consigo una reducción de la rigidez.

Para definir la geometría del chasis se parte del esquema base de la moto, definido por la batalla, el ángulo de lanzamiento, el avance de pivote, el descentramiento entre el eje de la rueda y el de la dirección y el punto de anclaje del basculante. Todo ello se representa mediante ejes y puntos de una manera sencilla que sea útil a la hora de dimensionar el chasis.

En cuanto al análisis resistente del chasis, hay que decir que al estar limitado por la rigidez y no por la resistencia no sería necesario hacerlo. Esto es debido a que un chasis diseñado a resistencia sería ridículo puesto que a pesar de no romperse no proporcionaría la necesaria rigidez para el buen comportamiento de la motocicleta y el confort del piloto. Por lo tanto, el análisis de resistencia no se considera significativo, aunque en este caso sí que se va a hacer para demostrar lo explicado. Lo mismo ocurre con el análisis de fatiga, ya que está basado en el análisis resistente. Es cierto que este último es más restrictivo que el análisis estático, pero al estar diseñado a rigidez y al tratarse de un prototipo que no va a realizar una cantidad muy elevada de ciclos (comparado con una moto de calle) tampoco se considera oportuno este tipo de análisis para este caso y no se hará en esta ocasión.

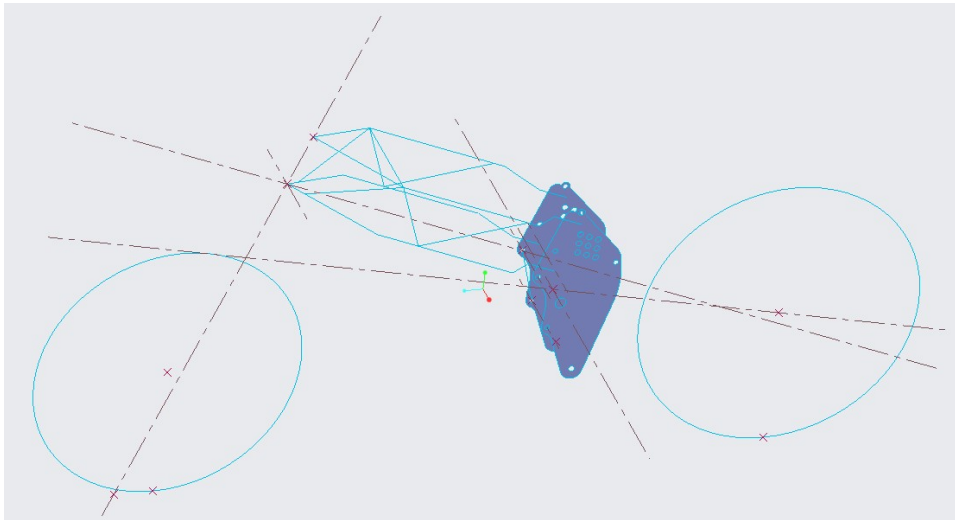


## 7 FASES DE DISEÑO

A continuación, se explica en detalle el procedimiento a seguir para el diseño y validación del chasis. Para ello se utiliza un programa de análisis por elementos finitos (PTC Creo en este caso) para dibujar la geometría básica del conjunto y el posterior cálculo de las rigideces.

### 7.1 PRIMER DISEÑO E IDEALIZACIÓN DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS

Teniendo como punto de partida el esquema deseado de la moto (batalla, altura, ángulo de lanzamiento y punto de unión con el basculante) así como las demás bases explicadas en el punto anterior, se procede al dibujo preliminar del esquema del chasis. Este se hará de la forma más sencilla posible, ya que se quiere que el análisis por elementos finitos sea lo más eficiente posible, es decir, que nos de unos resultados lo suficientemente precisos sin que el tiempo de cálculo sea elevado. En nuestro caso se usarán únicamente líneas para los tubos y planos para las chapas del chasis.



**Ilustración 10: esquema principal para el análisis del chasis**

Los tubos perimetrales deben envolver al motor los lados. Estos son los tubos de mayor sección ya que la rigidez del chasis depende en gran medida de ellos, y serán los que se doblarán para rodear al motor partiendo desde la pipa de la dirección hasta el estrechamiento en las chapas traseras. Para conseguir una mejor rigidez se triangulan entre sí mediante tubos de menor sección, y de esta forma se consigue la estructura deseada. Las chapas traseras se diseñan para que abarquen el espacio necesario para el anclaje de los diferentes elementos de la moto y que encajen bien con el motor. Para su dimensionamiento se parte de los puntos en los que se desea anclar la suspensión trasera, el basculante y el

motor y se traza una superficie que envuelva a los susodichos. De esta forma se termina con un diseño preliminar del chasis.

Una vez completado el esquema preliminar con la geometría deseada, el siguiente paso es el de idealizar los diferentes componentes que forman el conjunto. Para los tubos se usarán elementos tipo viga. Estos son elementos unidireccionales que además de tensiones axiales también soportan momentos. A continuación, se acota la sección para cada uno de los dos diámetros de tubo seleccionados y se define un tamaño de elemento máximo de diez milímetros. Este tamaño de elemento será más que suficiente para conseguir la precisión deseada, además, el programa usa elementos de mayor orden, es decir, con un mayor número de nodos. Al ser elementos sencillos se reduce el tiempo de análisis con respecto a los elementos tridimensionales, y de esta forma conseguimos una buena precisión con un tiempo de análisis reducido.

Para las chapas se usarán elementos tipo cáscara, que funcionan bastante bien en componentes planos y/o de poco espesor, como chapas o carcasas. Estos, son elementos bidimensionales que también soportan momentos. Se podría decir que, al igual que los elementos tipo viga, son elementos de dos dimensiones, o una, adaptados para usarse en tres dimensiones. Para estos últimos, se define un tamaño máximo de elemento de cinco milímetros para conseguir una mayor precisión, ya que será en las chapas donde se busque aligerar el chasis en su mayoría.

A parte del chasis en sí, es necesario añadir elementos rígidos para simular los demás componentes de la moto que una vez montados, aportarían rigidez al conjunto. Entre ellos tenemos el motor, la pipa de la dirección y los anclajes de la suspensión trasera. Los dos primeros se consideran indeformables en comparación con el chasis y para el último se añade una barra adicional.

Para el motor se usa el denominado "*rigid link*" o unión rígida (no se ve en el modelo) entre los puntos de anclaje superiores e inferiores. Se unirán por separado, ya que tampoco se quiere rigidizar demasiado esa zona. La pipa de la dirección también se modelizará de la misma forma, usando una unión rígida entre los dos extremos. Estas uniones mantienen la distancia entre los puntos o superficies seleccionados como si estuvieran unidos por un elemento infinitamente rígido. Por último, los anclajes de la suspensión también han de modelizarse. Ambos anclajes se modelizarán mediante una barra de doce milímetros de diámetro, el mismo que el de los agujeros destinados a la suspensión, y para la parte inferior también se restringe el movimiento en el sentido longitudinal, ya que ese movimiento no estará permitido por el mecanismo de la suspensión. Todo esto se considera suficiente para conseguir un modelo lo suficientemente preciso para llevar a cabo el análisis.

Hecho el esquema y definidos los elementos solamente queda restringir el conjunto y aplicar las fuerzas actuantes. Para ello existen dos posibilidades, empotrar la pipa de la dirección y aplicar las cargas en la parte posterior o empotrar la parte posterior y aplicar las cargas en la parte delantera. En este caso se opta por la segunda opción, ya que las cargas que soporta el chasis vienen principalmente del tren delantero. Para el empotramiento se elige el eje del basculante, ya que es ese el punto principal en el que se sujeta el tren trasero. Otra opción sería empotrar los puntos de unión con el motor, pero al ser este un elemento que aporta rigidez finalmente se opta por el eje del basculante.

Una vez hecho esto se hace el mallado con un total de 6732 nodos y 7240 elementos, 454 elementos de tipo viga y 6786 elementos de tipo cascara. Entre los elementos de tipo cascara hay 5146 elementos cuadrados y 1640 elementos triangulares (que se adaptan mejor a las geometrías complejas). Estos últimos son de tensión constante y reducen la precisión en los análisis, pero al usar elementos de un mayor orden este problema queda solucionado ya que añaden más nodos a cada elemento y las funciones de interpolación dejan de ser lineales.

## 7.2 ANALISIS RESISTENTE

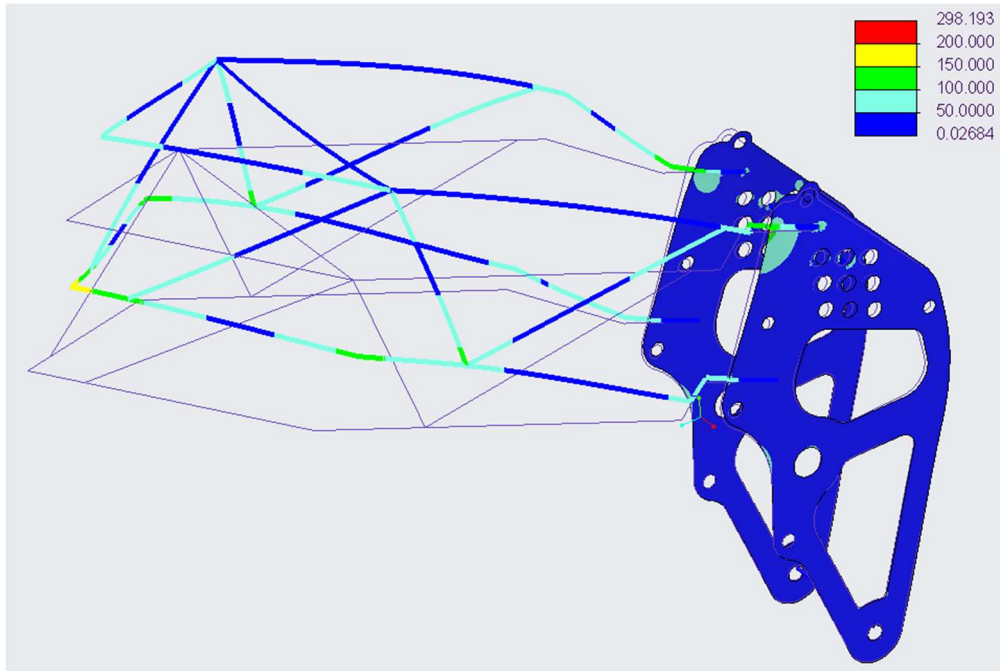
Como se ha dicho al explicar las bases de diseño el análisis resistente no será determinante a la hora de diseñar el chasis, pero aun así se procede a hacerlo para demostrar que el chasis está lejos de fallar de esta forma. Para llevar a cabo este análisis se consideran dos casos de cargas diferentes: en frenada y en curva. Estos dos son los más críticos en los que se puede encontrar el chasis. En ambos casos se supone una masa total de motocicleta más pilote de 200 kg.

### 7.2.1 ANALISIS RESISTENTE: FRENADA

Las fuerzas de frenada se calculan en la frenada más fuerte posible, justo cuando la rueda trasera vaya a perder el contacto con el suelo. En este caso tenemos dos fuerzas aplicadas en el punto de contacto de la rueda delantera con el suelo que se transmiten directamente al eje de la rueda y al chasis por el tren delantero: la fuerza normal con el suelo (vertical hacia arriba) y la fuerza de frenada (horizontal hacia atrás).

La fuerza normal es directamente el peso total, ya que la rueda trasera se levanta y todo el peso pasa a la parte delantera. La segunda se calcula como un múltiplo de la otra, ya que es igual a la fuerza de inercia que aparece debido a la aceleración de la frenada y que se aplica en el centro de gravedad del conjunto. Haciendo un equilibrio de fuerzas y momentos se obtienen la aceleración de frenada, y con ella la fuerza aplicada. La aceleración obtenida es

1,6 veces la gravitatoria, por tanto, la fuerza de frenada será 1,6 veces el peso total. En el modelo las fuerzas se aplican directamente en el punto central de la rueda.



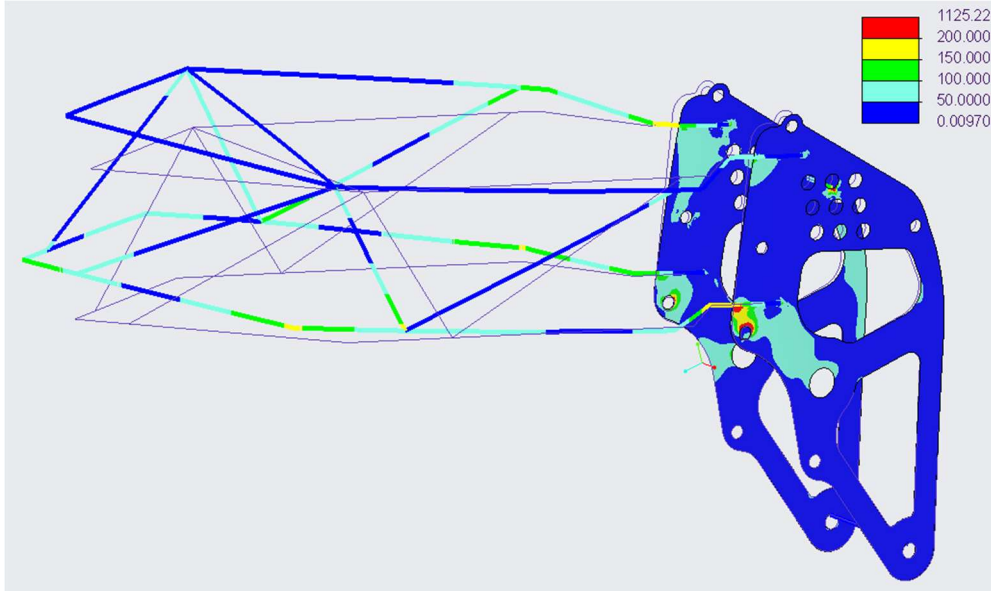
**Ilustración 11: Resultados del análisis resistente en el caso de la frenada**

Como se puede ver en los resultados la gran mayoría del chasis no pasa de los 100 MPa, la cual es una tensión ridícula para el acero. De hecho, las partes que tienen las mayores tensiones son los puntos de unión de los diferentes elementos, y se sabe que las concentraciones de tensiones en dichos puntos no son significativas dado que se trata de uniones puntuales que en la realidad no serán así. Además, en el caso de que se alcancen las tensiones máximas que aparecen en la ilustración (muy improbable), se darían en unas zonas muy reducidas, lo que llevaría a una plastificación local que no afectaría al rendimiento del chasis.

### 7.2.2 ANALISIS RESISTENTE: CURVA

Para este caso, se supone un paso por curva con una inclinación de 45° y sólo se tendrá en cuenta el efecto del peso, dado que estando la moto inclinada no se va a dar una frenada fuerte. A diferencia del caso anterior, se va a suponer que ambas ruedas están en contacto con el suelo y sólo se aplicará la mitad del peso total en el tren delantero. Tampoco se va a tener en cuenta la aceleración, pues en ese caso las cargas pasan al tren trasero.

De esta forma, se aplica una carga en el centro de la rueda con una inclinación de 45° equivalente a la mitad del peso total de la moto más el piloto.



**Ilustración 12: Resultados del análisis resistente en curva**

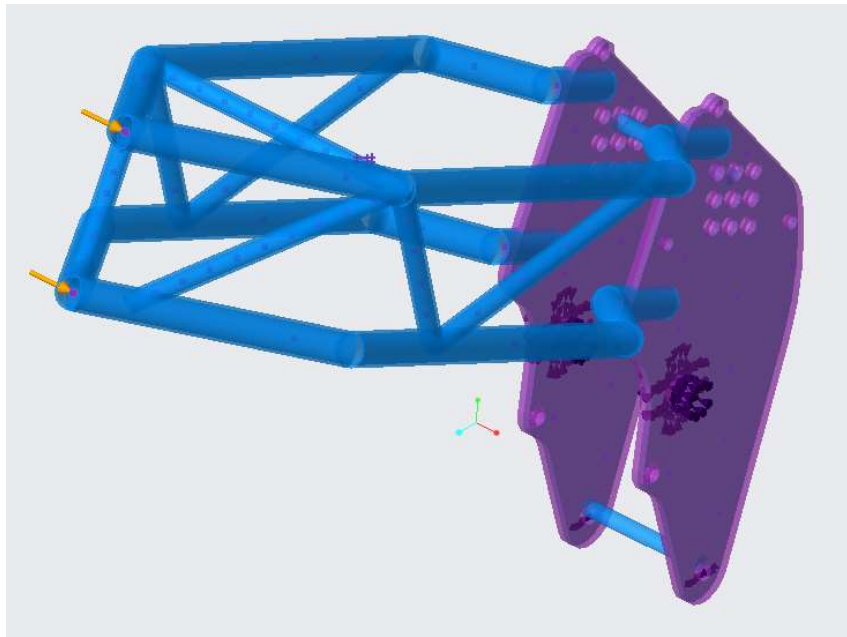
Al igual que en análisis anterior, la mayor parte del chasis no supera los 100 MPa. En este caso las concentraciones de tensiones son mayores y algo más extensas, pero no por eso son significativas ya que las uniones entre las diferentes partes no están modelizadas de forma realista. Estas no son más que puntos en el modelo, por lo que las tensiones en esas zonas se disparan, pero en la realidad eso no va a ocurrir. Además, en el caso de que ocurrieran se produciría una plastificación local que no afectaría al rendimiento, como ya se ha explicado en el apartado anterior.

### 7.3 PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA LOS CALCULOS DE RIGIDEZ

En este apartado se explican los procedimientos a seguir a la hora de calcular las diferentes rigideces del chasis tal y como se han llevado a cabo y que han sido inspirados por los descritos en el libro *“Motorcycle dynamics”*. Para ello se usa un programa de cálculo por elementos finitos (PTC Creo en este caso) con el cual una vez hecho todo el trabajo anterior, se procede a aplicar las cargas unitarias (1 N o 1 Nm) para el posterior cálculo de las rigideces previamente mencionadas. A continuación, se explica en detalle cómo llevar a cabo este cálculo para cada caso de carga.

### 7.3.1 RIGIDEZ LATERAL

Para el cálculo de rigidez lateral se aplica una carga unitaria repartida en ambos extremos de la pipa de la dirección, perpendicular al plano de simetría de la moto y en cualquiera de las dos direcciones, ya que el resultado debería ser el mismo.



**Ilustración 13: Caso de carga para el cálculo de la rigidez lateral**

Mediante el análisis por elementos finitos se mide el desplazamiento en la dirección de la fuerza en esos puntos y se calcula la rigidez de la siguiente forma usando la media:

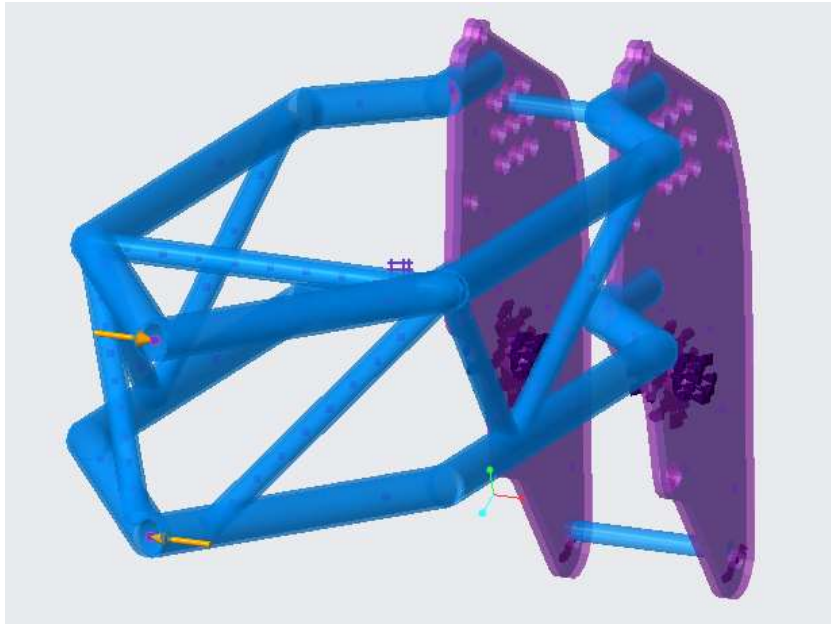
$$\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \quad (1)$$

$$K_{lat} = \frac{F}{\delta} \quad (2)$$

El intervalo de rigidez al que se quiere ajustar la rigidez lateral y que ha dado buenos resultados en otros años es el siguiente: 0,2-0,4 kN/mm.

### 7.3.2 RIGIDEZ TORSIONAL

En el caso de la rigidez torsional lo que nos interesa conocer es el giro. Para calcular el giro lo único que hay que hacer es medir los desplazamientos de los dos extremos de la pipa de la dirección y dividirlos por su longitud. De esta forma se obtiene el giro de la pipa en radianes, ya que suponiendo deformaciones pequeñas el seno del ángulo es igual al ángulo mismo en radianes.



**Ilustración 14: Caso de carga para el cálculo de la rigidez torsional**

Después, para el cálculo de la rigidez solo falta dividir el momento aplicado con el giro:

$$\theta = \frac{\delta_+ - \delta_-}{d} \quad (3)$$

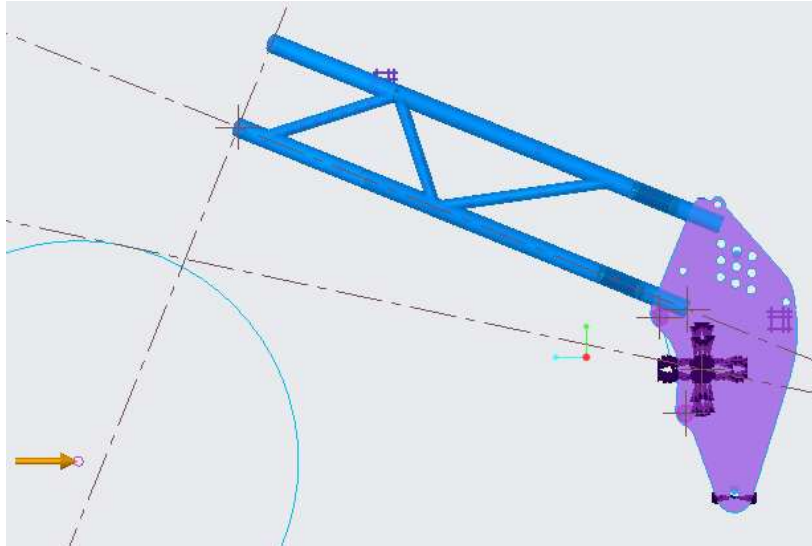
$$K_{tor} = \frac{F \cdot d}{\theta} \quad (4)$$

La rigidez torsional debe ser más elevada que la lateral, y el intervalo al que debería ser ajustada es el siguiente: 0,5-0,7 kNm/°.

### 7.3.3 RIGIDEZ LONGITUDINAL

Por último, la rigidez longitudinal se calcula aplicando la fuerza unitaria en el eje de la rueda delantera, simulando la frenada. Para calcular las deformaciones del chasis se ha de suponer

un tren delantero infinitamente rígido, para ello se utilizará la misma unión rígida que se usa con la pipa de la dirección y el motor.



**Ilustración 15: Caso de carga para el cálculo de la rigidez longitudinal**

Esta rigidez se calcula igual que la lateral, dividiendo la fuerza con la deformación del punto de aplicación de la carga:

$$K_{lon} = \frac{F}{\delta} \quad (5)$$

La rigidez longitudinal debería ser la más alta de las tres, sin alejarse demasiado de la torsional, y debería mantenerse por encima de los 0,5 kN/m.

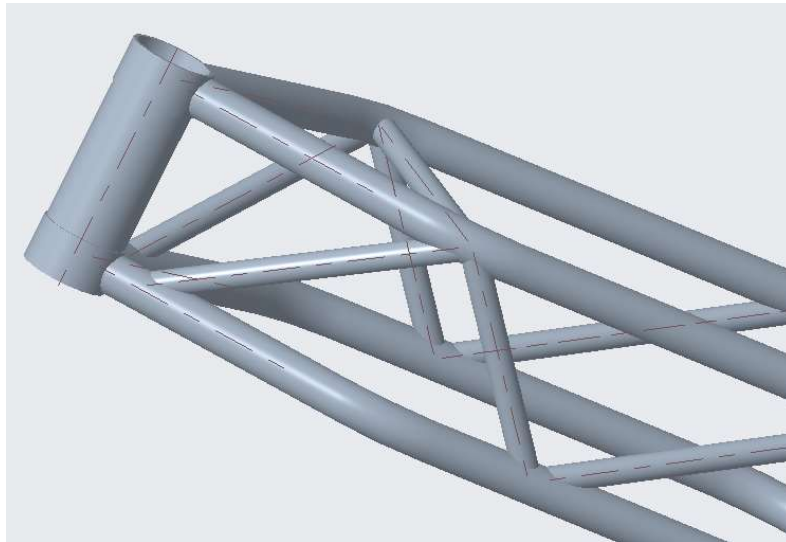
#### 7.4 COLOCACION DE LOS MONTANTES

A continuación, se procede a analizar cuál es la posición más conveniente para los montantes. La posición de los dos montantes delanteros queda definida directamente por la pipa de la dirección y la curva de los tubos perimetrales. Para los laterales ya habría un punto definido, el final del primer montante. Esto no podría ser de otra forma ya que el reglamento no permite la colocación de montantes que no se unan en un nodo, es decir, los ejes de los montantes cruzados deben unirse en el eje del tubo principal que corresponda en el mismo punto como se indica en la imagen 17.

Para encontrar la posición más conveniente de los montantes laterales, se llevan a cabo los análisis de rigidez explicados anteriormente para diferentes posiciones posibles en función del ángulo entre el segundo montante y el plano superior del chasis (imagen 14). Además,

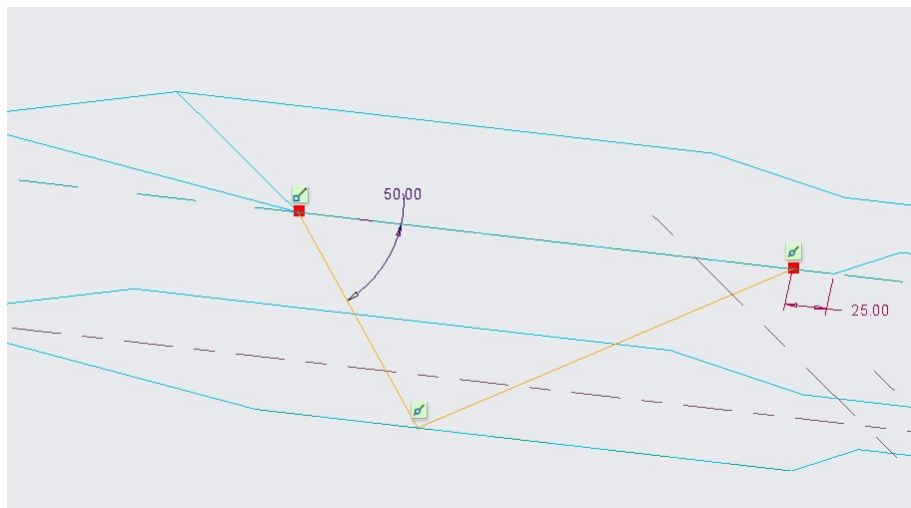


se fija una distancia entre el final del tercer montante y la curva posterior del chasis para tener un margen a la hora de doblar los tubos.



**Ilustración 17: Visualización de los montantes**

Se toman pues, cinco ángulos diferentes para comparar los diferentes resultados. Estos valores se toman de forma arbitraria entre 30° y 60°, y cambiando el esbozo de la siguiente imagen se procede a hacer el cálculo de las tres rigideces.



**Ilustración 16: Esbozo de los montantes laterales**

ANGULO (°)	$K_{lat}$ (kN/mm)	$K_{long}$ (kN/mm)	$K_{tor}$ (kNm/°)
30	0,258	0,598	0,726
40	0,256	0,613	0,691
45	0,256	0,619	0,681
50	0,255	0,624	0,671
60	0,255	0,631	0,653

**Tabla 1: Resultados de rigidez para diferentes ángulos de los montantes**

Como se puede observar en la tabla, la rigidez lateral apenas varía con los montantes laterales. Esto es debido a que ese no es su plano principal de trabajo, ya que no se producen esfuerzos de tracción y/o compresión en vertical, y por tanto no se tendrá en cuenta a la hora de elegir la colocación de los montantes.

En el caso de la rigidez torsional se aprecia una tendencia a reducirse a medida que el ángulo aumenta. Esto es debido a que las mayores deformaciones a torsión se dan en la parte posterior, y cuanto más pequeño sea el ángulo más atrás llega el nodo inferior y más se rigidiza la parte trasera. En el caso de querer conseguir una mayor rigidez a torsión bastaría con reducir el valor de este ángulo para conseguirlo.

La tendencia de la rigidez longitudinal es inversa a la de la rigidez torsional, es decir, más alta es cuanto más aumenta el ángulo. Mirando el análisis de deformaciones, se puede apreciar como la mayoría se producen en la parte delantera por el par producido por la fuerza en la rueda delantera. Para reducir estas deformaciones la solución es rigidizar más esa parte, y eso se consigue aumentando el ángulo del segundo montante para acercar a la parte delantera el nodo inferior. De esta forma se consigue una mejor transmisión de esfuerzos y una mayor rigidez longitudinal.

Finalmente, se elige el ángulo de 50°, ya que con este la rigidez longitudinal es bastante buena y no se llega a reducir demasiado la torsional.

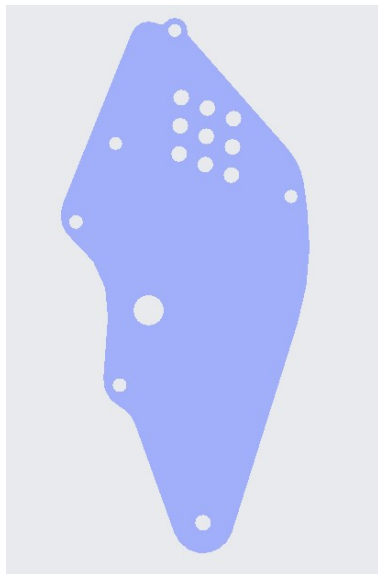
## 7.5 OPTIMIZACION DEL DISEÑO

Como se ha dicho anteriormente, el peso es una parte importante a tener en cuenta en el diseño de una motocicleta de competición, por tanto, es importante optimizar al máximo ese aspecto. En este caso, la reducción de peso se ha de hacer principalmente en las chapas traseras, ya que la parte delantera ya ofrece una muy buena relación rigidez/peso al ser una estructura triangulada formada por tubos. De todas formas, se hará un estudio para comprobar si merece o no la pena la reducción de peso en dicha estructura teniendo en cuenta los diámetros y espesores de los tubos.

### 7.5.1 CHAPAS TRASERAS

Para aligerar peso en las chapas sin perder demasiada rigidez, la reducción de material ha de hacerse en las zonas que menos trabajen, es decir, hay que buscar las zonas más homogéneas para evitar crear concentraciones de tensiones excesivas. Por tanto, se deben evitar las zonas más próximas a las uniones con la estructura tubular, el eje del basculante o los diferentes anclajes de la suspensión trasera o el semichasis, pues son las zonas por las que se transmiten las tensiones. Esto es muy importante para que la pérdida de rigidez sea mínima, puesto que se pretende mantener dentro de los intervalos mencionados.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se harán dos agujeros, uno en la parte inferior y otro en el centro. El primero irá desde la unión inferior de la suspensión trasera hasta la altura del eje del basculante, y el segundo empezará por encima de la línea del eje del basculante hasta llegar a los agujeros del anclaje superior de la suspensión trasera. Entre los dos agujeros se va a dejar un margen, ya que si se unen los dos agujeros la pérdida de rigidez sería demasiado alta, y también se respetará un espesor mínimo con respecto al contorno de las chapas. En la siguiente imagen se muestra la colocación de los agujeros.



**Ilustración 19: Chapas traseras sin agujeros**



**Ilustración 18: Chapas traseras con agujeros**

Nótese que se ha dejado un margen entre agujeros, anclajes y el contorno de las chapas. De esta forma se espera que los agujeros no supondrán una reducción significativa de la rigidez del chasis. Para comprobarlo se llevan a cabo los análisis una vez más y se calculan las rigideces para compararlas con los resultados anteriores. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

	$K_{lat}$ (kN/mm)	$K_{long}$ (kN/mm)	$K_{tor}$ (kNm/°)
SIN AGUJEROS	0,255	0,624	0,671
CON AGUJEROS	0,243	0,619	0,597
REDUCCION (%)	4,73	0,95	10,94

Tabla 2: Comparación de rigideces con y sin agujeros

La reducción de rigidez más alta es la de la rigidez torsional. Esto se podría haber previsto ya que el agujero superior le resta rigidez a toda esa zona y es ahí donde aparecen las mayores deformaciones de cara a los cálculos de la rigidez torsional; y en menor medida de la lateral. La pérdida de rigidez menos significativa es la de la rigidez longitudinal, cuya reducción no llega al uno por ciento. Esto también es de esperar, ya que la mayoría de tensiones en el caso de carga longitudinal se encuentran en la celosía y en los apoyos de la mismas, además la inercia de las chapas en el plano longitudinal a penas se ve afectada.

Visto que las rigideces no se reducen demasiado, volvemos al tema que nos ocupa: la reducción de peso. Antes de hacer los agujeros el peso total del chasis era de 11,26 kg, y con los agujeros en las chapas el peso se reduce a 9,07 kg, lo que nos lleva a una reducción de peso de 2,19 kg (19.45% del peso anterior). Una reducción de dos kilos en una moto de más de cien puede parecer insignificante, pero hay que tener en cuenta que todo suma. De hecho, uno de los objetivos de esta edición es la reducción de peso. Teniendo como referencia los ciento quince kilos (más o menos) de la edición anterior, esta vez se quiere llegar a los cien o ciento cinco como mucho. Por tanto, esta reducción de peso en el chasis representaría más del diez por ciento del peso total a quitar, lo que no está nada mal teniendo en cuenta que es el elemento más pesado de la moto y que tiene que mantener unos mínimos de rigidez.

## 7.5.2 ESTRUCTURA TUBULAR

Aunque como ya se ha dicho antes el chasis multitubular ya tiene una gran relación rigidez/peso, nunca está de más investigar a ver si es posible mejorar este aspecto para poder aligerar al máximo el chasis. Para ello se comienza con una reducción en el espesor de los tubos manteniendo el diámetro exterior de la misma medida y después una reducción del diámetro de los tubos manteniendo el espesor constante.

### 7.5.2.1 Reducción de espesores

Partiendo de que ambos espesores son de dos milímetros (tubos perimetrales y montantes), se propone reducirlos a un milímetro y a milímetro y medio para comprobar el efecto que supondría. En la siguiente tabla se muestran los resultados de los cálculos comparados con los anteriores (se tendrán en cuenta los agujeros de las chapas).

ESPESOR (mm)	$K_{lat}$ (kN/mm)	$K_{long}$ (kN/mm)	$K_{tor}$ (kNm/°)
2	0,243	0,619	0,597
1,5	0,210	0,498	0,517
1	0,167	0,357	0,405

**Tabla 3: Comparación de las diferentes rigideces en función del espesor de los tubos**

Como se puede apreciar en la tabla, las tres rigideces caen drásticamente hasta valores excesivamente bajos o que no son aceptables. Estos resultados, indican que no es viable la reducción del espesor de los tubos ya que supone una caída importante de la rigidez. Esta caída es debida a que al tener menor sección las tensiones que aparecen son mayores, por tanto, las deformaciones también lo son.

Viendo esto, se opta por dejar los tubos perimetrales como están y reducir el espesor únicamente en los montantes. Se repiten pues los cálculos de rigidez para comparar los resultados con los anteriores.

ESPESOR (mm)	$K_{lat}$ (kN/mm)	$K_{long}$ (kN/mm)	$K_{tor}$ (kNm/°)
2	0,243	0,619	0,597
1,5	0,242	0,602	0,584
1	0,241	0,576	0,557

**Tabla 4: Comparación de las diferentes rigideces en función del espesor de los montantes**

Los valores obtenidos en esta ocasión son bastante mejores que los obtenidos en el cálculo anterior. Como se puede ver en la tabla 4, la rigidez lateral a penas se ve afectada por la reducción en el espesor de los montantes, ya que estos no trabajan tanto en ese plano. Sin embargo, sí que se nota la diferencia en las otras dos, ya que los esfuerzos longitudinales y de torsión sí que se transmiten a través de los montantes.

Para el caso de un milímetro de espesor, las deformaciones son demasiado elevadas y no se tendrá en cuenta. El otro caso, sin embargo, sí que resulta de interés ya que no supone una reducción de la rigidez tan elevada, y por tanto resulta interesante calcular el peso que se ahorra con esta medida. Si bien el peso del chasis es de 9,07 kg teniendo en cuenta los agujeros de las chapas y sin reducir el espesor de los montantes, reduciendo el espesor de estos se consigue un peso de 8,90 kg. Por lo tanto, con esta medida se ahorrarían 170 g, lo que no supone un gran avance dada la pérdida de rigidez que supone. De esta forma se concluye que los diámetros y espesores seleccionados para los tubos que forman la celosía son correctos y no se llevará a cabo ninguna reducción de peso en ellos.

#### 7.5.2.2 Reducción de diámetros

En este apartado se estudia el efecto de reducir los diámetros de los tubos que forman la estructura tubular, manteniendo el espesor de dos milímetros, para comparar los

resultados obtenidos en los análisis. De nuevo se empieza por reducir los diámetros de ambas secciones para comprobar si sería viable o no calculando las rigideces del chasis.

Los diámetros iniciales son de 25 y 16 milímetros respectivamente para los tubos perimetrales y los montantes, y se pretende reducirlos en 0,5 y 1 milímetro. Se espera que la reducción de un milímetro sea excesiva, pero se pretende ver de todas formas cuales serían sus efectos.

Además, también se compararán los efectos de la reducción en los montantes y en los tubos perimetrales por separado. Para ello, se harán reducciones de un milímetro en ambas secciones para ver cuales tendrán los mayores efectos. Se sabe que los tubos perimetrales son los que más rigidez aportan al conjunto, y por tanto, será al reducir estos donde se note más la diferencia, pero de todas formas es interesante ver cuál es la diferencia entre ambos. En la siguiente tabla se muestran los resultados de los análisis.

REDUCCION	$K_{lat}$ (kN/mm)	$K_{long}$ (kN/mm)	$K_{tor}$ (kNm/°)
-0,5 mm	0,234	0,582	0,578
-1 mm	0,224	0,547	0,556
-1 mm (sólo perimetrales)	0,225	0,563	0,566
-1 mm (sólo montantes)	0,242	0,601	0,590

**Tabla 5: Comparación de las diferentes rigideces en función de los diámetros de los tubos**

Como se esperaba, la reducción de un milímetro en todos los tubos era excesiva, pero lo que no se había previsto de antemano es la pérdida de rigidez tan alta por reducir los diámetros en tan solo medio milímetro. Vistos los resultados, la pérdida de rigidez es inaceptable por lo que no es viable esta solución para la reducción de peso del chasis.

En cuanto a la comparación entre montantes y tubos perimetrales, resulta interesante ver la gran diferencia que hay en los cálculos. En la rigidez lateral es donde mayor es la diferencia, ya que no se ve afectada por la reducción del diámetro de los montantes, y sin embargo baja mucho al reducir los tubos perimetrales. Esto es de esperar, ya que como se ha dicho anteriormente los montantes no contribuyen demasiado a incrementar la rigidez lateral. En cuanto a las otras dos, sí que se notan los efectos de la reducción del diámetro de los montantes, pero aun así no tienen nada que ver con los efectos de la reducción de los diámetros de los tubos perimetrales, llegando a superar las pérdidas de rigidez en el primer caso por cuatro veces para la rigidez longitudinal y por tres para la torsional.

Volviendo al tema de aligerar el chasis, la única opción que podría ser de interés es la de reducir el diámetro de los montantes, ya que es en este caso en el que las pérdidas de rigidez son menores. El peso del chasis con esta modificación es de 9,02 kg, que comparado con los 9,07 kg que teníamos sólo supone una reducción de 50 g, lo que no merece la pena dado que de esta forma estaríamos perdiendo rigidez.

Después de estos estudios se confirma que la estructura tubular triangulada aporta una relación de rigidez peso óptima para el buen comportamiento de la moto y que no es necesario reducir el peso en esa zona del chasis, ya que la mejora no compensa la pérdida de rigidez correspondiente. Es por esto que la reducción de peso se hará en las chapas traseras en su totalidad.

## 8 FABRICACION

Como se ha dicho anteriormente, la fabricación del chasis se hará a mano con las herramientas y maquinas a disposición en el taller partiendo de diferentes materiales para cada elemento que compone el chasis. La pipa de la dirección se mecanizará en el torno partiendo de una barra perforada. Las chapas se pedirán a un agente externo que las cortará por láser y la celosía se hará con tubos de diferentes diámetros. La fabricación del chasis se puede dividir en cuatro partes: preparación de los tubos, preparación de las chapas, torneado de la pipa y soldadura.

### 8.1 PREPARACION DE LOS TUBOS

Después de comprar los dos tipos diferentes de tubos que forman el chasis, el primer paso es cortarlos a las medidas necesarias, teniendo en cuenta un margen de error para poder hacer el doblaje de forma correcta y los ajustes para la soldadura. La medida total de los tubos perimetrales es de 675 mm cada uno, lo que hace un total de 2700 metros, por lo que se piden tres metros de tubo. Teniendo en cuenta el margen descrito y que la longitud de los tubos encargados es de metro y medio, se opta por cortarlos directamente por la mitad obteniendo cuatro tubos de 750 mm de largo, lo cual es más que suficiente para poder doblar bien y hacer los ajustes necesarios.

Estos se doblan en la dobladora de tubos con los ángulos determinados por el diseño: 150° en la parte frontal y 45° en la ese. Para que el error sea mínimo se usará un goniómetro y una vez doblados se comprobarán los tubos con el plano a escala real a modo de plantilla.



Ilustración 20: Dobladora de tubos



Los montantes no habrán de doblarse, y será suficiente con cortarlos a las medidas apropiadas y hacer el ajuste de la soldadura. En estos el ajuste es más crítico que en los anteriores puesto que estos tienen una posición inclinada. La longitud total de los montantes es de 1390 mm por lo que será suficiente con pedir metro y medio de tubo. Teniendo en cuenta la longitud total del tubo disponible y el margen para los ajustes las longitudes de corte serán las siguientes:

CANTIDAD	LONGITUD (mm)
1	230
2	170
2	245
2	220
<b>TOTAL: 7</b>	<b>1500</b>

**Tabla 6: Longitudes de corte de los montantes**

Los ajustes se harán usando la sierra radial, y una lima para el acabado final. Estos ajustes son importantes para facilitar el proceso de soldadura, ya que un mal ajuste supondría un espacio excesivo entre los elementos a soldar y sería necesario un cordón más grande, que a su vez es fuente de posibles imperfecciones.

## 8.2 PREPARACION DE LAS CHAPAS

La preforma de corte por láser de las chapas se encargará a una empresa externa, pero debido a que en algunos puntos tales como el eje del basculante la precisión requerida es mayor que la que puede ofrecer, deben ser terminadas en el taller. Es por esto que los planos que se entreguen a la empresa no deberán ser los definitivos. En los agujeros en los que sea necesaria una mayor precisión, habrá que reducir el diámetro en al menos un milímetro o incluso algo más si el agujero es tan grande como el del basculante. De esta forma todos los agujeros serán reducidos en los planos, a excepción de los destinados a aligerar peso.

Una vez lleguen las chapas, cada agujero se ajustará a su diámetro final. Los anclajes de la suspensión, el motor y demás componentes se harán directamente con una broca del diámetro correcto, ya que no requieren de mayor precisión, pero en el caso del eje del basculante la cosa cambia. En este caso ha de usarse el mandrino y la máquina fresadora para que este quede lo mejor posible. Tras amarrar la pieza en la bancada (muy importante para evitar vibraciones o que la pieza se mueva), hay que usar el palpador para encontrar el centro del agujero, ya que el mandrino no es autocentrante como una broca. Una vez hecho esto, y como el mandrino no marca el diámetro que mecaniza sino el incremento, se ha de hacer una pasada pequeña para poder medir con precisión el diámetro del agujero y después incrementarlo hasta la medida deseada. Para medir el diámetro se usarán micrómetros, puesto que el ajuste con el eje debe ser bueno.

Una vez hecho esto las chapas estarán listas para ser soldadas con el resto de componentes.

### 8.3 SOLDADURA

Una vez preparados todos los componentes han de ser soldados. Para mantener la geometría del diseño, es importante diseñar también un soporte que mantenga los componentes principales en la posición deseada para que se suelden en la posición correcta. Lo más importante a tener en cuenta es que el eje de la pipa de la dirección y el eje del basculante deben ser perpendiculares, puesto que de lo contrario la rueda delantera y la trasera quedarían desalineadas y la moto no se comportaría de la misma forma.

El soporte se compondrá de dos chapas que irán montadas en paralelo con un eje para la pipa de la dirección y otro para el basculante. Para que las chapas del chasis no puedan girar se añade un eje más en la sujeción superior del semichasis, de forma que tengan dos puntos de apoyo. Para sujetar los tubos perimetrales, las chapas contarán con agujeros en los lugares necesarios para sujetar las barras en las que irán apoyados, y su colocación quedará delimitada por las chapas traseras y la pipa. El eje de la pipa irá apretado entre las dos chapas mediante tornillos y se mantendrá en posición vertical con las chapas separadoras. Los montantes no se sujetarán en este soporte y se soldarán a posteriori.



**Ilustración 21: Montaje del chasis en el soporte (sin montantes)**

El espaciado entre las chapas, al ser también una medida importante ya que el motor irá en medio, se hará mediante casquillos para garantizar que no se muevan. Es sabido que durante el proceso de soldadura los diferentes elementos se deforman, y de esta forma se trata de minimizar este efecto para que el chasis se aproxime lo máximo posible al diseño hecho por ordenador.

### 8.3.1 PROCESO DE SOLDADURA

El método de soldadura que se va a utilizar es la soldadura TIG, ya que es idónea para los pequeños espesores de los tubos y es suficiente para las chapas traseras. Es una soldadura muy fuerte y limpia, con una buena resistencia a la corrosión.

Puesto que un fallo en la soldadura del chasis puede traer consecuencias catastróficas, se requiere la ayuda de un profesional para llevar a cabo este proceso. Es por esto que el equipo únicamente se encargará del punteo de los diferentes elementos para garantizar su colocación en el lugar adecuado.

Primero se colocan en el soporte las chapas y la pipa, montadas en sus respectivos ejes, y se colocan también los tubos perimetrales apoyados en las barras del soporte. Después se puntean estos elementos para que queden fijos. Los montantes se sujetan a mano, después de haber medido y marcado los puntos en los que deberán estar colocados para que queden punteados en el sitio correcto. Tras puntear todo el chasis se desmonta del soporte y se colocan los diferentes elementos que se anclan en él para comprobar que las medidas más importantes están bien. Esta comprobación ha de hacerse antes de soldarlo por completo ya que soltar unos puntos no cuesta tanto como soltar una soldadura entera.

Una vez comprobado que todo está en su sitio es el momento de rellenar la soldadura. De esto se encargará el profesional que en anteriores ediciones ha ayudado al equipo con las diferentes soldaduras importantes. Es importante no soltar el chasis del soporte hasta que no esté frío, ya que las deformaciones debidas a la soldadura han de minimizarse en la medida de lo posible.

## 9 DIAGRAMA DE GANTT

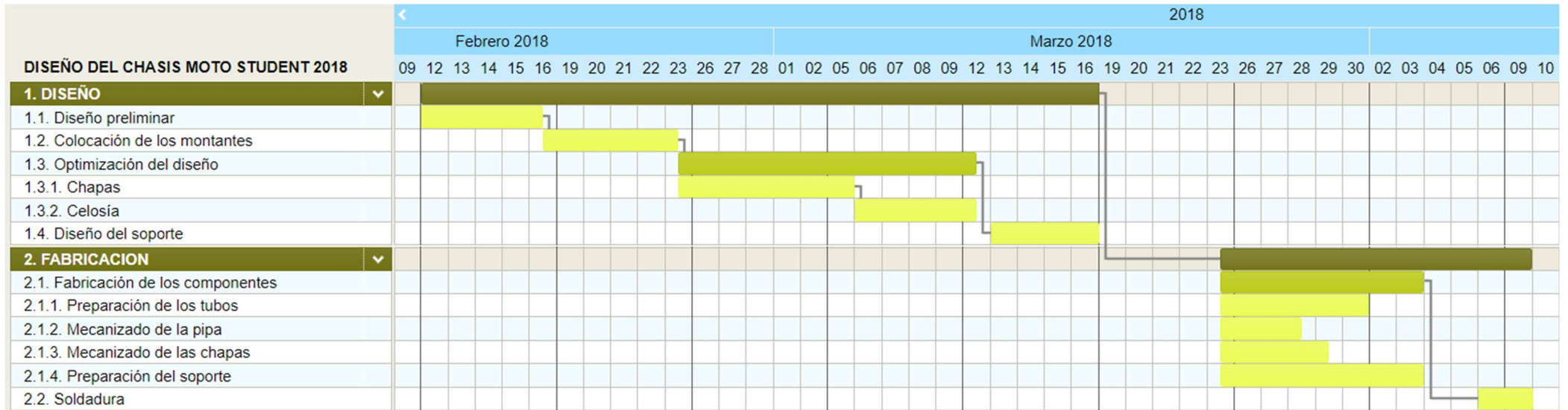
---

La duración del proyecto es de dos meses aproximadamente, empieza el 12 de febrero de 2018 y termina el 9 de abril del mismo año. Durante ese tiempo se divide el proyecto en dos fases principales: diseño y fabricación. La primera tiene una duración de un mes aproximadamente y va desde el 12 de febrero hasta el 16 de marzo. Y por último la fase de fabricación se extiende hasta el final del proyecto empezando el día 23 de marzo, con una duración de dos semanas y media aproximadamente. Entre las dos últimas fases hay un periodo de espera para que las empresas externas que se ocupan de las preformas por corte por láser y del envío de los tubos. Este periodo es de una semana aproximadamente, teniendo en cuenta que el tiempo de espera no es el mismo para todos los componentes, por lo que algunos podrían estar disponibles antes de lo esperado y otros podrían tardar más.

### 9.1 DESCRIPCION DE LAS TAREAS

En este subapartado se hace una breve descripción de cada tarea:

- DISEÑO
  - Diseño preliminar: primer diseño del chasis teniendo en cuenta las bases de diseño
  - Colocación de los montantes: cálculo de la posición optima para los montantes de la forma explicada en apartados anteriores
  - Optimización del diseño
    - Chapas: reducción de peso mediante la eliminación de material sobrante
    - Celosía: investigación de una posible reducción de peso en la celosía
  - Diseño del soporte: diseño del soporte para el proceso de soldadura
- FABRICACION
  - Fabricación de los componentes
    - Preparación de los tubos: corte, doblado y ajuste de los tubos que forman la celosía
    - Mecanizado de la pipa: torneado de la pipa de la dirección
    - Mecanizado de las chapas: ajuste de los agujeros de los diferentes anclajes
    - Preparación del soporte: ajuste de los diferentes agujeros del soporte y fabricación de los casquillos necesarios
  - Soldadura: montaje del chasis en el soporte y soldado de los diferentes componentes



## 10 ASPECTOS ECONOMICOS: PREUSPUESTO

En este apartado se presenta el presupuesto necesario para llevar a cabo el proyecto en cuestión.

HORAS INTERNAS		COSTE HORARIO (€)	TIEMPO TOTAL (h)	COSTE TOTAL (€)
MECANIZADO	Pipa	50	3	150
	Chapas	50	2	100
Soldadura		30	4	120
			<b>TOTAL</b>	<b>370</b>

GASTOS	COSTE (€)
Chapas (cortadas)	50
Tubos (total)	40
Barra perforada	20
<b>TOTAL</b>	<b>110</b>

PRESUPUESTO	TOTAL (€)
GASTOS	110
HORAS INTERNAS	370
SUBTOTAL	480
INPREVISTOS (10%)	48
<b>TOTAL</b>	<b>528</b>

Para el cálculo se incluyen los costes del material utilizado y de las horas necesarias de mecanizado y soldadura teniendo en cuenta un 10% de imprevistos. Puesto que se trata de un prototipo y no se va a hacer ningún plan de negocio no es necesario hacer ningún tipo de análisis de rentabilidad ya que el objetivo de este trabajo no es ese, sino el desarrollo de un chasis para un prototipo de moto de carreras.

## 11 CONCLUSIONES

Una vez terminado el proyecto y volviendo la vista atrás, se podría decir que el objetivo principal se ha cumplido satisfactoriamente. El diseño y posterior fabricación resulta en un chasis competitivo para la competición que cumple todas las necesidades del equipo en esta edición. Se ha conseguido un diseño atractivo y funcional, lo suficientemente simple como para poder cumplir con las limitaciones de fabricación, con un diseño flexible al que acoplar el resto de componentes con facilidad. También se han cumplido las prestaciones de rigidez requeridas para el correcto funcionamiento de la moto sin excederse en el peso del chasis. Como ya se ha dicho antes esto es muy importante en competición, ya que se busca ser lo más ágil y rápido posible en el circuito.



**Ilustración 22: Chasis terminado montado en el prototipo**

Mediante el estrechamiento de las chapas en la parte posterior, se han evitado los grandes momentos que los anclajes de la suspensión trasera tenían que soportar en la edición anterior, y de esta forma el diseño de los mismos se ha simplificado mucho al no necesitar la inercia de la que antes no podían prescindir. Además, el motor también se sujeta al chasis de una forma más sencilla al juntarlo directamente con él. De esta forma se evitan los casquillos necesarios para mantener la separación. Pero todo esto no ha sido gratuito, pues como ya se esperaba, el diseño de las estriberas se ha complicado. Al estrechar el chasis hasta el motor, el basculante debe ir por fuera, pero al tener que ir las estriberas ancladas al chasis por obligación, es necesario el diseño de un anclaje en voladizo para colocar el pedal en el lugar correcto para el piloto. Se sabe que esta no es tarea fácil, pero teniendo en cuenta los beneficios de este cambio y que nunca está de más experimentar se considera rentable el cambio en el diseño.

En cuanto a los análisis de rigidez, se ha comprobado que la relación de la rigidez con el peso de la estructura tubular, una vez escogidas las medidas apropiadas, es buena hasta el punto de que no se ha considerado oportuno la reducción de peso en ella. Esto se debe a que el ahorro de peso no compensa la rigidez perdida. Sin embargo, en las chapas ocurre lo contrario. Estas tienen que proporcionar un punto de anclaje a la mayoría de elementos que se unen al chasis y por esta razón acaban siendo bastante extensas. Al querer abarcar tanto espacio, hay una gran parte del material que a penas trabaja, y su contribución a la rigidez total del chasis es mínima. Por tanto, es crucial quitar todo el material posible teniendo en cuenta que no se quiere perder demasiada rigidez, y en este caso esto también se ha cumplido puesto que se han ahorrado más de dos kilos sólo en las chapas con una reducción de la rigidez aceptable.

Otra conclusión que se puede sacar, es que el análisis resistente carece de sentido a la hora de diseñar un chasis para una motocicleta. Viendo los resultados obtenidos en el análisis, se confirma que la limitación de la rigidez es bastante mayor a la de la resistencia, y al tener que cumplir con unos valores específicos de rigidez la resistencia queda garantizada.

### 11.1 CUMPLIMIENTO DE LOS BENEFICIOS

En cuanto a los beneficios que se explican al principio del documento, se puede decir que se han cumplido con creces puesto que se ha provisto al equipo de un chasis funcional y competitivo con el que desarrollar el prototipo. Al mismo tiempo, el chasis sirve de base para el diseño de los demás componentes, ya que han de ser diseñados de acuerdo con él.

También se han adquirido conocimientos sobre el diseño de este componente en particular así como de otros componentes importantes de una motocicleta. Además, se han estudiado las bases de la dinámica de vehículos de dos ruedas y los requisitos que un chasis competitivo debería cumplir, lo cual ha sido imprescindible para realizar el trabajo en cuestión.



## 12 BIBLIOGRAFIA

---

Avilés, R. (2002). *Métodos de Análisis para Diseño Mecánico Vol I: Diseño mecánico y análisis estático*. Bilbao: Escuela de Ingeniería de Bilbao.

Cossalter, V. (2006). *Motorcycle Dynamics*.

Foale, T. (2002). *Motorcycle Handling and Chasis Design*.

Moto Student V International Competition. (2017). *Competition Regulations*.

## ANEXO I: PLIEGO DE CONDICIONES

En lo relativo al chasis, las regulaciones que impone la competición son las siguientes:

### ARTÍCULO 3: CHASIS

#### B.3.1 Diseño

No se permite el uso de un chasis comercial, ni tan siquiera una unidad modificada. Deberá tratarse de un chasis prototipo de diseño y fabricación propia.

Se engloba en este artículo el chasis principal, el subchasis y el basculante.

**B.3.1.1** No hay limitaciones en el tipo de diseño de chasis, basculante o subchasis, siempre y cuando el resultado cumpla con la normativa impuesta en el presente Reglamento.

**B.3.1.2** En caso de duda sobre la seguridad del diseño de chasis presentado, la Organización podrá solicitar un informe justificativo de seguridad que incluya análisis por el método de elementos finitos, simulaciones u otros ensayos demostrativos.

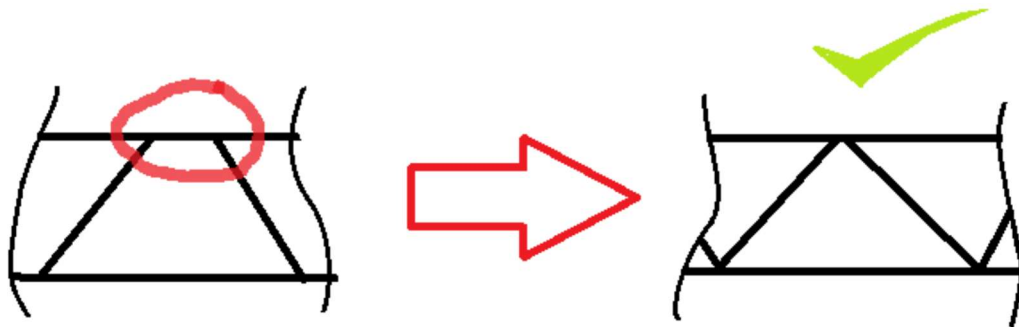
#### B.3.2 Materiales

No está permitido fabricar el chasis en titanio ni aleaciones de titanio. Respecto al resto de materiales no se impone ningún tipo de restricción.

#### B.3.3 Soldaduras y uniones

Está permitida la soldadura de elementos estructurales por cualquier medio, pero deberá resultar una estructura consistente.

**B.3.3.1** En las estructuras de tipo celosía se deberá buscar la correcta triangulación en los nodos de la estructura.



Ejemplo de triangulación correcta

#### B.3.4 Topes anticaída

**B.3.4.1** Es obligatorio el uso de topes de Nylon, fibra o materiales de dureza similar para proteger el chasis y el grupo propulsor lateralmente en caso de caída.

**B.3.4.2** Los topes anticaída podrán situarse tanto en el interior como en el exterior del carenado, ejes de rueda, extremos de semimanillares u otras ubicaciones siempre que protejan lateralmente la totalidad del chasis y grupo propulsor.

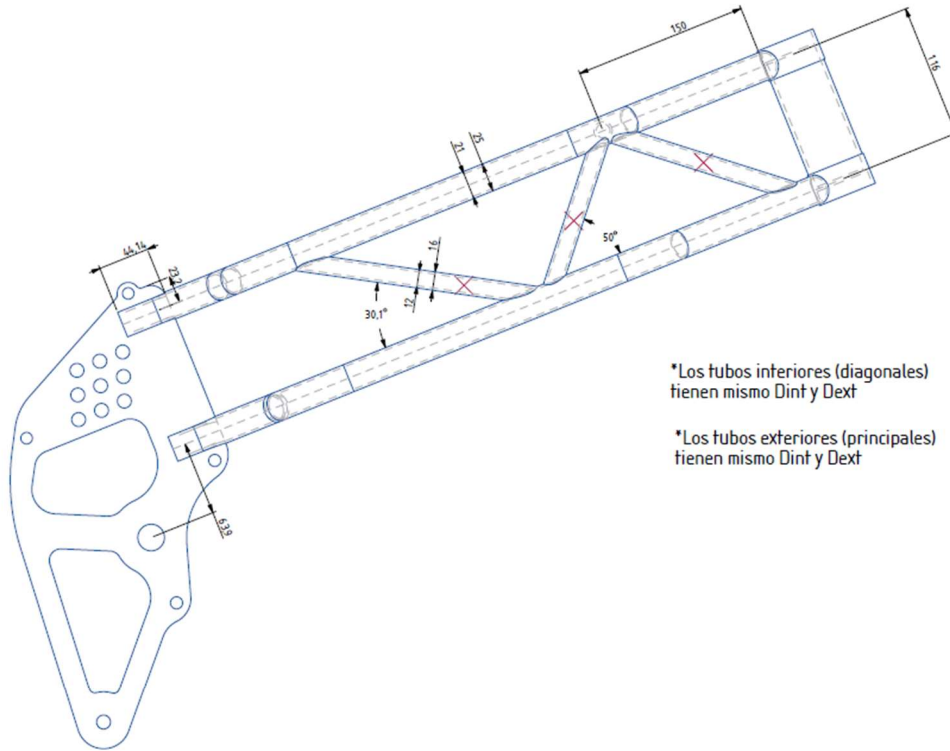


Ejemplo de tope anticaída

(Moto Student V International Competition, 2017)

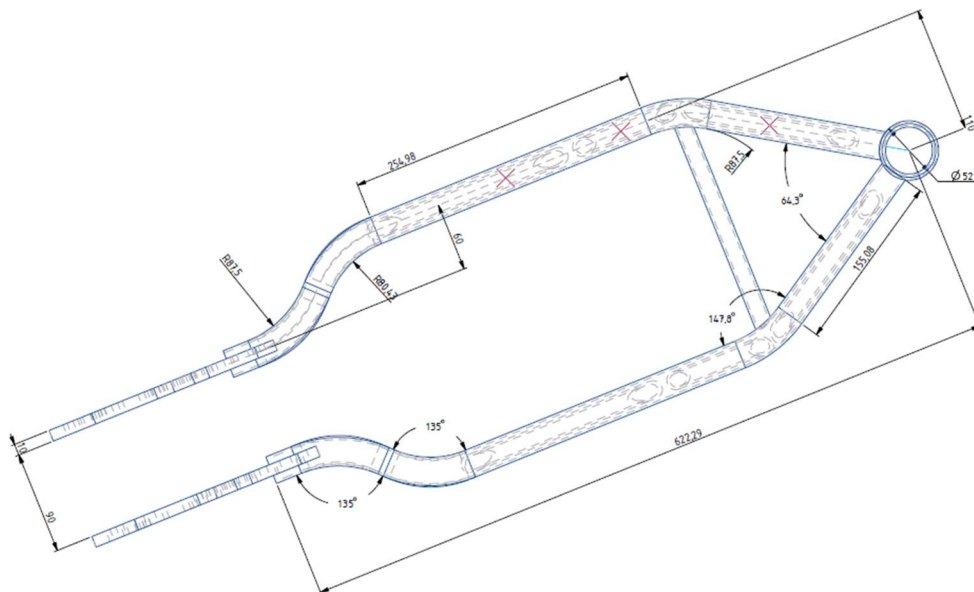
## ANEXO II: PLANOS

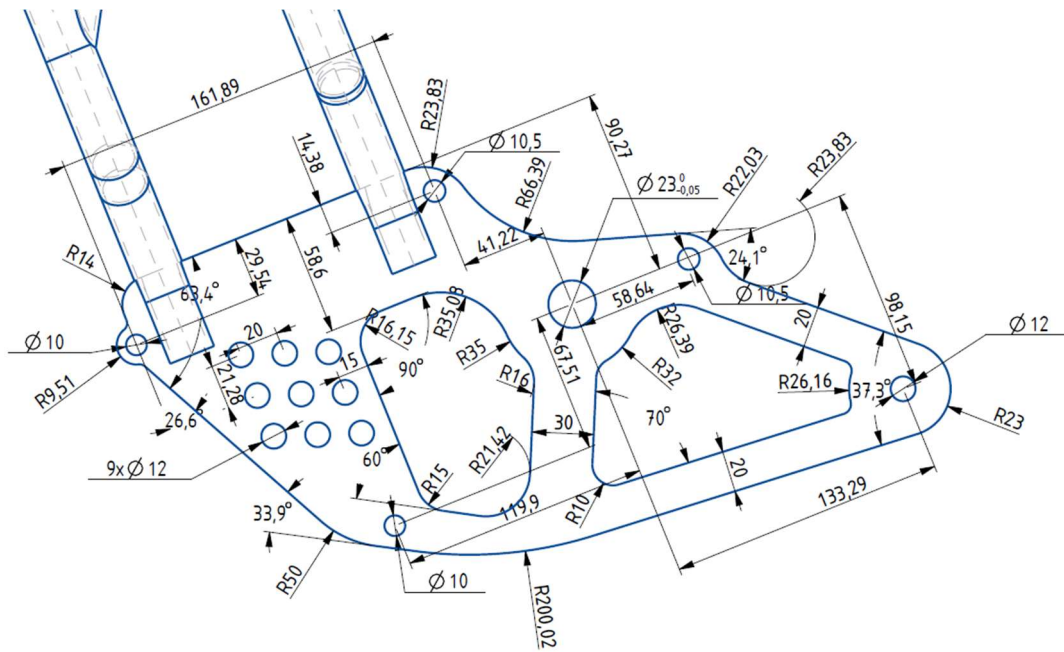
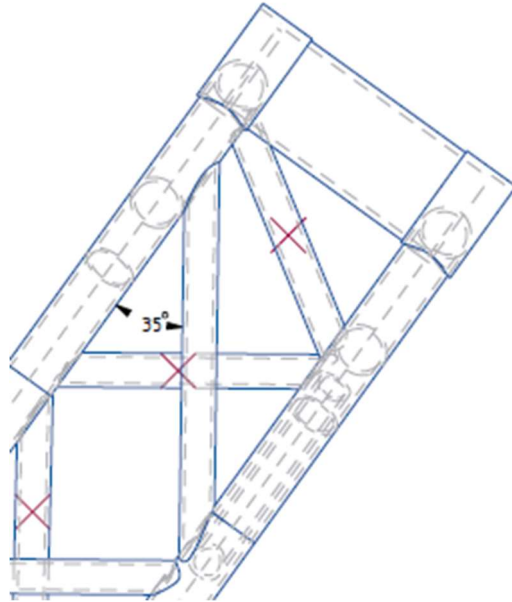
### CHASIS

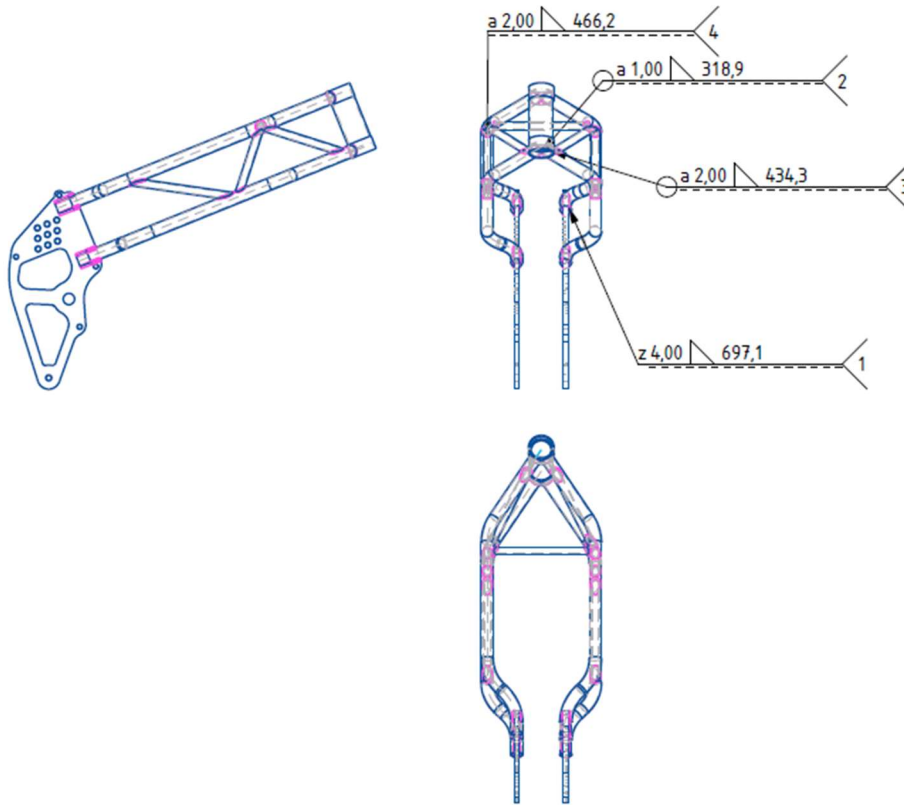


\*Los tubos interiores (diagonales) tienen mismo Dint y Dext

\*Los tubos exteriores (principales) tienen mismo Dint y Dext







## SOPORTE

